

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Praha 2017

Bc. Patrik Voříšek

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí



Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Malá vodní elektrárna

Small hydro power plant

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Radek Roub, Ph.D.

Diplomant: Bc. Patrik Voříšek

2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Patrik Voříšek

Krajinné inženýrství

Název práce

Malá vodní elektrárna

Název anglicky

Small hydro power plant

Cíle práce

Cílem diplomové práce je návrh příjezové malé vodní elektrárny. Projekt spočívá v použití Archimédova šroubu v turbínovém režimu. Součástí práce je dimenzování jednotlivých částí malé vodní elektrárny.

Metodika

Diplomová práce bude mít charakter projektu. Nejprve bude zpracována rešeršní část, která bude řešit obecně problematiku malých vodních elektráren. V této části bude představena a podrobně popsána Archimédova turbína. Následovat bude podrobná analýza s terénním průzkumem dané lokality. Z analýzy a naměřených hodnot bude proveden výpočet samotné turbíny a další součásti stavby. Na závěr bude z navržených hodnot vyhotovena výkresová dokumentace.

Doporučený rozsah práce

cca 60 stran + grafické přílohy

Klíčová slova

Archimédův šroub, návrh turbíny, průtok, obnovitelné zdroje energie

Doporučené zdroje informací

Dirk Michael Nuernbergk, 2012, Wasserkraftschnecken: Berechnung und optimaler Entwurf von archimedischen Schnecken als Wasserkraftmaschine

Josef Bednář, 2013, Turbíny [malé vodní elektrárny]

Miroslav Holata, 2002, Malé vodní elektrárny



Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Radek Roub, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 10. 4. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 4. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba, Ph.D., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 18. 4. 2017

.....

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu této diplomové práce, Panu Ing. Radku Roubovi, Ph.D., za vstřícný přístup, cenné odborné rady, připomínky a věnovaný čas při konzultacích.

V Praze 18. 4. 2017

.....

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřená na zpracování projektu malé vodní elektrárny na řece Sázavě. Projekt spočívá v použití Archimédovy turbíny. Diplomová práce je do tří hlavních kapitol. Úvodní část práce, literární rešerše, řeší komplexně problematiku malých vodních elektráren a Archimédovu turbínu. V analytické části je podrobný popis vybrané lokality. Výstupem z analytické části jsou vstupní údaje pro část. Návrhová část ve výpočtové části řeší dimenzování jednotlivých částí malé vodní elektrárny, včetně návrhu turbíny. Z provedených výpočtů a návrhů je vyhotovena grafické přílohy. Na závěr celé návrhové jsou shrnuty všechny vypočtené a nevržené parametry. Přínosem diplomové práce je použití v České republice zcela nové technologie pro malé vodní elektrárny.

Klíčová slova:

Malá vodní elektrárna, Archimédův šroub, návrh turbíny, obnovitelné zdroje energie

Abstract

The thesis is focused on the treatment of small hydroelectric power project on the river Sazava. The project involves the use of Archimedes turbine. The thesis is in three main chapters. The introductory part, literary research, solve complex problems of small hydropower plants and Archimedes turbine. The analytical part is a detailed description of the selected locations. The output of the analytical part of the input data for the part. Forms part of the calculation of the addresses design of individual parts of small hydropower plants, including the design of the turbine. The performed calculations and designs are drawn graphic attachments. At the conclusion of the whole design summarizes all calculated and nevržené parameters. The benefit of this thesis is used in the Czech Republic, a completely new technology for small hydropower plants.

Key words:

Small hydro power plant, Archimedes screw, turbine proposal, renewable energy

Obsah

1	POUŽITÉ OZNAČENÍ A ZKRATKY	- 12 -
2	ÚVOD	- 16 -
3	CÍLE PRÁCE	- 17 -
4	METODIKA	- 18 -
	LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	- 19 -
5	HISTORICKÝ VÝVOJ VYUŽÍVÁNÍ VODNÍ ENERGIE	- 19 -
5.1	Vodní kola	- 19 -
5.2	Vodní právo a jiné právní předpisy	- 21 -
5.3	Historický vývoj v datech	- 22 -
6	MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY	- 25 -
6.1	Rozdělení a konstrukční řešení vodních elektráren	- 25 -
6.2	Vzdouvací stavby	- 28 -
6.2.1	Přehrady	- 29 -
6.2.2	Jezy	- 29 -
6.3	Rybí přechody	- 30 -
6.4	Stavebně hydraulické objekty na malých vodních elektrárnách	- 32 -
6.4.1	Vtokové objekty	- 32 -
6.4.2	Česle	- 34 -
6.4.3	Přivaděče	- 38 -
6.4.4	Výrobní objekty	- 39 -
6.4.5	Odpadní kanály	- 40 -
6.4.6	Stavidlové uzávěry a provizorní hrazení	- 41 -
6.5	Přenos krouticího momentu	- 42 -
6.6	Generátory	- 43 -
6.7	Regulace a automatické řízení	- 46 -
6.7.1	Regulace turbín	- 46 -
6.7.2	Automatické řízení	- 46 -
6.8	Členění, typy a konstrukční řešení vodních turbín	- 48 -

7	ARCHIMÉDŮV ŠROUB.....	- 51 -
7.1	Výhody použití Archimédovy turbíny.....	- 53 -
7.1.1	Použití u malých spádů.....	- 53 -
7.1.2	Vysoká účinnost	- 54 -
7.1.3	Konstrukční a technologická jednoduchost	- 55 -
7.1.4	Absence jemných česlí	- 55 -
7.1.5	Spodní a vrchní stavba.....	- 55 -
7.1.6	Jednoduchá instalace	- 56 -
7.1.7	Provozní spolehlivost a údržba.....	- 56 -
7.1.8	Dlouhá životnost.....	- 57 -
7.1.9	Šetrnost vůči vodním živočichům	- 57 -
7.1.10	Oxysličování a zlepšení kvality vody ve vodoteči	- 60 -
7.2	Nevýhody použití Archimédovy turbíny	- 61 -
7.2.1	Nízké otáčky	- 61 -
7.2.2	Absence regulace výkonu.....	- 61 -
7.2.3	Hlučný chod turbíny	- 62 -
7.3	Konstrukční varianty	- 65 -
7.3.1	S betonovým žlabem	- 65 -
7.3.2	Se zabetonovaným žlabem	- 66 -
7.3.3	Kompaktní řešení.....	- 66 -
7.3.4	Trubní provedení	- 67 -
7.3.5	Nový typ Archimédovy turbíny s rybím výtahem.....	- 68 -
7.4	Podobné realizované projekty v České republice.....	- 69 -
	ANALYTICKÁ ČÁST.....	- 73 -
8	ANALÝZA VYBRANÉ LOKALITY	- 73 -
8.1	Základní popis lokality	- 73 -
8.2	Terénní průzkum lokality.....	- 76 -
8.3	Limity lokality	- 79 -
8.4	Povodí Sázavy	- 80 -
8.5	Hydrologické údaje o toku	- 81 -
8.6	Jakost povrchových vod.....	- 82 -
8.7	Ichtyologie.....	- 83 -
8.8	Vzdouvací stavba.....	- 85 -
8.9	Spádové poměry na lokalitě	- 87 -
8.10	Minimální zůstatkový průtok	- 87 -

8.11	Dlouhodobý průměrný průtok.....	- 90 -
8.12	Průtokové poměry na lokalitě.....	- 91 -
8.13	Jednotlivé kroky při projektové a realizační přípravě.....	- 92 -
	NÁVRHOVÁ ČÁST	- 94 -
9	NÁVRH MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY	- 94 -
9.1	Výpočtová část.....	- 94 -
9.1.1	Návrhový průtok.....	- 94 -
9.1.2	Vodohospodářská bilance.....	- 95 -
9.1.3	Návrh hrubých česlí.....	- 95 -
9.1.4	Návrh Archimédovy turbíny.....	- 96 -
9.1.5	Návrh vývařiště pod turbínou.....	- 103 -
9.1.6	Návrh odpadního kanálu.....	- 103 -
9.1.7	Návrh beztlakého přivaděče s volnou hladinou.....	- 104 -
9.1.8	Návrh generátoru	- 106 -
9.1.9	Návrh převodové skříně.....	- 109 -
9.1.10	Rozměrový návrh výrobního objektu.....	- 111 -
9.1.11	Návrh stavidlových uzávěrů a provizorního hrazení.....	- 111 -
9.2	Parametry a roční výroba.....	- 113 -
9.2.1	Parametry.....	- 113 -
9.2.2	Roční výroba	- 116 -
10	GRAFICKÁ ČÁST	- 120 -
10.1	Vizualizace MVE.....	- 121 -
11	DISKUZE A ZÁVĚR.....	- 125 -
12	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	- 127 -
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	- 131 -

1 Použité označení a zkratky

Použitá označení

Veličina	Označení	Jednotky
Návrhová průtok:	$Q_{\text{návrh}}$	m^3/s
Dlouhodobý průměrný průtok:	Q_a	m^3/s
Minimální zůstatkový průtok :	MZP	m^3/s
Průtok 355denní:	Q_{355d}	m^3/s
Spád:	H	m
Úhel sklonu:	β	$^\circ$
Počet chodů:	N	-
Poměr poloměrů:	ρ_R	-
Hydraulická účinnost:	η	%
Poměr stoupání:	λ	-
Plnicí poměr:	v	-
Normalizovaný objem rotace:	$(\lambda \cdot v)$	-
Mechanická energie turbíny:	$(\lambda \cdot v \cdot \eta)$	-
Hustota vody:	ρ	-
Tíhové zrychlení:	g	m/s^2
Teplota vody:	t	$^\circ\text{C}$
Poměr stoupání:	λ	-
Vnější poloměr turbíny:	R_a	m
Vnitřní poloměr turbíny:	R_i	m
Stoupání šnekovice:	S	m

Šířka mezery mezi rotorem a žlabem:	D_t	mm
Poloměr žlabu turbíny:	R_z	m
Objem přepravovaný na jednu otáčku rotoru:	V_r	m^3
Objem jedné buňky rotoru:	V_s	m^3
Optimální otáčky turbíny:	n_T	min^{-1}
Maximální otáčky turbíny:	$n_{T\text{max}}$	min^{-1}
Axiální dopravní rychlost vody v turbíně:	v_{AX}	m/s
Hmotnost jedné buňky rotoru:	m_s	kg
Výška prahu vtokového průřezu turbíny:	w	m
Průměrná vtoková rychlost:	v_2	m/s
Činná délka turbíny:	L_B	m
Celková délka centrální trubky:	L	m
Hmotnost centrální trubky turbíny:	m_T	t
Hmotnost šroubovice:	m_ξ	t
Hmotnost rotoru:	m	t
Mechanický výkon na hřídeli turbíny:	P_{opt}	kW
Výkon na hřídeli při vysoké vodě:	$P_{1,3}$	kW
Výkon generátoru:	P_G	kW
Krouticí moment na hřídeli:	M	Nm
Převodový poměr:	i	-
Optimální hloubka vody ve vývařišti:	h_4	m
Průměrná rychlost vody ve vývařišti:	v_4	m/s
Průměrná šířka vývaru turbíny:	b_{vt}	m
Šířka vývařiště:	b_v	m

Šířka dna odpadu:	b_o	m
Výška vody v odpadním kanálu:	h_o	m
Rychlost vody v odpadním kanálu:	v_o	m/s
Protékané množství v odpadním kanálu:	Q_o	m ³ /s
Minimální poloměr oblouku kanálu:	$R_{\min O}$	m
Výška vody v přivaděči:	h_1	m
Šířka přivaděče k turbíně:	b_1	m
Průměrná rychlost vody v přivaděči k turbíně:	v_1	m/s
Šířka dna přivaděče:	b_2	m
Rychlost vody v přivaděči:	v_p	m/s
Protékané množství v přivaděči:	Q_p	m ³ /s
Minimální poloměr oblouku přivaděče:	$R_{\min P}$	m
Průměr česlice:	d	mm
Rozteč mezi česlicemi:	a	mm
Sklon česlí:	α	°
Orientační výkon	P_{orient}	kW

Použité zkratky

Zkratka	Význam
IPCC	Mezinárodní panel pro změny klimatu
MVE	Malá vodní elektrárna
ČSN	Česká státní norma
MZP	Minimální zůstatkový průtok
GSM	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
VN	Vysoké napětí
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
VÚV	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
GIS	Geografický informační systém (ESRI ArcGIS)
DTM 5G	Digitální model terénu páté generace
CAD	Autodesk AutoCAD
SPEI	Standardizovaný srážkový evapotranspirační index
ERU	Energetický regulační úřad
IRENA	The International Renewable Energy Agency
OSN	Organizace spojených národů

2 Úvod

Spotřeba elektrické energie na světě, stále roste a podle dosavadního vývoje a světového trendu růst bude. Naše populace už je v podstatě závislá na elektrické energii, která je primárně založená na uhelné a jaderné energetice. Světové zásoby všech fosilních zdrojů energie nejsou bezedné a stále se zmenšují. Nastává tedy otázka, jak jinak pokrýt tuto neustále se zvyšující poptávku. (Janíček, 2007)

Problémem fosilních zdrojů při konvenční výrobě energie je tvorba odpadů a vedlejších produktů způsobující skleníkový efekt.

Lidstvo čelí, i když si to stále nechce připouštět, klimatickým změnám. Mezivládní panel pro změny klimatu (IPCC) tento stav jasně připisuje nadměrné produkci CO² a dalších skleníkových plynů. Jsou známy prognózy i další scénáře vývoje, které říkají, že už dnes je pozdě. (IPCC, 2014)

Východisko je jednoduché, musíme co nejrychleji přejít na alternativní zdroje energií. Nutným propojením této problematiky se do popředí vnímání stále častěji dostávají obnovitelné zdroje energií. Se základními znalostmi dnešních možností v tomto oboru, můžeme mluvit o několika typech využívání energie Země, tedy o vodní energii, solární energii, větrné energii, geotermální energii, energii biomasy, využití tepelných čerpadel a jiných best available technology. Využití obnovitelných zdrojů energie stále činí pouhých 20 % světové produkce elektrické energie. (CREA, 2017), (Janíček, 2007)

Tato diplomová práce je zaměřena na využívání vodní energie, která má v České republice opravdu unikátní historii světového formátu. Využívání vodní energie má stále velké rezervy, z celkového světového využitelného potenciálu je dnes využíváno pouhých 15 %. Naprosto nejvyšším procentem využívání vodní energie, v podobě 99 %, se chlubí Norsko. Je to hlavně dáno ideálními přírodními podmínkami této země. V české republice jsou podmínky skromnější, avšak stále velice dobré. Velké projekty vodních elektráren jsou již realizované a potenciál je již vyčerpán. Potenciál využívání vodní energie je zde hlavně pro malé zdroje. Tématem rešeršní části mé diplomové práce je zkoumání malých vodních zdrojů a nových technologií v tomto velice perspektivním oboru. V diplomové práci bude provedena analýza a návrh malé vodní elektrárny s Archimédovou turbínou. (Bednář, 2013)

3 Cíle práce

Cílem diplomové práce je návrh příjezové malé vodní elektrárny. Projekt spočívá v použití Archimédova šroubu v turbínovém režimu, tedy takzvané Archimédovy či šnekové turbíny. Součástí práce je dimenzování jednotlivých částí malé vodní elektrárny, včetně návrhu Archimédovy turbíny. Přínosem diplomové práce je použití v České republice zcela nové technologie pro malé vodní elektrárny.

4 Metodika

Diplomová práce má charakter projektu. Nejprve jsem zpracoval literární rešerši, která řeší obecně problematiku malých vodních elektráren a jejích částí. Hlavní kapitolou rešeršní části je kapitola o Archimédově turbíně, která je zde podrobně představena a popsána, včetně jejich výhod a nevýhod. V této kapitole jsem také provedl zmapování již realizovaných projektů v České republice.

Následující částí diplomové práce je podrobná analýza vybrané lokality a zajištění vstupních hodnot. Analýza vychází z terénních průzkumů provedených na dané lokalitě. Z analýzy a naměřených hodnot jsem provedl výpočet samotné turbíny a její součásti. Výpočet návrhu turbíny vychází z publikace od Dirk Michael Nuernbergk s názvem *Wasserkraftschnecken: Berechnung und optimaler Entwurf von archimedischen Schnecken als Wasserkraftmaschine*. V následném kroku jsem vypracoval návrh dalších součástí stavby.

Na závěr jsem z navržených hodnot výpočtové části a analýzy vyhotovil výkresovou dokumentaci a vizualizaci MVE.

Literární rešerše

5 Historický vývoj využívání vodní energie

Touto kapitolou bych začal a chtěl upozornit na důležitost využívání vodní energie, která je s civilizací neodmyslitelně spjata. Vývoj využívání vodní energie tvořil historii lidstva. Využívání vodní energie již v historii patřilo k hlavním faktorům, které definovaly rozvoj společnosti.

Člověk se snažil co nejefektivněji využívat vodní energii jako stálou a levnou hybnou sílu. Bylo to dáno potřebou nahradit do té doby hlavní sílu dobytka. V Evropě ke konci 18. století byly nejdůležitějšími zdroji síla hospodářských zvířat. Chov čítal dle odhadů asi 24 milionů dobytka a 14 milionů koní. V přepočtu na výkon tedy zhruba 7,5 miliard Wattů. Není to malé číslo, nicméně v porovnání s dnešní potřebou to odpovídá zhruba 100 tisícům běžných osobních automobilů. (Quaschnig, 2008) 100 tisíc automobilů představuje pouze polovinu denní dopravní intenzitu úseku Spořilov - Chodov na dálnici D1 před Prahou. (TSK-Praha, 2017)

Člověk vodní energii začal využívat hlavně pro mlýny, pily, hamry a jiná zařízení, která využívala potenciál vodní energie. Lidstvo jednoduše potřebovalo s co nejnižší námahou umlít obilí, nařezat dřevo, obrábět železo další nutné činnosti. Ke konci 18. století bylo v Evropě evidováno zhruba 600 tisíc vodních mlýnů. (Quaschnig, 2008) Celkový počet více než 8000 mlýnů v Čechách, na Moravě a ve Slezsku odvozuje z údajů shromážděných evidencí v roce 1902. (Šimek, 2017)

Pro tento důvod byla postupně vyvíjena první vodní kola a další vodní stroje. Vodním kolům se budu krátce věnovat v další kapitole.

Jednotlivý vývoj v datech je stručně shrnut v kapitole historický vývoj v datech.

5.1 Vodní kola

Vodní kola byla jedna z prvních vodních motorů. Princip je jednoduchý a využívá energii vody, která díky rozdílu vrchní a spodní hladiny uvádí vodní kolo do pohybu. U vodních kol můžeme mluvit o více typech konstrukcí. (Socha, 2017)

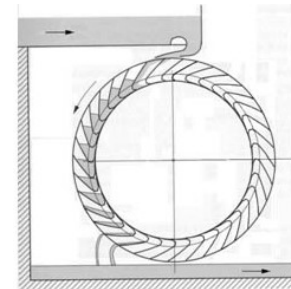
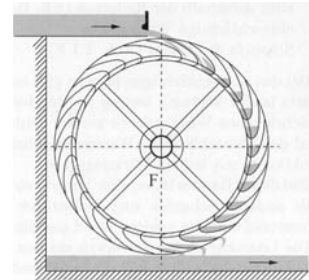
Vodní kola můžeme tedy dělit podle přívodu vody do kola na:

- S vrchním nátokem

Tyto kola se používají na větších spádech s menším průtokem, tedy spíše na potocích. Spád musí být minimálně 2,5 m. Účinnost je okolo 85 % a horní hranice instalovaného výkonu je 25 kW.

Kola s vrchním nátokem dělíme na:

- S normálním chodem
- S obráceným otáčením

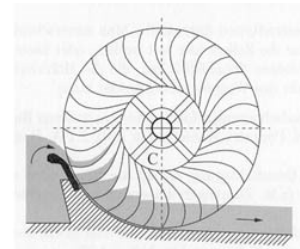


- Se středním nátokem

- Zuppingerovo kolo

Velice oblíbený typ, který má tyto parametry:

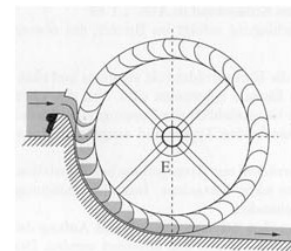
spád od 1 m do 3 m, průtok do 3,5 m³/s, účinnost okolo 75 %



- Bachovo kolo

Bachovo kolo se navrhuje na lokality kde nelze instalovat Zuppingerovo kolo.

Vyznačuje se parametry: spád 1,5 m až 4,5 m, průtok do 1,5 m³/s, účinnost až 85 %



(Socha, 2017)

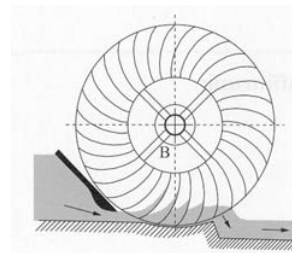
- Se spodním nátokem

- Ponceletovo kolo

Toto kolo je vylepšenou verzí klasického hřebenáče od francouzského inženýra J. V. Ponceleta. Používá se pro spády až do 1,7 m a průtok do 5 m³/s. Účinnost je okolo 65 %.

- Zuppingerovo kolo (nízkospádové)

Používá se pro spády od 0,6 m do 1,5 m a průtok až do 5 m³/s. Účinnost je okolo 75 %.



(Socha, 2017)

Obr. č. 1. až 5. – Typy vodních kol

(http://www.vodnikola.cz/typy_vodnich_kol.html)

Vodní kola také mohou mít různou konstrukci lopatek a to čistě lopatníky a korečníky, kde korečníky jsou jednotlivé žlábkové pro přepravovanou vodu. Další rozdělení je podle směru otáčení, vodní kola se většinou otáčejí směrem po proudu vody, ale mohou se otáčet i obráceně. (Socha, 2017)

Dnes po velkém překotném vývoji v hydroenergetice je nostalgickým trendem vrací u malých vodotečí, tedy i malým instalovaným výkonem, zpět k používání vodních kol. (Hýbl, 1950) Můžeme třeba vyzdvihnout skoro zapomenuté Zuppingerovo kolo, příkladem realizace je Westheimer Mühle, Langendorf. Průměr kola činí 6,5 m, spád 4,5 m a instalovaný výkon je 37 kW.



Obr. č. 6. - Zuppingerovo kolo

(http://www.muehlenbau-schuhmann.de/unterschlaechtige_w_.htm)

5.2 Vodní právo a jiné právní předpisy

Základ vodního práva byl položen už ve starověku. Již v dávných dobách se řešily otázky nároku na vodu, jako základní potřeby k životu. Tento fakt položil právní základ pro nárok a způsob využívání vodního potenciálu. Základy vychází z římského vodního práva, jako i další právní vztahy. (Bednář, 2013)

Vodní právo je závislé na vstupech jednotlivých faktorů, na přírodních, ekonomických a sociálních podmínkách.

V českých zemích se také musel upravovat právní vztah a nakládání s vodami, tzv. Mlýnské řády. Mlýnské řády byly první vodoprávní dokumenty, které upravovaly nakládání s vodami, a to i vzdouvání, které upravuje již v roce 1553 Mlýnský řád Ferdinanda I.. Následoval zemský zákon č. 93/1869, který souhrnně upravoval vodní právo. Tento zákon byl přijat pro Čechy jako zákon č. 71/1870, pro Moravu jako zákon č. 65/1870 a ve Slezsku jako zákon č. 50/1870. Toto rozdělení bylo sjednoceno až vládním nařízením č. 305/1942 Sb.. Následovaly zákon č. 11/1955 Sb. a federální zákon č. 183/1993 Sb. o vodách. (Pažout, 1982); (Bednář, 2013)

Poslední aktuální právní úprava je současná Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES. a zákon č. 254/2001 Sb.. Zákon svěřuje vykonávání do správy krajských úřadů a obcí. Jako ústřední vodoprávní úřad je pověřeno Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí. (Bednář, 2013)

Z hlediska dnešních malých vodních elektráren (dále je MVE) vstupuje do problematiky také zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Dále je nutné se řídit zákonem č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy energetických odvětví a o změně některých zákonů. Tento zákon je v praxi nazýván energetickým zákonem. Problematika MVE se také musí řídit dalšími právními předpisy: zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu, 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 51/2006 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, či ČSN 76 2601 Malé vodní elektrárny – základní požadavky. (Bednář, 2013)

5.3 Historický vývoj v datech

V této kapitole krátce shrnu významné historické mezníky, které tvořily rozsáhlou historii využívání vodní energie. Kapitola je chronologicky řazená.

- 600 let př.n.l. - Chaldejci použili čerpací kolo pro závlahové účely
- 230 let př.n.l. - V Egyptě bylo použito hnací lžicové kolo pro závlahové účely
- 150 let př.n.l. - V římské říši bylo použito vodní kolo na spodní vodu
- r. 361 - byly vybudovány první vodní mlýny v Německu
- r. 536 - v Římské říši byl zřízen první plovoucí lodní mlýn na řece Tibeře
- r. 718 - tesař Halak postavil první vodní mlýn ve střední Evropě mlynáři Svachovi z Žatce na řece Ohři
- r. 1227 - byl uveden do provozu první plovoucí vodní mlýn na Labi
- r. 1818 - bylo v Německu postaveno první celoželezné vodní kolo
- r. 1827 - byla uvedena do provozu první Burdinova turbína
- r. 1833 - Burdinův žák, Benoit Fourneryon pracuje na novém typu odstředivé přetlakové turbíny
- r. 1834 - Fourneryon staví svou turbínu pro francouzské železárně
- r. 1844 - sestrojil inženýr Zuppinger ve Švýcarsku první rovnotlakou turbínu s vnějším vstřikem
- r. 1848 - vyvinul hornický technik Schwamkrug v Rudohoří rovnotlakou turbínu s vnitřním vstřikem
- r. 1849 - americký inženýr James Bicheno Francis zdokonalil Howdovu turbínu a vyvinul tak univerzálně použitelnou přetlakovou turbínu
- od r.1860 - původní přenos hnací síly řešený po celé provozovně dřevěnými hřídeli a výlučně ozubenými koly je nahrazován celoželeznými transmisemi a plochými řemeny z hovězí kůže, ozubená kola zůstávají pouze jako první převod u vodních kol.

- r. 1863 - byla vynalezena rovnotlaká Girardova turbína
 - r. 1877 - Američan Lester Allen Pelton uvažuje nad přímotlakou turbínu s lžícovitými lopatkami
 - r. 1886 - sestrojuje Pfarr spirálovou Francisovu turbínu s pevným rozváděčem pro velké spády
 - r. 1912 - vyvíjí v Brně Prof. Ing. Dr.h.c. Viktor Kaplan vrtulovou turbínu
 - r. 1913 - vyvíjí Prof. Ing. Dr.h.c. Viktor Kaplan turbínu s natáčivými oběžnými lopatkami a systém patentuje
 - r. 1918 - byla matematicky vyřešena Bánkiho turbína
 - r. 1918 - je vyrobena první Kaplanova turbína (brněnskou slévárnou Ignace Storka)
 - r. 1919 - je první Kaplanova turbína uvedena do provozu v rakouském Ulmu
 - r. 1919 - profesor Bánki uvádí v Budapešti do provozu rovnotlakou turbínu
 - r. 1920 - E. Crewdson staví rovnotlakou turbínu pro velké spády nazvanou "Turgo"
 - r. 1921 - se rozbíhá první Kaplanova turbína v Československu v Poděbradech
 - r. 1950 - úpravou Kaplanovy turbíny vzniká diagonální Deriazova turbína
 - r. 1951 - začala hromadná likvidace malých vodních mlýnů a přidružených provozů
- po roce 1989 pomalu začíná renesance malých vodních elektráren v České republice (Laika, 2017); (Pospíšil, 2003)

6 Malé vodní elektrárny

Malá vodní elektrárna je hydrotechnické dílo budované za účelem výroby elektrické energie. Toto důmyslné zařízení využívá pro tento účel spád a průtok, který se vyskytuje na dané lokalitě. Touto kapitolou rešerše se chci nejdříve zaměřit na rozdělení a konstrukční řešení vodních elektráren, následně krátce popsat související stavby, a hlavně podrobně popsat všechny objekty a zařízení vyskytující se na MVE.

6.1 Rozdělení a konstrukční řešení vodních elektráren

V této kapitole bych chtěl zjednodušeně rozdělit a zařadit různé druhy MVE. Základní podmínky pro výrobu elektrické energie, jak jsem již výše zmínil jsou průtok vody a koncentrace spádu.

Spád

Koncentrace spádu může být daná přírodními podmínkami. Například výškový rozdíl meandru, dostatečný podélný sklon dna toku, nebo popřípadě vodopád či přírodní práh ve dně toku. Tyto lokality jsou sice v přírodě zastoupeny, ale jsou celkem méně časté. (Bednář, 2013); (Melichar, 1995)

Druhou možností je umělá koncentrace spádu. Pro tento účel jsou budovány hydrotechnická díla v podobě jezů, derivačních kanálů, přehrad, či přečerpávacích elektráren. Základní dělení podle vzdouvací stavby je jezové MVE a přehradní MVE.

Další hledisko nastává, pokud je pro soustředění spádu použita tzv. derivace. Derivace je umělé odvedení vody z toku za účelem získání spádu. Způsoby, jak dosáhnout soustředění spádu jsou:

- Derivace podél toku
- Zkrácení meandru
- Derivační kanál z výše položeného do níže položeného povodí

(Gabriel , et al., 1998); (Melichar, 1998)

Zde je nutno přihlídnout k vedení derivace. Derivace může být vedena:

- Beztlakově – je provedena otevřeným korytem neboli náhonem
- Tlakově – je vedena tlakovým potrubím
- Kombinací – je většinou vedena nejprve od jezu beztlakým náhonem, který pak následně ústí do vtokového objektu tlakového přivaděče a tlakovým přivaděčem je voda přivedena až k tlakové MVE. (Hodák & Dušička, 1998)

Tímto odstavcem se dostáváme k dalšímu pohledu. A to dělení podle tlaku. MVE se dělí na beztlaké a tlakové.

Tlakové MVE se dále dělí na:

- Nízkotlaké využívají spádu do 20 m
- Středotlaké pracují v rozmezí od 20 m do 100 m
- Vysokotlaké pracují se spádem převyšujíc 100 m

(Gabriel , et al., 1998)

Dalšímu popisu problematiky umělého soustředění spádu se budu věnovat v další kapitole.

Průtok

Druhá podmínka pro výrobu elektrické energie je průtok. Dělení dle využívání průtoku je na průtočné elektrárny a na elektrárny s umělým soustředěním průtoku. Elektrárny s umělým soustředěním průtoku můžeme dále dělit na:

- Akumulační elektrárny
- Přečerpávací elektrárny
- Elektrárny pracující na principu převedení průtoku z vyššího do nižšího povodí

(Gabriel , et al., 1998)

Po základním dělení MVE podle základních podmínek pro výrobu elektrické energie nastává další hledisko. Tedy instalovaný výkon a účast v elektrizační soustavě.

Další rozdělení MVE

Vodní elektrárny se dělí podle instalovaného výkonu (dle ČSN (STN) 75 0128) na:

- Malé do 10MW, včetně
- Střední od 10MW do 200MW
- Velké nad 200MW

Zde musíme konstatovat celkem jednoznačný rozpor ve vnímání co je malá vodní elektrárna. Protože Evropská unie udává limit instalovaného výkonu pro MVE 5 MW. (Holata, 2002); (Melichar, 2013); (Gabriel , et al., 1998)

Další rozdělení podle velikosti instalovaného výkonu je:

- Domácí (do35 kW)
- Mikroelektrárny (od 35 kW do 100 kW)
- Minielektrárny (od 100 kW do 1 MW)
- Průmyslové od (1MW do 10MW)

(Holata, 2002)

Podle celkového dosažitelného výkonu můžeme MVE také dělit na:

- Ia s výkonem nad 1000 kW
- Ib s výkonem nad 500 kW do 1000 kW
- II s výkonem nad 100 kW do 500 kW
- III s výkonem nad 35 kW do 100 kW
- IV s výkonem do 35 kW

(MPO, 2010); (Melichar, 2013)

Vodní elektrárny také mají různé způsoby napojení na elektrizační síť. Dělení podle účasti v elektrizační soustavě je následovné:

- Základní
- Pološpičkové
- Špičkové
- Samostatné (autonomní)

(Hodák & Dušička, 1998)

Vodní elektrárny jsou tedy velmi různorodého řešení, a to podle podmínek dané lokality. Nyní bych se zaměřil na technické řešení MVE. Nejdříve začnu umístění strojovny. Podle umístění strojovny může MVE mít řešení jako hrázová, jezová, členěná, piliřová, věžová, podzemní. (Gabriel , et al., 1998)

MVE také může být navržena podle uspořádání strojovny. Dělení je pak následovné:

- S krytou strojovnou
- S polokrytou strojovnou
- S nekrytou strojovnou
- Přelévané strojovny
- Sdružené strojovny

(Bednář, 2013)

Jako poslední hledisko u vodních elektráren je řízení provozu. Elektrárny tedy můžou mít řízení provozu:

- S ručním ovládním
- Částečně automatizované
- Automatizované
- Dálkově řízené

(Bednář, 2013)

6.2 Vzdouvací stavby

Jak již bylo výše zmíněno, pro odběr a následnou výrobu elektrické energie je nutné soustředit spád. Pro odběr a soustředění spádu je tady nutná vzdouvací stavba. Za tímto účelem se budují vzdouvací stavby v podobě jezů a přehrad. V následujících dvou kapitolách bych se pokusil krátce shrnout problematiku těchto staveb.

6.2.1 Přehrady

Přehradní hráz je velice složitou a problematickou stavbou, která je budovaná hlavně jako víceúčelová. Pro hydroenergetický účel je důležité koncentrování velkého spádu, akumulace a vyrovnávání průtoku. V rámci České republiky je potenciál až na pár budoucích lokalit vyčerpán. (Holata, 2002); (Gabriel , et al., 1998)

Historie stavění přehrad je velice rozsáhlá a dokládá to torzo sypané hráze velké vodní nádrže z dob Egyptské říše, vzdálené cca 30 kilometrů jižně od dnešní Káhiry.

Těleso přehradní hráze může být:

- zemní
- zděné
- betonové
- železobetonové

Zemní hráze jsou budovány jako sypané hráze lichoběžníkového průřezu převážně z místních materiálů. Tyto sypané hráze je nutné těsnit. Těsnění může být na návodním líci nebo středové. (Hodák & Dušička, 1998)

Betonové, železobetonové či zděné přehradní hráze mohou mít více konstrukčních způsobů. Základní členění je gravitační (také tížná), klenbová a pilířová. (Gabriel , et al., 1998)

Samotnou kapitolou u výstavby přehradních nádrží je hledisko vlivu stavby na životní prostředí. Tento fakt je také hlavním důvodem, který rozděluje společnost na dva tábory, kde jedna část vidí spíše kladné stránky a druhá záporné stránky výstavby přehradních nádrží. (Gabriel , et al., 1998)

6.2.2 Jezy

Jezy oproti přehradám jsou mnohem častější a také méně komplikované stavby. Hlavním účelem jezové stavby je stabilizace dna toku. Další hlediska jsou zvýšení hladiny podzemní vody, zajištění plavební hloubky, zajištění hloubky pro odběry vody, regulace hladiny a další účely. (Gabriel, et al., 1998)

Základní dělení jezů je na pevné, pohyblivé a dočasné. U jezů můžeme mluvit o velkém množství variant, například jez staropražského typu, klapkový, segmentový, vakový, válcový nebo také parabolický, kolmý a mnoho dalších variant provedení. Důležitá je poloha jezové osy vůči ose toku. Jezy dělíme na kolmé jezy na osu toku a jezy šikmé. Rozlišujeme také jezy s rovnou korunou a jezy se zalomenou korunou. Jezů se zalomenou korunou je více variant. Jezy mohou být budovány také z mnoha materiálů, jako kámen, beton, železobeton, dřevo, ocel. Dnes při výstavbě nového jezu je standardně používáno na spodní stavbu železobetonu a na vrchní pohyblivou stavbu ocelové klapky nebo pryžové vaky. Jezové stavby jsou základním faktorem pro malou hydroenergetiku v České republice. (Hodák & Dušička, 1998)



Obr. č. 7. - Jez Horka (vlastní fotografie)

6.3 Rybí přechody

Po nutné vzdouvací stavbě přichází rybí přechod (také rybochod). Tento typ vodohospodářských staveb byl ještě do nedávna zcela neznámý. Naštěstí je dnes chápán jako nutné vybavení každé příčné překážky na trase vodního toku. Rybí přechod je stavba, která má naprosto jednoduchý úkol, zajistit přirozenou migraci vodních živočichů vodotečí. Hlavní důvodem výstavby je zachování vodní bioty a její diverzity. Je tedy opodstatněný tlak na dodatečnou výstavbu rybích přechodů u plánovaných i stávajících migračních překážek, pokud už nejsou rybím přechodem vybaveny. Cílem je odstranění všech bariér na trase vodního toku. (AOPK, 2017) (Kinkor, 2017)

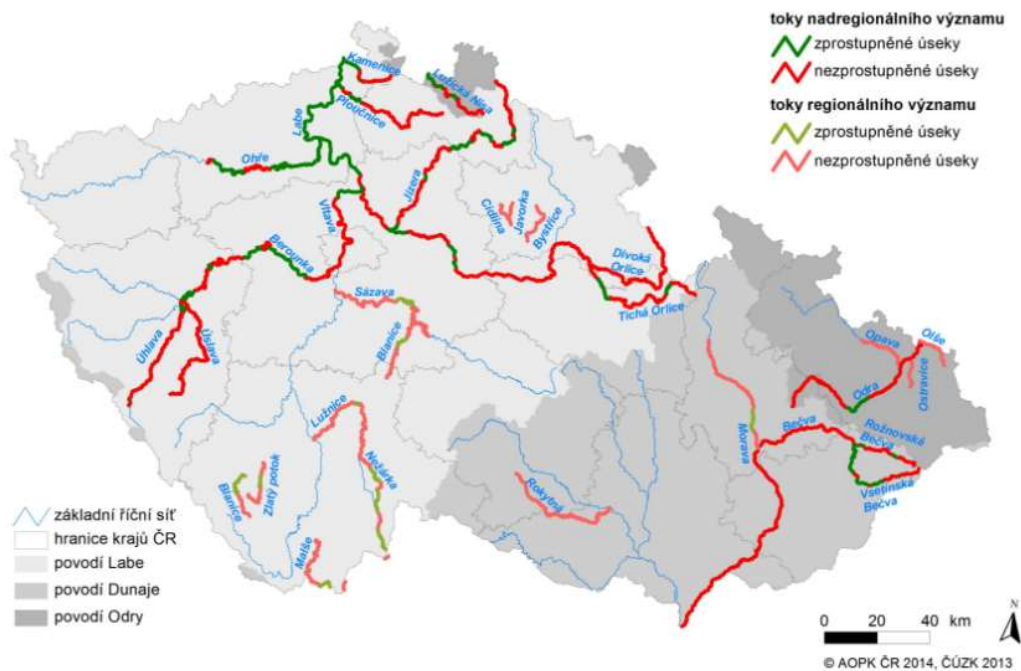
Při návrhu rybího přechodu je dbáno na znalost druhové skladby ryb a živočichů vyskytujících se na dané lokalitě. Každá druhová skladba má své nároky na migrační průchodnost. Podle této různorodé skladby je následně realizován projekt, který je tedy u každé lokality jedinečný. Důležité je samotné nasměrování, navábení ryby.

(AOPK, 2017)

V současnosti se při stavbě nebo rekonstrukci MVE obvykle vyžaduje vybudování tzv. rybích přechodů. Je důležité, aby MVE nevytvořila na toku překážku nepřekonatelnou pro vodní živočichy. Aby ovšem jez mohl vodu okysličovat, musí přes něj protékat voda. I proto je důležité dodržovat zákonem předepsaný minimální zůstatkový průtok (dále jen MZP). Z pohledu hydroenergetika je tedy důležité, aby průtok rybím přechodem byl v rámci právě předepsaného MZP. Dále je nutné zabránit vnikání ryb do turbíny. Zde jde o česle či elektrický odpuzovač ryb na nátoku do přivaděče k MVE. (SPVEZ, 2013); (AHECR, 2017)



Obr. č. 8. - Rybí přechod v Radobyčicích na řece Úhlavě
 (<http://www.casopis.forumochranyprrody.cz/magazin/analyzy-komentare/kudy-vede-cesta-zamysleni-nad-fragmentaci-nasich-rek>)



Obr. č. 9. – Aktuální stav migrační propustnosti na území České republiky
 (<http://www.casopis.forumochranyprrody.cz/magazin/analyzy-komentare/kudy-vede-cesta-zamysleni-nad-fragmentaci-nasich-rek>)

6.4 Stavebně hydraulické objekty na malých vodních elektrárnách

V této kapitole se budu zajímat o jednotlivé objekty, které se mohou nebo musí nacházet na hydrotechnickém díle. Kapitola je rozložena do jednotlivých sekcí, které jdou chronologicky seřazeny za sebou. Samozřejmě každý projekt je jedinečný a je řešený jinak. Některé objekty se nemusí vyskytovat na malé vodní elektrárně. Jiné jsou zase nutné a plynulý provoz díla se bez nich neobejde.

6.4.1 Vtokové objekty

Vtokové objekty jsou zcela nutným zařízením každé malé vodní elektrárny. Vtokové objekty sdružují více funkcí, proto jsou složeny z dalších objektů, z nichž každý má svoji funkci. Vtokové objekty se většinou skládají z objektů hrubých česlí, dnového prahu, normé stěny, obslužné lávky, provizorního hrazení, případně rychlouzávěru, zavzdušňovacího potrubí a dalšího vybavení. (Holata, 2002)

U vtokových objektů je také nutné správně zvolené tvarování, které respektuje hydrauliku proudění vody. Vtokové objekty se dělí na:

- tlakové
- beztlakové
- speciální (Holata, 2002)

Tlakové vtokové objekty

Tento typ je samozřejmě použit pro tlakové přivaděče nebo rovnou jako tlakové vedení přímo k turbíně. U tlakových vtokových objektů je vstup vždy zcela ponořen, a to pod minimální provozní hladinu hydroenergetického díla. Objekt je vybaven hrubými a jemnými česly, dnovým prahem, provizorním hrazením, rychlouzávěrem a také zavzdušňovacím potrubím. Tlakový vtokový objekt je ve většině případů součástí vzdouvací stavby, tedy samotné přehradní stavby nebo jezových pilířů či navigačních zdí. (Holata, 2002)

Beztlaké vtokové objekty

Beztlakové vtokové objekty jsou nejrozšířenějším typem na malých zdrojích. Jedná se o odběr vody z řečiště, na který dále navazuje beztlaký přivaděč s volnou hladinou. Vtokový objekt je vybaven dnovým prahem, hrubými česly, obslužnou lávkou, stavidlem, popřípadě nornou stěnou. (Holata, 2002)

Návrhu beztlakého vtokového objektu se budu věnovat v návrhové části diplomové práce.



Obr. č. 10. –Beztlaký vtokový objekt na MVE Železný Brod, řeka Jizera
(<http://www.stavbaroku.cz/printDetail.do?Dispatch=ShowDetail&siid=672&coid=2>)

Speciální vtokové objekty

Mezi speciální vtokové objekty patří pilířové vtoky, věžové a dnové odběry a odběry pomocí košů a sítí. Tyto druhy odběrů jsou spíše používány u vodárenství. (Holata, 2002)

6.4.2 Česle

Česle jsou nezbytným vybavením hydroenergetických, a dalších jiných odběrných objektů hydrotechnických děl vyznačující se odběrem vody. I když můžeme konstatovat fakt, že na celkových investičních nákladech se podílí minimálně, mají obrovský význam na fungování celé malé vodní elektrárny.

Jejich úkolem je zamezení vniku mechanických nečistot a jiných plavených předmětů, které by mohly omezit nebo dokonce ohrozit provoz těch děl. Těmito plaveninami myslíme například, plavené kusy dřeva, ledové kry, listí, hadry, petlahve a mnoho dalšího různorodého materiálu vyskytujícího se v řečišti. Tento materiál naplavený na česle se nazývá shrabky. Shrabky je nutno shromažďovat a dále odstraňovat, je zakázáno je dále pouštět potoku. (Holata, 2002)

Objekt česlí je ve většině případů umístěn hned na nátoku do přivaděče. Objekt se skládá z lávky, dnového prahu, opěrného prvku a samotné česlicové stěny.

Česle můžeme dělit dle funkce na hrubé a jemné česle. Toto dělení má dále také vliv na jednotlivé konstrukční řešení a uspořádání. Objekt česlí je většinou tvořen česlicemi, které jsou uloženy v horním a dolním uložení. Česlice jsou také řešeny ve více tvarových provedeních. Nejčastějším průřezem je plný kruhový či obdélníkový u páskových česlí. Každý typ česlic má své výhody a je definován tvarovým součinitelem. (Holata, 2002)

Hrubé česle

Jako první jsou umístovány hrubé česle. Je to primární ochrana technologie před hmotnými a tuhými plaveninami, jako jsou například ledové kry, větve, klády a jiné rozměrné materiály. (Holata, 2002)

Objekt hrubých česlí je vybaven obslužnou lávkou. Ta je většinou z bezpečnostního hlediska opatřena zábradlím. Na obslužnou lávku navazuje prostor na shromažďování shrabků. Objekt hrubých česlí je také vybaven dnovým prahem. Dnový práh má funkci zachycení sunutých dnových plavenin. Dále jsou zde opěrné prvky pro samotné česlice. Opěrné prvky jsou dolní a horní. Dolní opěrný prvek navazuje na dnový práh. Horní opěrný prvek je ideálně opřen o obslužnou lávku nebo normou stěnu. Normá stěna dle použité technologie není nutnou součástí objektu

hrubých česlí. Celý objekt hrubých česlí je dimenzován na takzvané plné ucpání. Tedy jako plná nepropustná konstrukce. (Holata, 2002)

Návrhu česlí se budu věnovat v návrhové části diplomové práce.

Jemné česle

Po hrubých česlích obvykle následují jemné česle. Bývají umístovány před nátok do tlakového přivaděče nebo před samotný turbínový domek. Jsou většinou konstruovány jako pevná konstrukce, popřípadě mohou být rozděleny na jednotlivé části, které se dají vyjmout jako celek. Samotné jemné česle jsou tvořeny mříží s česlicemi přivařených k rámu mříže. (Holata, 2002)

Světlá vzdálenost mezi česlicemi je volena podle typu turbíny. Tato vzdálenost se navrhuje vždy menší než nejmenší protékaný otvor turbíny. A to z důvodu prevence ucpání komplikovaně dostupných částí turbíny. Většinou jde o mezilopatkový prostor.

Jemné česle můžeme dále dělit podle obsluhy, a na ručně čištěné a strojně stírané česle.

Jemné česle jsou také konstruovány ve sklonu. Sklon je ve směru proudění. Tento sklon se pohybuje u ručně čištěných česlí v rozmezí 60° až 70°. Při návrhu strojně stíraných česlí je tento sklon obvykle 85°. Ve výjimečných případech se můžeme setkat i se sklonem 90°, který je většinou velice komplikovaný. (Bednář, 2013)

Jemné česle se stejně jako hrubé česle navrhují také na plné ucpání, plus se uvažuje i s koeficientem bezpečnosti. Koeficient bezpečnosti se zavádí z důvodu větší pravděpodobnosti úplného ucpání oproti hrubým česlím. Úplné ucpání je velice pravděpodobné v podzimních měsících. A to díky velkému množství plaveného čerstvě spadaneho listí. Avšak největší pravděpodobnost úplného ucpání připadá na zimní měsíce. Hlavním důvodem je chod tzv. kašovitého ledu a také časté namrzání česlic. Tyto dvě situace mohou nastat i současně. Obě situace mohou mít za následek úplné ucpání jemných česlí. Jedním z hlavních problémů jemných česlí jsou velké ztráty. (Holata, 2002)



Obr. č. 11. – Příklad instalace jemných česlí s automatickým čištěním

(<http://cink-hydro-energy.com/cs/cistici-stroje-cesli/>)

Obsluha česlí

Obsluha MVE je sama o sobě velmi náročná. Tvoří jí i čištění a údržba česlí a likvidace shrabků. Bez lidské práce se neobejdou ani automatické strojově stírané česle. Jedná se o namáhavou, riskantní a hygienicky závadnou práci. Například na řece Vltavě je uváděna průměrná doba tohoto výkonu prací na 700 pracovních hodin ročně. (Holata, 2002)

6.4.3 Přivaděče

Přivaděče u malých vodních elektráren se uvažují pro zajištění potřebného soustředěného spádu a průtoku. Zde mluvíme o tzv. derivaci. Derivace slouží pro vedení odebrané vody do výrobního objektu, kde se využívá nashromážděný spád. Voda je následně vrácena odpadním kanálem zpět do řeky. Dnes je snaha se delších derivací vyvarovat. Samozřejmě existuje mnoho případů, kde bez delších přivaděčů nelze uvažovat o výrobě elektrické energie. (Holata, 2002)

Na trase derivace může také nastat problém křížení s komunikacemi, potoky, hlubšími údolími a dalšími problematickými místy. Zde se pak realizují shybky nebo akvadukty. Každá takováto situace má velice významný dopad na ekonomiku projektu a složitost stavebních prací. Dalším velmi častým objektem na přivaděčích jsou bezpečnostní přepady a přelivy. Bezpečnostní přepady jsou nejčastěji umístovány před jemné česle nebo před samotný nátok do výrobního objektu. (Holata, 2002)

Přivaděče můžeme dělit dle několika hledisek. Například z hydraulického hlediska rozlišujeme přivaděče beztlaké s volnou hladinou, tlakové přivaděče a jejich kombinaci. Dle konstrukce se rozdělují na derivační kanály, náhony, žlaby, potrubí, štolky a šachty. (Holata, 2002)

Beztlaké přivaděče

U beztlakých přivaděčů mluvíme především o derivačních kanálech, náhonech a žlabech s volnou hladinou. U dlouhých derivací se bude stavba potýkat s více problémy. Jedním z problémů je, že se hladina v přivaděči bude nacházet nad okolním terénem. Z toho vyplývá velké množství násypových prací. Samozřejmě se také musí řešit těsnění boků a dna, a to při celé délce přivaděče. Další podmínka je co nejkratší trasa s minimalizací zemních prací, toho se dá docílit jedině vedením trasy po vrstevnici. Vedení po vrstevnici ve většině případů není možné, protože musíme dodržet minimální poloměr oblouku. Dbáme o ideální hydraulické proudění, tedy nesmí nastat příliš malý oblouk. Musí také vyřešit ideální příčný profil a stabilitu svahů.

Návrhem beztlakého přivaděče s volnou hladinou se budu věnovat v návrhové části mé diplomové práce.

Tlakové přivaděče

Druhým typem přivaděče je tlakový přivaděč. Tlakový přivaděč je využíván u MVE pracujících s velkým spádem. Jsou to přivaděče z přehradních nádrží nebo přivaděče z horní zdrže, kde je účel koncentrování většího spádu pro daný typ turbíny. Tlakové přivaděče jsou často součástí již zmiňovaného kombinovaného přivaděče. Na začátku je beztlaký přivaděč, který po dostatečné derivaci přejde nátokovým objektem do tlakového, který vede až k výrobnímu objektu MVE. (Holata, 2002)

6.4.4 Výrobní objekty

Výrobní objekt je srdcem a samozřejmě nedílnou součástí celého vodního díla. Jsou to prostory, kde se odehrává hlavní výrobní proces, bez kterého celý projekt nemá smysl. Proces přeměny spádu a průtoku na elektrickou energii. Zde je soustředěna většina technologie, tedy strojovna, kde jsou turbíny, zařízení pro regulaci, uzávěry, mazací zařízení, převodové mechanismy a generátory. Dále se zde nachází prostory řídicích skříní, rozvodů vyrobené elektrické energie, prostory dílny, sociálního zázemí v podobě WC a umývárny, popřípadě prostory s dalším využitím. U větších elektráren na výrobní objekt navazují administrativní a další objekty. U malých elektráren se tyto objekty, včetně výrobního, omezují z ekonomických důvodů na minimum. (Holata, 2002)

Výrobní objekt je stejně jako každá lokalita vodní elektrárny vždy jiný, unikátní, a to z důvodu použité technologie a místních podmínek. Jinak bude konstruována průtočná, jezová, špičková, tlaková nebo třeba přelévaná elektrárna. Celé dispoziční a konstrukční uspořádání tedy závisí přímo na podmínkách dané lokality. (Holata, 2002)

Návrhem výrobního objektu se budu věnovat v návrhové části mé diplomové práce.

6.4.5 Odpadní kanály

Odpadní kanály slouží hlavně k uklidnění turbulentního proudění a k navrácení odebraného množství vody zpět do řečiště. Na rozdíl od přivaděčů se konstruují výhradně jako beztlaké s volnou hladinou. (Holata, 2002)

U odpadních kanálů převažují výkopové práce z důvodu soustředění potřebného spádu pro výrobu elektrické energie, dochází tedy k velkému zářezu do okolního terénu. Díky velkému množství výkopových prací se délka odpadního kanálu navrhuje co nejkratší. Délka odpadního kanálu odpovídá tedy délce, kdy dojde k dostatečnému uklidnění proudění. Následuje napojení do stávajícího profilu řečiště.

Pokud nejsou na lokalitě prostorově omezené podmínky, můžeme navrhovat běžný zemní kanál s lichoběžníkovým či přírodě blízkým miskovitým profilem. Výhodou oproti přivaděčům je absence těsnění boků a dna kanálu. Důležité je samozřejmě opevnění proti břehové abrazi. Můžeme zde navrhovat opevnění kamennou rovnatinou a dále klasické travní osetí vzniklých svahů se zapojením vlhkomilných dřevin, například vrby. (Holata, 2002)

Návrhem vývařiště a odpadního kanálu se budu věnovat v návrhové části mé diplomové práce.



Obr. č. 12. – Příklad řešení odpadního kanálu na MVE Pyskočely na řece Sázavě

(<http://www.stavbaroku.cz/printDetail.do?Dispatch=ShowDetail&siid=1421>)

6.4.6 Stavidlové uzávěry a provizorní hrazení

Stavidlové uzávěry

Stavidlové uzávěry jsou nejběžnějším typem uzávěrů na MVE. Úkol stavidel je uzavření přivaděče před výrobním objektem MVE. Důvodem jejich osazení je uzavření při náhlých provozních situacích, například povodňový stav či porucha na technologické části. Stavidla jsou osazena v pojezdových drážkách a připevněna k zvedacímu mechanismu. Zvedací mechanismus je buď ruční nebo je vybaven servomotorem. Stavidla jsou také řešena z různých materiálů. V Historii byly vyráběny ze dřeva. Dnes jsou vyráběny nejčastěji z ocele nebo kombinace ocel-dřevo. Důležitou součástí stavidlového objektu je obslužná lávka. (Holata, 2002)



Obr. č. 13. – Příklad řešení stavidlových uzávěrů na MVE Špindlerův Mlýn na řece Labe (<http://1-labska.cz/mala-vodni-elektrarna>)

Provizorní hrazení

Dalším nutným vybavením je provizorní hrazení. Provizorní hrazení je umístováno na přivaděč a na výtok z výrobního objektu. Jeho hlavní úkol je uzavření kanálu při opravě či rekonstrukci ve výrobním objektu. Stejně jako stavidlový uzávěr je ukládáno do drážek. Materiálem provizorního hrazení jsou buď dřevěné fošny sražené na míru nebo duté hliníkové profily. (Holata, 2002)

6.5 Přenos krouticího momentu

V této kapitole se budu věnovat přenosu výkonu turbíny na generátor.

Již v historii byl a stále je přenos výkonu, tedy krouticího momentu na další využití, velkým problémem. Můžeme konstatovat, že ani jednoduchá vodní kola na velice rozšířených mlýnech, hamrech a jiných výrobních objektech nemohly fungovat bez správného převodování. Tento problém se ještě víc prohloubil při následné výrobě elektrické energie na těch dílech. Základ problému tvoří proměnlivé a rozdílné otáčky vodou poháněného stroje a provozních otáček výrobní technologie, tedy i generátoru. Při výrobě elektrické energie je tento poměr násobkový. Pro správné otáčky generátoru je tedy nutné kroutící moment na hřídeli rotoru převodovat tzv. dorychla. Jak docílit správného poměru těchto rozdílných otáček je mnoho.

Tyto převody můžeme dělit do následujících druhů:

- Ozubená soukolí
- Řemenové převody

(Bednář, 2013)

Ozubené převody

Ozubené převody jsou velice častým typem převodu. Tento převod byl už v historii používán na tradičních vodních kolech. Na historických převodech bylo vše zhotoveno individuálně na míru hlavně ze dřeva. Například zuby na soukolí byly zhotovovány z habrových kolíků. Z historie, kde již bylo vyvinuto velké množství druhů ozubení vycházejí i dnešní převodové skříně. (Bednář, 2013)

Dnes je velké množství typů ozubených převodů. Nutné ozubené převody jsou však uspořádány do kompaktního řešení v podobě převodové skříně. Převodových skříní je velké množství a každá má své unikátní vlastnosti. Základní typy jsou čelní, horizontální, kuželové, planetové. (Bednář, 2013)

Návrhem převodové skříně se budu věnovat v návrhové části mé diplomové práce.

Řemenové převody

Řemenové převody jsou také velice oblíbeným typem převodu. Stejně jako ozubené byly historicky užívány na vodních mlýnech, ale i u prvních historických turbín. Využíváno bylo většinou velké vzdálenosti mezi hnací a hnanou hřídelí, tedy třeba u historických továren. Na větších vzdálenostech se už objevovaly základní nevýhody, v podobě nutného napínání řemenice, velkého namáhání ložisek u hřídelí a velmi častého prokluzu hřídelí. Základními druhy jsou ploché, klínové, ozubené a řetězové řemeny. (Bednář, 2013)

6.6 Generátory

Generátory jsou elektrické stroje přeměňující turbínou vytvořenou rotací elektrickou indukci v proměnném magnetickém poli na elektrickou energii ve formě střídavého proudu. (Bednář, 2013)

Systemů pro výrobu elektrické energie je více druhů. U MVE můžeme mluvit o autonomním provozu, převážně u elektráren s menším výkonem. Tedy napojení na vlastní síť, či napojení na síť nízkého napětí. U MVE s větším výkonem je většinou instalován systém napojení přes transformační stanici na síť vysokého napětí. (Bednář, 2013)

Pro přeměnu vzniklé mechanické energie na energii elektrickou se využívá generátorů. Generátory pracují buď jako synchronní nebo asynchronní.

Synchronní generátory

Synchronní generátory jsou spíše historické a dnes již méně časté. Výhoda těchto generátorů je autonomní provoz do vlastní sítě. Další výhodou je možná regulace výkonu. Nevýhody jsou složité fázování, náročná údržba a vysoká cena. (Bednář, 2013)

Asynchronní generátory

Dnes hojně využívané asynchronní generátory nemohou pracovat v autonomním režimu. Na mnoha lokalitách ani není možný autonomní provoz, a to hlavně u elektráren s vyšším instalovaným výkonem, který není možné zpracovat prostřednictvím vlastní spotřeby. Asynchronní generátory musí být tedy připojeny na síť pomocí trafostanice. Prostřednictvím tohoto připojení na síť se také řeší další nutnost, v podobě odběru tzv. jalové energie, která je nutná pro správné najetí generátoru na dané synchronní otáčky. Tyto generátory jsou jednoduché, spolehlivé a vyžadují minimální údržbu. Asynchronní generátory se dimenzují co nejblíže maximálnímu výkonu turbíny. Tyto generátory pracují s vyššími otáčkami než u synchronních otáček. Tímto rozdílem je skluz asynchronního generátoru. Tento skluz funguje proto, aby díky přetočení vyššími otáčkami generátor produkoval právě udávané množství elektrické energie. Asynchronní generátor tedy nemusíme fázovat. Generátor si sám přibrzďuje turbínu na požadovaný výkon. Nevýhodou asynchronních generátorů jsou tzv. přechodové stavy a možný vznik přepětí vlivem akumulace jalové energie. (Bednář, 2013)

Hydrostatický generátor

Další možností, která byla v historii často používána je hydrostatický generátor. Princip je zcela jiný než u elektrických generátorů. Tento generátor používá rekuperaci a získaná energie je k hydromotorům po výrobním podniku rozváděna vlastním vysokotlakým hydraulickým okruhem. (Bednář, 2013)



Obr. č. 14. – Hydrostatický generátor na MVE Vršovice na řece Ohři, (vlastní fotografie)

Frekvenční měnič

Dalším možným elektrickým zařízením je frekvenční měnič. Je to zařízení, které plynule mění otáčky tak, aby byla dosažena nejvyšší účinnost v závislosti na měnícím se průtoku. Toto zařízení snižuje proudové nárazy, tedy odlehčuje generátoru. Tím je nutná menší údržba a zároveň se zvyšuje životnost. Ztráty měniče jsou pouhých 5 %. Nevýhodou je vyšší cena.

(Bednář, 2013)

6.7 Regulace a automatické řízení

6.7.1 Regulace turbín

Problematika regulace patřila vždy k stěžejním záležitostem na MVE. Tento problém je daný proměnlivými faktory. Je jasné hlavní úskalí v podobě proměnlivosti průtoku. V závislosti na kolísání průtoku nastává problém měnícího se spádu. Ohledně nutného spádu a průtoku platí, čím větší průtok, tím se srovnávají horní a dolní hladiny, tedy zmenšuje spád. Díky tomuto velice proměnlivému jevu je vždy nutná regulace na MVE. (Bednář, 2013)

Regulace na MVE je tedy řízení průtoku a tím i spádu.

Regulace může probíhat více způsoby, a to hlavně podle typu turbíny. U turbín s vlastní regulací (Bánki, Pelton, Francis, Kaplan) se jedná o otevírání různých segmentů, dýz, správné natočení klapky či natočením lopatek. Další možností je změna horní hladiny, zde se jedná pouze o pohyblivé jezy. Každá tato regulace má samozřejmě za následek změnu účinnosti turbíny. Cílem provozovatele je udržovat turbínu v optimálním průtoku, spádu, účinnosti a otáčkách. (Bednář, 2013)

6.7.2 Automatické řízení

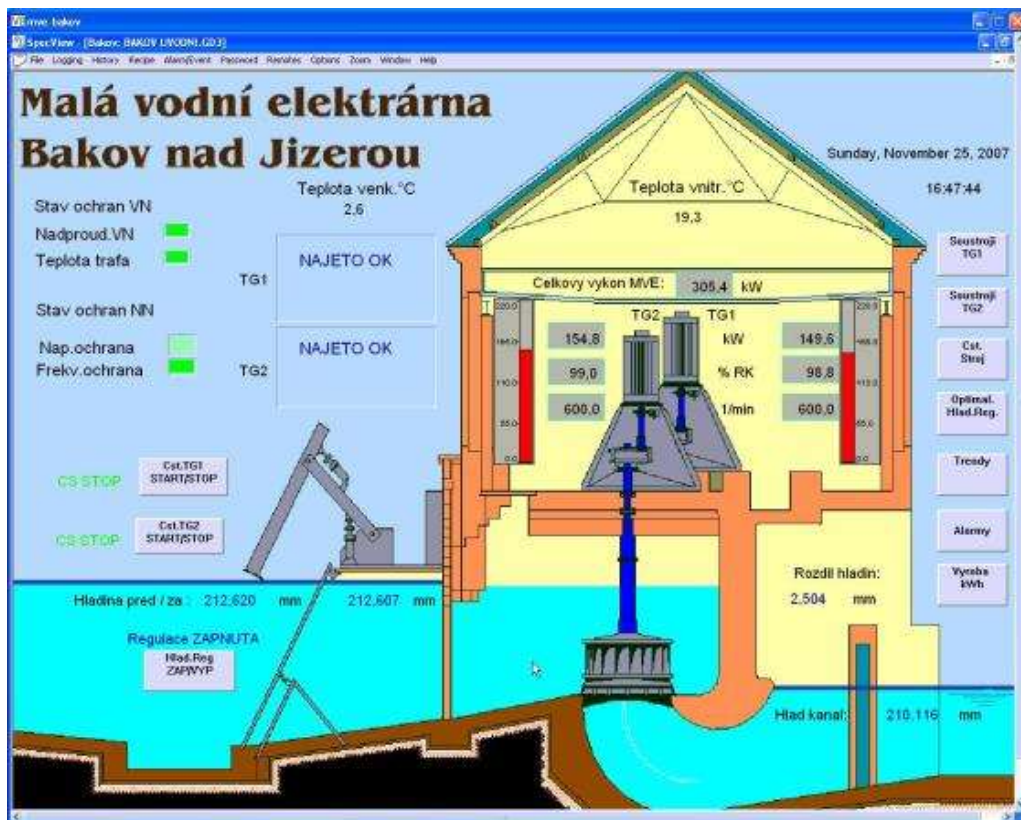
Díky složité regulaci turbín se tento obor neustále vyvíjí. Proměnlivé veličiny je nutné sledovat. Dnes je často skloňována automatická regulace. Při základním řízení se jedná o měření hladin, otáček a výkonu.

Měření hladin spočívá v měření spádu daného rozdílem horní a dolní vody. Pro měření hladin jsou osazeny tzv. hladinová čidla, která pracují v daném rozmezí kolísání hladin. Podle dané hladiny se ovládá otevírání turbíny. Otevírání či zavírání turbíny je řešeno brzdou nebo generátorem. Podle typu turbíny se volí i hladinová regulace. První je skoková regulace, tedy systém start-stop, tato základní regulace v rozmezí zapíná či vypíná turbínu. Další možností je kontinuální regulace. Tato regulace pracuje v rozmezí otevírání či zavírání turbíny, opět ve zvoleném rozmezí. (Bednář, 2013)

Další problematika se týká elektráren s více turbínami. Zde je nutná optimalizace. Optimalizace je postupné otevírání či zavírání turbín tak, aby byla docílena maximální účinnost. (Bednář, 2013)

Měření hladin je také často používáno na česlích. Jedná se o signalizaci zanesených česlí, tedy snížení spádu. Další využití hladinového čidla je pro ovládání povodňových stavidlových uzávěrů. (Bednář, 2013)

Řídicí systém pro automatický provoz MVE většinou obsahuje automatické připojení generátoru při nájezdu na provozní otáčky, synchronizaci generátoru, odpojení generátoru, regulace výkonu generátoru či skupinová regulace turbín. Vše je řízeno programem řídicího systému, který je většinou vybaven pamětí pro záznamy provozních a poruchových stavů. Vše je uděláno v rámci nutných ochranných opatření. Komunikace s obsluhou je prováděna pomocí GSM zpráv. (Elzaco, 2017)



Obr. č. 15. – Řídicí systém na MVE Bakov nad Jizerou

(http://www.shcontrol.cz/cz/article.asp?article_id=18&lang_id=1)

6.8 Členění, typy a konstrukční řešení vodních turbín

V této kapitole se budu věnovat jednotlivým typům a řešení vodních turbín. Jako první je nutné si opravdu velké množství druhů rozdělit podle toho, na jakém principu fungují.

Základní dělení turbín je podle tlaku. Podle tlaku dělíme turbíny na:

- **Rovnotlaké turbíny (také akční)**

Tyto turbíny pracují bez přetlaku. Koncertovaný spád se při vstupu do turbíny přemění v rychlost vodního paprsku, který dopadá na oběžné kolo. Na oběžném kole tento proud vody mění svůj směr a nastává otáčení rotoru. Tlak na vstupu i výstupu z turbíny je totožný. Průtočné kanály nejsou zcela vyplněny vodou. Příkladem rovnotlakých turbín jsou Peltonova, Turgo a Bánkiho turbína.

(Bednář, 2013); (Melichar, 2013)

- **Přetlakové turbíny (také reakční)**

Přetlakové turbíny pracují v tlakovém režimu. Kde na vstupu do turbíny je spádem způsobený přetlak, který se postupně přeměňuje na rychlost proudící vody. Průtočné kanály jsou zcela vyplněny vodou. Oběžné kolo může být tedy pod hladinou vody. Příkladem přetlakových turbín jsou Francis, Kaplan a Propelerova turbína. (Bednář, 2013); (Melichar, 2013)

Další podstatný rozdíl nastává v poloze hřídele turbíny. Zde se turbíny rozdělují na:

- Vertikální
- Horizontální
- Šikmé

(Bednář, 2013)

Rozdílný je také způsob protékání vody oběžným kolem. Zde se turbíny rozdělují na více druhů, podle principu, na jakém pracují. Dělení podle průtoku oběžným kolem je následující:

- **Axiální turbíny** (Kaplanova turbína, Propelerova turbína)

Směr proudění je rovnoběžný s hřídelí oběžného kola turbíny.

- **Radiální turbíny**

Směr proudění je kolmý na osu hřídele oběžného kola. A dělí se na:

- Centrifugální (Founeyronova turbína)

Vnitřní vtok vody, Voda proudí směrem od hřídele

- Centripetální (Francisova turbína)

Vnější vtok vody, Voda proudí směrem k hřídeli

- **Tangenciální turbíny** (Peltonova turbína)

Směr proudění jako tečna k hřídeli oběžného kola.

- **Diagonální turbíny** (Dériazova turbína)

Směr proudění je vzhledem k hřídeli šikmý.

- **Radiálně axiální turbíny** (rychloběžná Francisova turbína)

Směr proudění se mění z radiálního na axiální

(Bednář, 2013); (Melichar, 2013)

Na závěr k turbínám bych se rád zaměřil na nově vyvinutou Zotlötererovu vírovou turbínu.

Vírová turbína (Zotlötererova turbína)

Vírová elektrárna je poměrně nový typ celé malé vodní elektrárny. Turbína byla vynalezena Rakušanem Franzem Zotlötererem, roku 2007 na ni získal patent. Pilotní projekt byl realizován teprve v roce 2005 v rakouském Ober-Grafendorfu, při spádu 1,5 metrů a průtoku 0,9 kubických metrů za sekundu s instalovaným elektrickým výkonem 10 kW. Celé soustrojí včetně generátoru pracuje s účinností 74 %. Srdcem elektrárny je betonová konstrukce sestávající z přivaděče, kruhové nádrže, v jejímž středu je odtokový otvor, nad nímž je umístěna turbína, krátkého odpadu a pomocných betonových konstrukcí. Voda přitéká přivaděčem do nádrže, začíná kroužit kolem vnější stěny, dochází tak ke vzniku víru, čím je blíže středovému otvoru, tím dosahuje vyšší rychlosti, nakonec voda s nejvyšší rychlostí naráží na lopatky speciální turbíny, kterým předává značnou část své energie, následně opouští turbínu otvorem, který se nachází pod ní. Její konstrukce umožňuje využití i velmi malých spádů (od 0,7 m), což je výška všemožných regulačních prahů v regulovaných korytech. Svým provozem navíc provzdušňuje vodu. (Lepisto, 2007) Nevýhodou jsou limity výkonu, budovat elektrárny s výkonem větším, než asi 150 kW se nevyplatí, neboť standardní řešení MVE mají již daleko lepší ukazatele. (Zotlöterer, 2017)



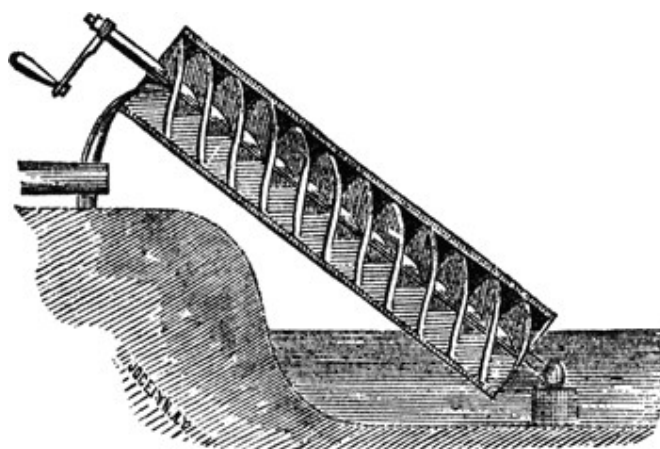
Obr. č. 16. – Příklad realizace vírové turbíny v rakouském Ober-Grafendorfu

(<http://www.zotloeterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/>)

7 Archimédův šroub

Touto kapitolou se dostávám k samotnému jádru mé diplomové práce. Tedy použití Archimédova šroubu.

Archimédův šroub se řadí mezi nejstarší známé čerpací stroje. Tento geniálně jednoduchý princip popsal právě starověký vynálezce Archimédes, který tento vynález pozoroval hojně při cestách podél řeky Nilu v Egyptě. (Brada, 1992)



Obr. č. 17. – Nákres Archimédova šroubu (http://www.vedanasbavi.cz/orisek-37-zs-vnb-ii-11-archimeduv-sroub?ID_mesta=3&IDp=2)

Princip tohoto mechanismu spočívá v hřídeli, která je opatřena šroubovicí a je uložena šikmo v kruhovém žlabu. Celý tento primitivní mechanismus uvádí do chodu otáčení klikou, kdy nastává čerpání media z dolní do horní vody. (Brada, 1995)

Toto zařízení za svou existenci prošlo pouze několika změnami, avšak princip zůstal stále stejný. Po celém světě se tento vynález využívá na zavlažovacích zařízeních nebo při čerpání na čistírnách odpadních vod a v dalších jiných případech.

Archimédův šroub, nebo také šnekové čerpadlo, je hydrostatický rovnotlaký stroj hojně využívaný především jako spolehlivé, provozně nenáročné čerpadlo. Jedná se o pomalu chodné čerpadlo s velkou hltností. Pracuje s expanzní rychlostí již od 300 l/s. Dnes se tento geniální vynález začal stále častěji objevovat v reverzním chodu jako vodní turbína. (HYDRO, 2017); (Melichar, 2012)

Počátek nápadu použít toto osvědčené čerpadlo jako vodní turbínu sahá už do roku 1819, kdy se této problematice věnoval francouzský inženýr Claude Louis Marie Henri Navier. Avšak zapsání jako patent proběhlo o více jak sto let později, v roce 1922, kdy si jej William Moerscher nechal patentovat u Amerického patentového úřadu jako hydrodynamickou šroubovou turbínu. V roce 1932 byl nizozemským vědcem Muyskenem proveden první podrobný výpočet pro užití Archimédova šroubu jako čerpadla, byla zde poprvé definována hltlost a účinnost. (Moerscher, 1922)

Nápad použití jako turbíny, a tedy i patent byl odzkoušen až v roce 1996 v laboratořích ČVUT v Praze pod vedením prof. Ing. Karlem Bradou, DrSc. a Ing. Karl-Augustem Radlikem. Prototyp o výkonu 4 kW vyrobila firma SIGMA Hranice, a byl instalován v roce 1997 v obci Ober Schlägweidmühle v Německu. (Brada & Radlik, 1996); (K. Brada, 1998)

Ve světě již vzniklo několik desítek projektů vodních elektráren, jejichž základem je Archimédova turbína. V České republice je situace zcela jiná, jedná se o novinku. Zatím byla tato turbína použita u pěti projektů MVE. Nicméně se dá očekávat velké množství nových projektů s tímto jednoduchým a historií prověřeným vynálezem. (GESS-CZ, 2017)

Uplatnění může nalézt při rekonstrukcích, jako náhrada vodního kola. Zde můžeme konstatovat, že při stejném instalovaném výkonu bude Archimédova turbína mít menší rozměry a vyšší otáčky. Další uplatnění se nabízí jako dodatečné zefektivnění jinak zbylých nevyužitých spádů u různých technologií. (Fagarallah, 1993); (GESS-CZ, 2017)

7.1 Výhody použití Archimédovy turbíny

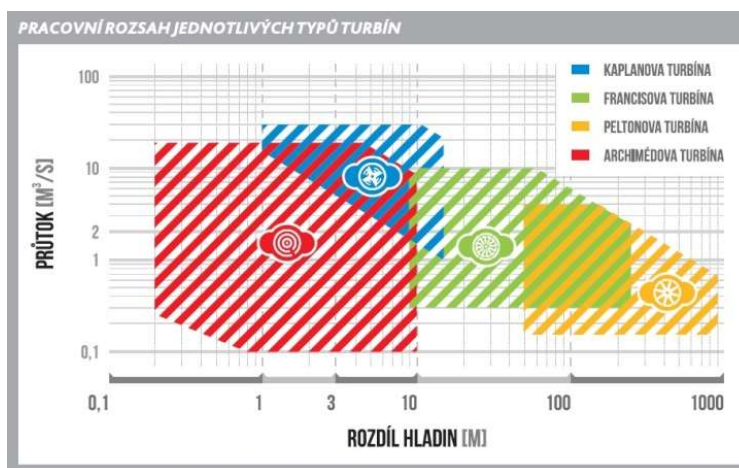
Archimédova turbína skýtá stejně jako šroubové čerpadlo nespočet výhod. Mezi hlavní výhody patří konstrukční a technologická jednoduchost, robustnost, jednoduchá instalace a údržba, vysoká účinnost, provozní spolehlivost, odolnost vůči splaveninám, šetrnost vůči vodním živočichům, nižší pořizovací cena, dlouhá životnost, snadný přístup k činnému prostoru, nevyžaduje instalaci jemných česlí, okysličuje a zlepšuje kvalitu vody, použití i u velmi malých spádů. (GESS-CZ, 2017)

7.1.1 Použití u malých spádů

Jako první, avšak zásadní výhodu pro použití šnekové turbíny musím uvést instalaci na lokalitách s koncentrací skoro minimálního spádu. Archimédův šroub se dá použít na rozdíl horní a dolní vody už od 1 metru. Dle výzkumů spodní hranice využitelnosti činí 0,8 metru, avšak za velice omezených podmínek, proveditelných v laboratoři. Dochází zde k nedostatečnému plnění turbíny. Druhým hlediskem jsou problematické rozměry instalované turbíny při malém spádu. (HYDRO, 2017)

Horní hranice využitelnosti je omezena spádem maximálně 10 metrů. U této hranice, už od 8 metrů se projevuje značný průhyb hřídele. (GESS-CZ, 2017)

Stanovení průhybu hřídele budu řešit ve výpočtové části diplomové práce.



Obr. č. 18. – Pracovní rozsah jednotlivých typů turbín

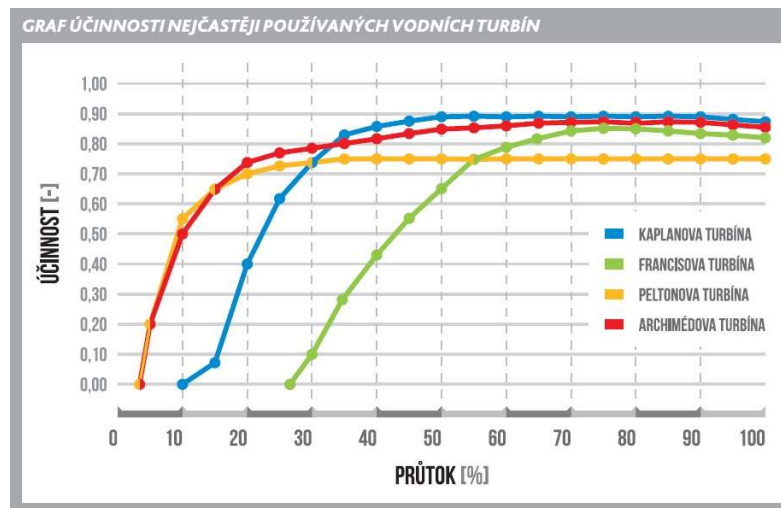
(<http://www.mas-hydro.cz/galerie/tinymce/Archimedes%20screw%20turbine.pdf>)

7.1.2 Vysoká účinnost

Další podstatná výhoda je velice atraktivní rozdělení účinnosti turbíny.

Šneková turbína i přes svou jednoduchost nabízí v závislosti na průtoku opravdu unikátní účinnost. Z hlediska účinnosti se řadí vedle Peltonovy turbíny na počátek pracovního diagramu. Tato vodní turbína začíná pracovat již od 5 až 10 % celkové hltnosti. Již při 20 % hltnosti pracuje turbína s účinností 74 %. Maximální účinnost je 92 % a nastává zhruba při 80 % maximální hltnosti. Tuto zásadní výhodu nenabízí žádná jiná turbína. Například v minulosti hojně využívaná Francisova turbína začíná pracovat až při plnění 30 %. Viz. Příložený graf. (HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017); (Bláha, 2011); (Melichar, 2002)

Toto unikátní rozložení účinnosti se úplně nabízí pro použití u vodotečí s velice rozkolísaným průtokem. (GESS-CZ, 2017)



Obr. č. 19. –Graf účinností jednotlivých typů turbín

(<http://www.mas-hydro.cz/galerie/tinymce/Archimedes%20screw%20turbine.pdf>)

7.1.3 Konstrukční a technologická jednoduchost

Velkou výhodou Archimédovy turbíny je konstrukční a technologická jednoduchost, kde odpadá velké množství problémů. V porovnání s ostatními typy turbín se jedná opravdu o jednoduchý vodní motor, který je složen pouze z plechového žlabu a rotoru v podobě ocelového svařence. Díky již zmíněné jednoduchosti konstrukce turbíny se dá pokračovat dalšími výhodami. (HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017); (Bláha, 2011)

7.1.4 Absence jemných česlí

Jelikož se jedná o jednoduchý stroj, který nemá velké množství malých a pohyblivých součástí a funguje při nízkých otáčkách, není potřeba důkladně chránit žádné složité a náchylné součásti turbíny. Jedná se tedy pouze o zachycení hrubých plavenin. K tomuto poslouží pouze hrubé česle, pro zachycení plavených klacků, větví a dalších rozměrnějších plavenin. Jemné plaveniny jako je podzimní listí a jiné jemné plaveniny bez problému projdou turbínou, a proto můžeme značně problematické jemné česle zcela vynechat. (HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017); (Bláha, 2011)

Návrhem hrubých česlí se budu věnovat v návrhové části mé diplomové práce.

7.1.5 Spodní a vrchní stavba

Spodní stavba

Při použití Archimédovy turbíny postačí malá jednouchá spodní stavba elektrárny. Z hlediska konstrukce základů jde v podstatě o šikmou desku, tedy například monolitická konstrukce desky schodiště u pozemních staveb. Vše je konstruováno rovnoběžně pod zvoleným úhlem, ten se pohybuje podle výpočtů v rozmezí 22-36°, kde jsou výjimky i se sklonem 15°. Platí tedy fakt, že s klesajícím úhlem roste hltlost turbíny. Dále už následují pouze boční zdi a žlab je připraven na osazení turbínou. Není teda nutnost složitého zakládání. (HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017)

Vrchní stavba

Vrchní stavba v podobě turbínového domku nemusí být nutností. V opravdu extrémních podmínkách se dá použít pouze zakrytí elektrických částí, tedy generátorů.

(HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017)

Spodní a vrchní stavbě se budu více věnovat v návrhové části mé diplomové práce.

7.1.6 Jednoduchá instalace

Instalace turbíny je po stavební části spodní stavby elektrárny jednorázovou záležitostí. Avšak díky rozměrům a hmotnosti turbíny je nutné použití jeřábu a velice přesného uložení. (HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017)

7.1.7 Provozní spolehlivost a údržba

Provozní spolehlivost je u malých vodních elektráren velice často zmiňována.

Je to jednoduché hledisko, kde každému provozovateli jde o co nejjednodušší provoz bez dalších komplikací v podobě poruch. Náhlým poruchám se dá částečně předejít pravidelnou údržbou. Žádná elektrárna se neobejde bez pravidelné údržby, kterou provozovatel předchází nákladným opravám a rekonstrukcím. Při použití Archimédova šroubu se dá mluvit o velké minimalizaci údržby. Jedná se pouze o kontrolu mazání ložisek, kontrolu kavitace, kontrolu koroze a další běžné kontroly. Tento fakt vychází z jednoduchosti turbíny. Jednoduše řečeno, při pravidelné údržbě se ta této turbíně nemá co rozbít. (HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017); (Bláha, 2011)

7.1.8 Dlouhá životnost

Výhoda dlouhé životnosti vychází z předešlého odstavce. Pokud provozovatel nepodcení pravidelnou údržbu, dá se samozřejmě mluvit o dlouhé životnosti. Hledisko životnosti turbín je velice závislé na faktu, že v ideálním případě turbína poběží skoro nepřetržitě každý den v roce. Z tohoto plyne samozřejmě velké riziko poruchy a také zkrácení životnosti. U turbín mluvíme o opotřebení uložení, tedy ložiskách a opotřebení lopatek a dalších součástí. U Archimédova šroubu, díky jeho jednoduchosti mluvíme hlavně právě o uložení, tedy životnosti použitých ložisek, které je nutné pro správný chod měnit. Dále se jedná o opotřebení rotoru, tedy samotné šroubovice, kterému se nevyhne žádný typ turbíny. Je ale jasné, že oproti ostatním typům turbín bude menší, a to díky pomalému chodu, kde bude menší kavitace a další nevyhnutelné jevy. Životnost turbíny se předpokládá dle odhadů v průměru 30 až 40 let. (HYDRO, 2017); (GESS-CZ, 2017); (Bláha, 2011)

7.1.9 Šetrnost vůči vodním živočichům

Mezi nevšední vlastnosti oproti ostatním typům turbín patří šetrnost vůči vodním živočichům. Turbína umožňuje relativně bezpečnou migraci ryb. V roce 2011 ve Velké Británii, která je zde brána jako jedna z průkopnických zemí, proběhl podrobný výzkum vlivu této turbíny na různorodou rybí populaci. (Coe & Kibel, 2011) Studii zpracovala FISHTEK CONSULTING. Ze studie vyplývají vynikající výsledky. Ve studii je dále navrženo zlepšení v podobě gumového nástavce na hranu šnekovice při vstupu vody do turbíny. Dobré výsledky v podobě průchodnosti pro ryby daly této turbíně nálepku tzv. fishfriendly, kde výrobci doporučují tento typ turbíny pro osazení i do chráněných území, jako přírodní rezervace a národní parky. (Coe & Kibel, 2011)



Obr. č. 20. – Ichtyologický výzkum Archimédovy turbíny

(<http://ecoevolution.ie/blog/its-true-the-archimedean-screw-is-fish-friendly/>)



Obr. č. 21. – Instalace navrhovaného gumového nástavce na hranu šnekovice rotoru

(<http://ecoevolution.ie/blog/category/small-scale-hydro/>)

Výše zmíněná instalace do chráněných území, jako přírodní rezervace a národní parky proběhla při realizaci vodní elektrárny ve Velké Británii v Dartmoor National Park na řece Dart. Instalovaný výkon činí 65 kW.



Obr. č. 22. – Příklad realizace malé vodní elektrárny v Dartmoor National Park (<http://www.emersonindustrial.com/enUS/controltechniques/newsandevents/presscenter/pressreleases/Pages/ArchimedesScrewPowersRiverDartCountryPark.asp>)



Obr. č. 23. – Stavba malé vodní elektrárny v Dartmoor National Park (<http://www.emersonindustrial.com/enUS/controltechniques/newsandevents/presscenter/pressreleases/Pages/ArchimedesScrewPowersRiverDartCountryPark.asp>)

7.1.10 Okysličování a zlepšení kvality vody ve vodoteči

Princip je jednoduchý, čím vyšší je teplota, tím méně rozpuštěného kyslíku voda udrží. Problém rozpuštěného kyslíku se nejvíce projevil v posledních letech při velice teplých a suchých letních měsících. Z hlediska doplnění životodárného množství vzduchu vyhoví obyčejný jez. Čím prudčeji a z větší výšky padá voda do vývařiště, tím lépe. (Laika, 2017)

Problematika není tak jednoduchá, jak by se zdálo. V současnosti je při výstavbě MVE trend vyloučit veškeré energetické ztráty. V důsledku toho je záměrem všech projektantů přivádět vodu k vodním motorům klidně a bez víření. Tím se okysličovací funkce vodního díla částečně snižuje. (Laika, 2017)

Je třeba zdůraznit, že voda se okysličuje jen v některých turbínách. Pokud je MVE vybavena turbínou přetlakovou (Kaplanovou, Francisovou či vrtulovou turbínou), je situace jiná. Tyto typy naopak množství rozpuštěných plynů ve vodě snižují! Proto bublinky unikající ze savky turbíny ukazují právě to množství rozpuštěného kyslíku, o které byla voda po průchodu strojem ochuzena. K tomuto uvolňování dochází zejména u rychloběžných turbín s dlouhou savkou a výrazným pod tlakem. Mezi typické představitele těchto turbín patří turbíny násoskové typu Metaz. (Laika, 2017)

Turbíny, které snižují obsah rozpuštěného kyslíku, známe. Nyní se zaměřím na typy turbín, které naopak zvyšují podíl rozpuštěného kyslíku ve vodě, jde o přímotlaké turbíny. Pokud za přivaděčem následuje některý z druhů přímotlakých turbín (např. Archimédova, Peltonova, Bánkiho či Turgo turbína), dochází k výraznému okysličení vody právě v turbíně. Jednak neustále se opakujícím vstupem nové vody do zavzdušněného prostoru lopatek a potom také přísáváním nového vzduchu zavzdušňovacími otvory na odtokové straně lopatky (Bánkiho, Girardova a Schwamkrugova turbína), pokud je jimi turbína vybavena. Nezanedbatelné je i okysličení vody, které vzniká při pádu vody z oběžného kola na hladinu ve vývařišti pod turbínou. (Laika, 2017); (GESS-CZ, 2017)

7.2 Nevýhody použití Archimédovy turbíny

Přes nespočet opravdu významných výhod se samozřejmě vyskytují i nevýhody použití tohoto typu turbíny. Naštěstí jejich množství je mnohem menší než množství již popsaných výhod. Bohužel jsou velice zásadní. Je ale množství způsobů, jak tyto nevýhody aspoň částečně eliminovat nebo dokonce z nich v jiném pohledu udělat výhodu.

7.2.1 Nízké otáčky

Nízké otáčky jsou jednou velkou nevýhodou použití Archimédovy turbíny. Sice jsou základem již popisované výhody v podobě šetrnosti vůči vodním živočichům, ale jsou celkem nepříjemnou nevýhodou z technologického hlediska.

Archimédova turbína při běžném provozu pracuje pouze v rozmezí 20-60 otáček za minutu. Tyto nízké otáčky se projeví právě při problematickém a velice omezeném výběru převodové skříně a generátoru, jako nejdůležitější součásti právě pro výrobu elektrické energie. U převodové skříně nastává problém ve významném rozdílu otáček mezi turbínou a generátorem. Generátor musí být nutně robustní, aby mohl vůbec zpracovat nastalé výkyvy v otáčkách. (Bláha, 2011); (GESS-CZ, 2017)

Návrhu převodové skříně a generátoru budu více věnovat ve výpočtové části mé diplomové práce.

7.2.2 Absence regulace výkonu

Další nevýhodou je absence regulace výkonu. Tato nevýhoda plyne z celkové koncepce této turbíny. U většiny turbín je regulace základem, aby mohly vůbec fungovat, například u Kaplanovy turbíny je regulace zajištěna správním naklápěním lopatek do správného úhlu. Archimédova turbína bohužel díky své konstrukci žádnou regulaci nemá. Je tedy nutné s tímto problémem počítat již od začátku projektování.

Regulaci musíme zajistit stavební částí MVE, a to v rámci bočního bezpečnostního přepadu na přivaděči k turbíně. Zde můžu konstatovat, že boční přepad se navrhuje zcela běžně u všech typů vodních turbín, z hlediska bezpečnosti. (Bláha, 2011)

Návrhem bočního bezpečnostního přepadu se budu více věnovat v návrhové části mé diplomové práce.

7.2.3 Hlučný chod turbíny

Další podstatná nevýhoda Archimédovy turbíny je značný hluk, který produkuje. Běžná Archimédova turbína je schopná vyprodukovat hluk o hodnotách dosahujících až 80 dB. (Brada, 1992); (Brada, 2002)

Tento palčivý problém v minulosti vedl až k odstavení malé vodní elektrárny, díky překročení hygienické normy pro hluk. U těchto již realizovaných vodních děl byla nutná rekonstrukce v podobě dodatečného zakrytí šnekové turbíny. (MPO, 2009)

Hluk produkovaný Archimédovou turbínou má více původů.

První velice rušivý zdroj hluku je vyvoláván nárazem koncovou hranou listu šnekovice do hladiny vody, která vstupuje do turbíny. Tomuto hluku se dá částečně vyvarovat, pouze ve výrobě turbíny. Tento hluk jde minimalizovat úpravou sklonu, pod kterým je konstruována turbína nebo tzv. stoupáním chodu šnekovice. (Brada, 2002)

Další zdroj hluku nelze optimalizovat. Je to hluk, který je vyvolán při otevírání hladiny vody při vstupu do závitů šnekovice. Tento hluk roste s růstem vzdálenosti mezi jednotlivými závitů šnekovice. (GESS-CZ, 2017); (Brada, 2002)

Snížení hluku turbíny

Zde bych vyjmenoval jednotlivé postupy, jak lze snížit hladinu hluku produkovanou Archimédovou turbínou. Jako první je úprava sklonu turbíny, který jsem popisoval v předešlém odstavci.

Dalšími opatřeními jsou:

- Zvýšení chodů šnekovice

Tímto opatřením se sníží již zmiňovaná vzdálenost mezi hladinami vody v jednotlivých závitech šnekovice. (GESS-CZ, 2017)

- Úprava hrany listu šnekovice

Hrana šnekovice se může upravit buď zaoblením nebo zalomením proti směru otáčení rotoru. (GESS-CZ, 2017)



Obr. č. 24. – Příklad úpravy hrany listu šnekovice
(http://www.potenergy.co.uk/iford_manor.php)

- Kompletní zakrytí turbíny

Zde se jedná o nejefektivnější a nejjednodušší opatření. Zakrytí turbíny lze zvolit již při výrobě a dá se řešit více variantami.

Rotor je celý uložen ne klasicky do žlabu, ale do plné roury již ve výrobě. Při zvolení této varianty se ale obsluha vzdává jedné velké výhody Archimédovy turbíny, v podobě snadného přístupu přímo k činnému prostoru turbíny.

Další varianta je navaření ve výrobě odebíracího, či odklápěcího krytu, který přímo kopíruje rotor turbíny.

Poslední varianta je běžná, u již stávajících nevyhovujících turbín. Jedná se o dodatečné zakrytí turbíny v podobě dřevěných prken, či polykarbonátové desky, které leží na bočních zdech žlabu, kde je uložena turbína.

Použitím vhodné kombinace těchto opatření lze velice eliminovat produkovaný nepříjemný hluk, a snížit ho dle normy na požadovanou úroveň.

(GESS-CZ, 2017)



Obr. č. 25. – Příklad zakrytí Archimédovy turbíny pro vodní elektrárnu Pilec v Polsku

(<http://archimedespower.co.uk/index.php?id=offer&idd=53&lang=eng>)

7.3 Konstrukční varianty

Archimédova turbína se může vyskytovat ve více konstrukčních variantách. V této kapitole bych jednotlivé varianty krátce shrnul a vyzdvihnul výhody a nevýhody jejich použití.

7.3.1 S betonovým žlabem

Tato konstrukční varianta je méně častá. Hlavními důvody jsou zhotovení naprosto přesného betonového koryta. Z toho plyne časově a technologicky náročná stavba koryta. Další nevýhodou jsou větší ztráty třením. Hlavní výhodou této varianty je nižší cena, která je dána menší náročností na výrobu turbíny. (Brada, 2002)

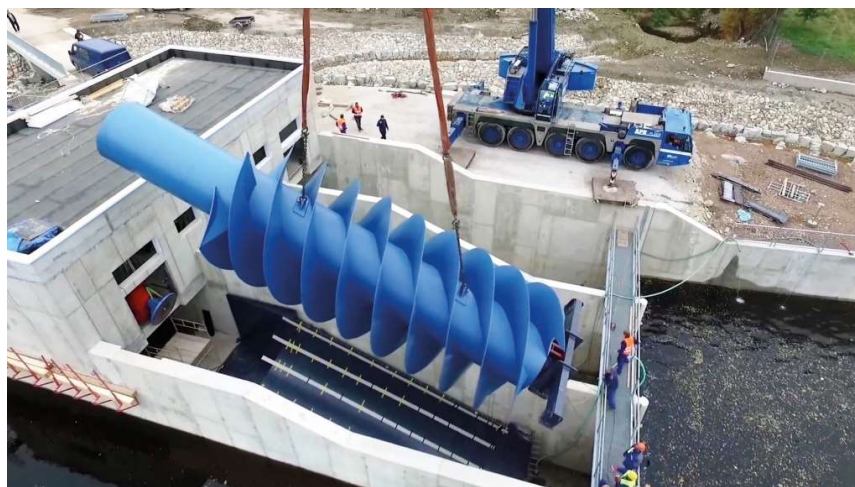


Obr. č. 26. – Příklad Archimédovy turbíny s betonovým žlabem

(http://www.potenergy.co.uk/iford_manor.php)

7.3.2 Se zabetonovaným žlabem

Tato varianta je velice oblíbená. Turbína je na místo instalace přivezena s již hotovým žlabem, který je následně zabetonován do předem připraveného koryta spodní stavby MVE. Mezi výhody této varianty patří minimální údržba, vysoká životnost a nižší tření oproti variantě s betonovým žlabem. (Brada, 2002)



Obr. č. 26. – Příklad instalace Archimédovy turbíny se zabetonovaným žlabem na MVE Planá u Českých Budějovic na řece Vltavě (<http://www.mas-hydro.cz/en/references/small-hydropowerplant-plana-600kw-cz-70.html>)

7.3.3 Kompaktní řešení

Kompaktní řešení je řešení u lokalit, kde není možná klasická spodní stavba MVE. Je tedy nutné na lokalitu dopravit kompletní technologickou část, která je po správném osazení a připojení na elektrickou síť okamžitě plně funkční a připravená na provoz. Kompaktní řešení je složeno ze samonosného žlabu s nátokem, turbíny, převodové skříně a generátoru. Řešení je složitější na výrobu a zdatelně dražší, a je zde pravděpodobnost namrzání samonosného žlabu v zimních měsících. (Brada, 2002); (Pálffy, 1994)



Obr. č. 27. – Příklad instalace kompaktního řešení Archimédovy turbíny
(<http://archimedespower.co.uk/index.php?id=news&idd=35&lang=eng>)

7.3.4 Trubní provedení

Tato varianta je pouze další modifikací předešlého kompaktního řešení. Skýtá stejné výhody jako předešlé řešení a nabízí ještě výhodu méně hlučného provozu. Nevýhody jsou stejné jako u předešlé varianty. (Brada, 2002)



Obr. č. 28. – Příklad instalace trubního provedení Archimédovy turbíny
(http://www.potenergy.co.uk/alhampton_mill.php)

7.3.5 Nový typ Archimédovy turbíny s rybím výtahem

Momentálně asi nejzajímavějším počinem v oblasti Archimédovy turbíny je instalace prototypu nově vyvinutého typu Archimédovy turbíny v Rakousku na říčce Jeßnitz-Bach. Walter Albrecht si nechal tuto turbínu patentovat. Turbína je konstrukcí zcela jedinečná, má v sobě totiž zároveň instalován tzv. rybí výtah. Rybí výtah funguje na principu sání dolní vody. Ryba, která je navábena turbulentním prouděním pod turbínou a je nasáta do rybího výtahu, který jí plynule přeneše do horní vody. Turbína je naistalována v kompaktním řešení. (Reuter & Kohout, 2014)

Na lokalitě je spád 3,15 metru, hltnost turbíny je 200 l/s, instalovaný výkon je 7 kW.



Obr. č. 29. – Příklad instalace prototypu nové Archimédovy turbíny s rybím výtahem (<http://www.xn--iws-una.de/wp-content/uploads/Praxishandbuch>)

7.4 Podobné realizované projekty v České republice

Projekty, které využívají Archimédovy turbíny jsou dnes po celém světě, Nejvíce jich nalezneme v Evropě. V sousedním Německu či Rakousku jsou již takto osazeny za posledních 20 let desítky turbín, které i na malých spádech s rozkolísaným průtokem spolehlivě pracují. (REHARTGROUP, 2017)

V České republice je realizováno několik vodních elektráren využívajících Archimédovu turbínu. Jednotlivá vodní díla v této kapitole krátce shrnu.

MVE Planá u Českých Budějovic

Instalovaný výkon: 600 kW, spád: 2,3 m, řeka: Vltava, 3 turbíny MAS HYDRO



Obr. č. 30. – MVE Planá u Českých Budějovic na řece Vltavě (<http://www.mas-hydro.cz/en/references/small-hydropowerplant-plana-600kw-cz-70.html>)

MVE Kaceřovský mlýn (okres Rokycany)

Instalovaný výkon: 220 kW, spád: 1,8 m, řeka: Berounka, 4 turbíny GESS



Obr. č. 31 a 32. – Pohled na činnost turbín na MVE Kaceřovský mlýn (vlastní fotografie)



Obr. č. 33. – Pohled na složení horního ložiska, spojky, převodové skříně a asynchronního generátoru na MVE Kaceřovský mlýn (vlastní fotografie)

MVE Soběslav

Instalovaný výkon: 100kW, spád: 1 m, řeka: Lužnice, 5 turbín GESS



Obr. č. 34. – Stavba MVE Soběslav

(<http://statika-krecht.webnode.cz/album/fotogalerie/cimg3118-jpg/>)



Obr. č. 35. – Uvedení do provozu MVE Soběslav

(<http://statika-krecht.webnode.cz/album/fotogalerie/cimg3118-jpg/>)

MVE Červený potok (obec Králíky, Jeseník)

Instalovaný výkon: 66 kW, spád: 4,6 m, řeka: Morava, jedna turbína GESS



Obr. č. 36. – Instalace turbíny na MVE Červený potok, první realizace v České republice (<http://www.calla.cz/atlas/detail.php?kat=1&id=1993>)

MVE Semošice

Instalovaný výkon: 37kW, spád: 2 m, řeka: Radbuza, jedna turbína GESS



Obr. č. 37. – Dokončená MVE Semošice včetně rybiho přechodu a zakrytování turbíny (<http://www.cht.cz/aktuality/mve-semosice-z-ptaci-perspektivy/>)

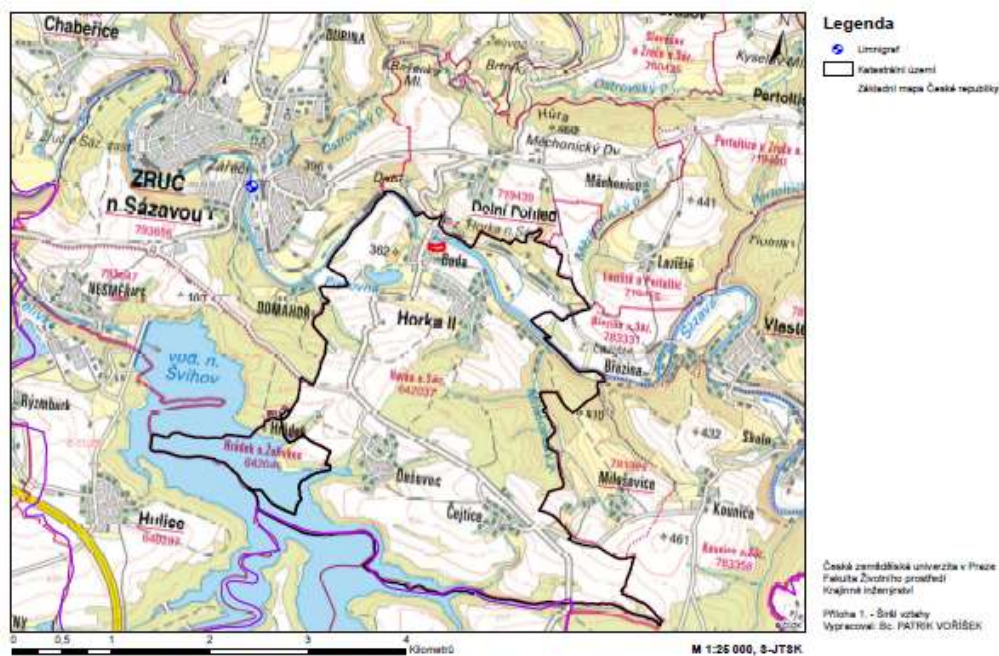
Analytická část

8 Analýza vybrané lokality

8.1 Základní popis lokality

Širší vztahy

Řešené území se nachází v obci Horka II, konkrétně v sídelní jednotce Buda. Jedná se o katastrální území Horka nad Sázavou a obcí s rozšířenou působností Kutná Hora. Horka II se nachází ve Středočeském kraji, zhruba 2,5km od Zruče nad Sázavou. Na jižní hranici a částečně i vně katastrálního území, se nachází vodní nádrž Švihov. Viz. výkres širších vztahů v grafických přílohách. Oblast se nachází v klimatickém region MT2, tedy mírně teplý, mírně vlhký.



Obr. č. 38. – Širší vztahy (vlastní tvorba)

Popis vybraného území

Navrhovaná stavba se nachází na levém břehu řeky Sázavy v nadmořské výšce 330 m. Na pravé břehu se nachází mlýn, u kterého byl původní náhon s vodní elektrárnou. V současné době slouží mlýn k rekreačním účelům a náhon již není funkční. Pozemek je na rovině a dle katastru nemovitostí vedený jako trvalý travný porost a neplodná půda. Přes pozemek prochází elektrické vedení VN 3x22kV.



Obr. č. 39. – Zákres lokality v ZM10
(vlastní tvorba)

Územní plánovací dokumentace

Dle územního plánu obce je vybraná lokalita vymezena jako zastavitelná plocha s využitím Z3, a to technická plocha s indexem konkrétní funkce (malá vodní elektrárna včetně vodních ploch využitelných pro sádky). (Horka, 2007)

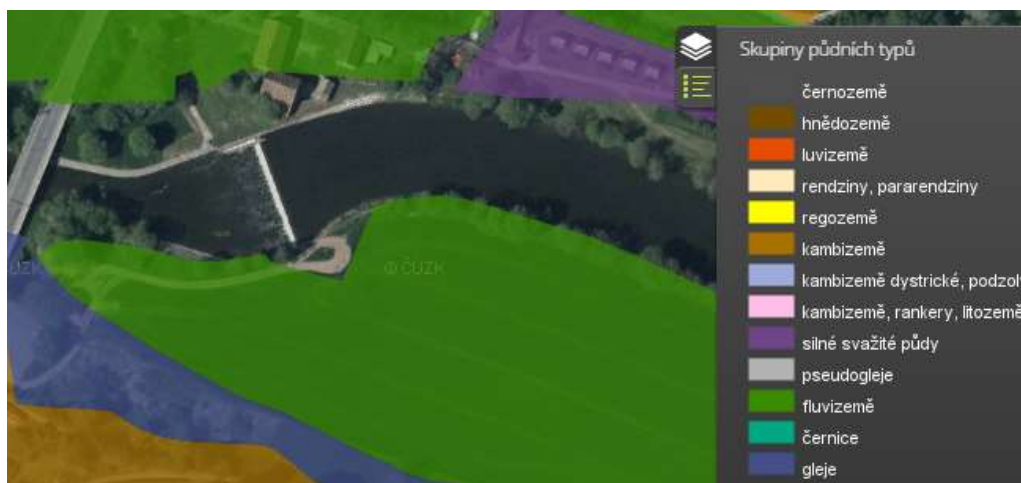


Obr. č. 40. – Výřez z aktuálního územního plánu včetně legendy (<http://www.obce-horkaii.cz/uzemni-plan-obce/schvaleny-uzemni-plan-obce/>)

Geomorfologie v území

Hornina:	pararula
Typ horniny:	metamorfit
Soustava:	Český masiv – krystalinikum a prevariské paleozoikum
Oblast:	moldanubická oblast (moldanubikum)
Region:	metamorfní jednotky v moldanubiku

Z geologického hlediska se na pozemku nachází půdní typ fluvizemě. Tento půdní typ se nachází především v říční nivě pravidelně zaplavované povodňovou vodou. Fluvizemě se vyznačují příznivými fyzikálními vlastnostmi a mimo období občasných záplav nejsou ovlivňovány nadbytečnou vlhkostí.



Obr. č. 41. – Výřez z pedologické mapy (<http://mapy.vumop.cz/>)

8.2 Terénní průzkum lokality

Na zvolené lokalitě byl proveden terénní průzkum, obsahující čtyři průzkumy zvolené, podle určitého průtoku. Při průzkumech byl měřen rozdíl hladin horní a dolní vody na jezové stavbě. Dále bylo provedeno měření dalších nutných výšek. Tyto hodnoty byly použity jako vstupní data do návrhové a výpočtové části. Při průzkumu byla pořízena fotodokumentace.

Průzkum 1: $Q_1 = 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Spád = 2,07 m

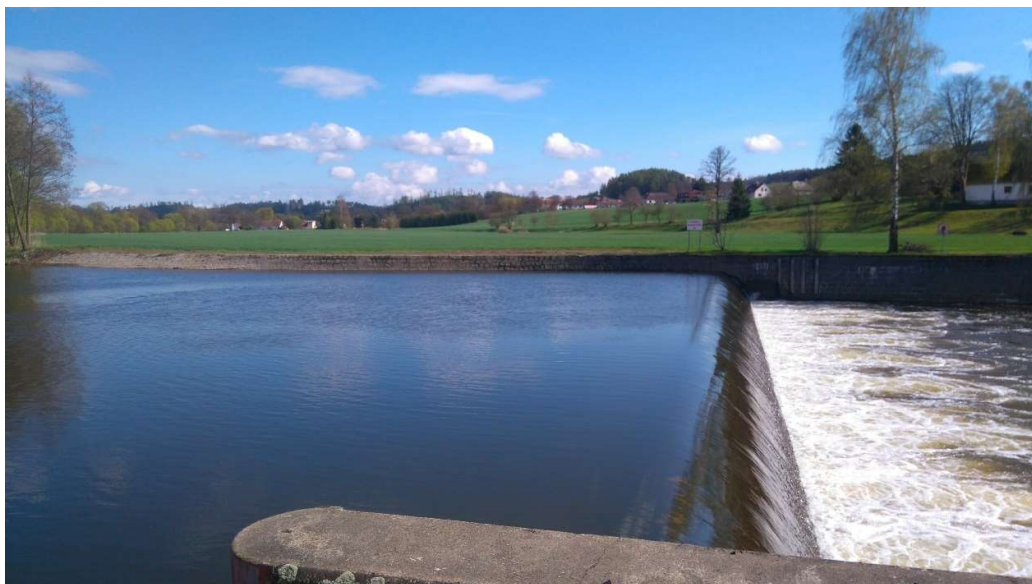
Průzkum 2: $Q_2 = 9 \text{ m}^3/\text{s}$
Spád = 2,05 m

Průzkum 3: $Q_3 = 13 \text{ m}^3/\text{s}$
Od koruny jezu po terén = 1,30 cm
Od horní hladiny po terén = 1,05 cm
Od spodní vody po terén = 3 m
Spád = 1,95 m

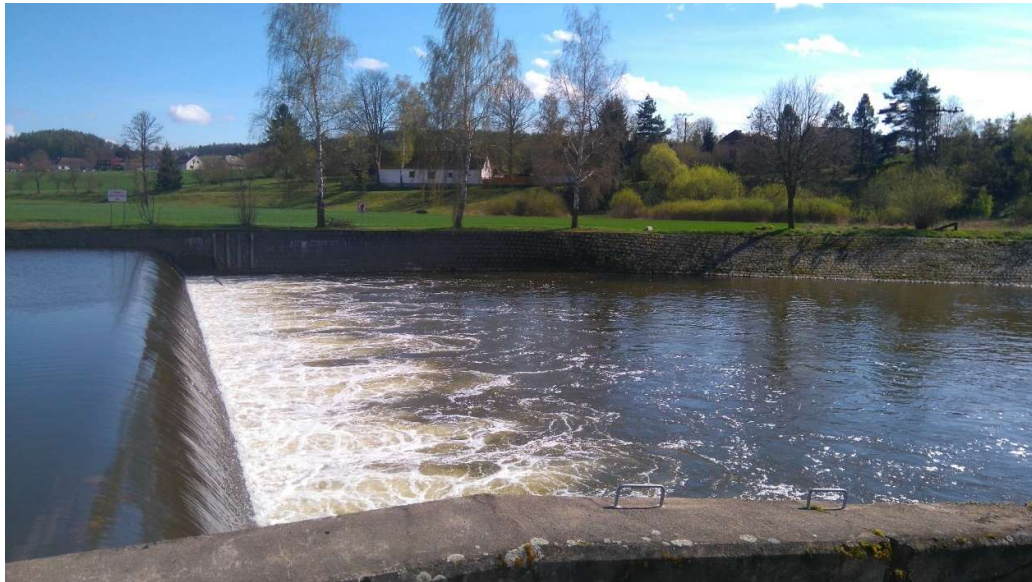
Průzkum 4: $Q_4 = 11,30 \text{ m}^3/\text{s}$
Spád = 2,03 m
Pořízení fotodokumentace



Obr. č. 42. – Pohled na stávající jezovou stavbu (vlastní fotografie)



Obr. č. 43. – Pohled na stávající jezovou stavbu (vlastní fotografie)



Obr. č. 44. – Pohled na stávající jezovou stavbu (vlastní fotografie)



Obr. č. 45. – Pohled na stávající sloup VN 3x22kV (vlastní fotografie)

8.3 Limity lokality

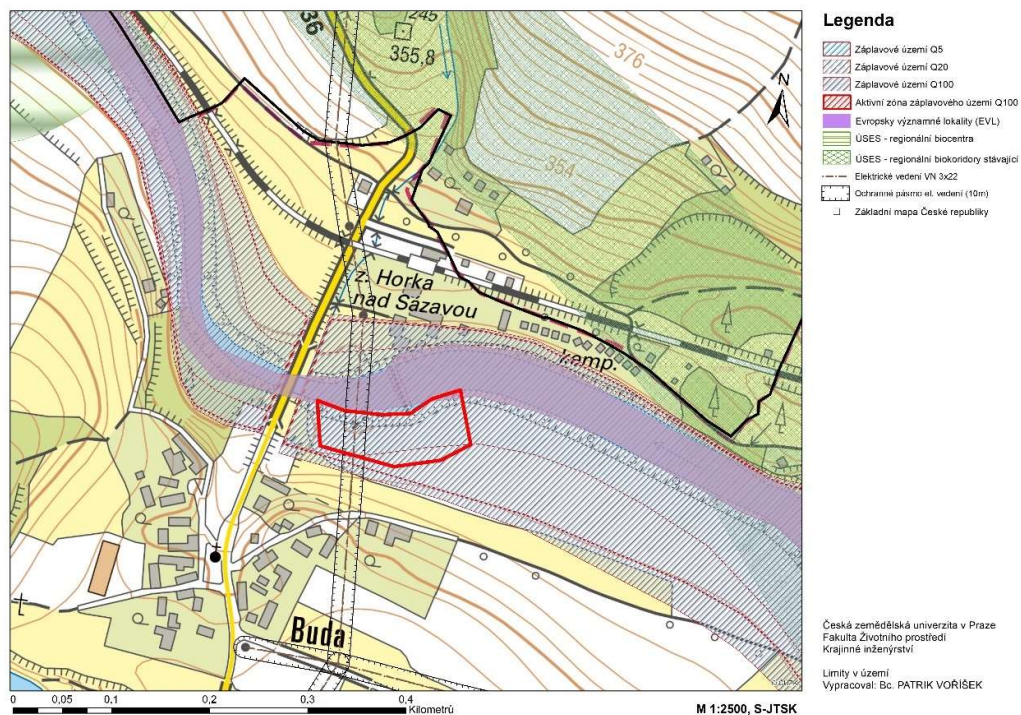
V řešeném území se nacházejí limity životního prostředí a limity technické infrastruktury. Všechny limity, které se v území nacházejí jsou graficky zpracovány viz. Příloha.

Pozemek se nachází v záplavovém území jak 5leté, tak i 20leté a 100leté vody. Nachází se zde i aktivní zóna záplavového území 100leté vody. Korytem řeky Sázavy, a tedy i řešeným územím, prochází NATURA 2000 – Evropsky významná lokalita CZ0213067. Předmět ochrany je lokalita bolena dravého (*Leuciscus aspilus*). Území NATURA 2000 je dlouhé cca 25 km jižně od Kutné Hory a zahrnuje vodní tok Sázavy od Ledče nad Sázavou po Zruč nad Sázavou. (AOPK, 2017)

Součástí dokumentace tedy bude nutné tzv. Naturové hodnocení.

V těsné blízkosti řešeného území se nachází regionální biokoridor RBK 1312.

Přes pozemek prochází elektrické vedení VN 3x22kV, které má ze zákona ochranné pásmo 10 m na pravou i levou stranu.

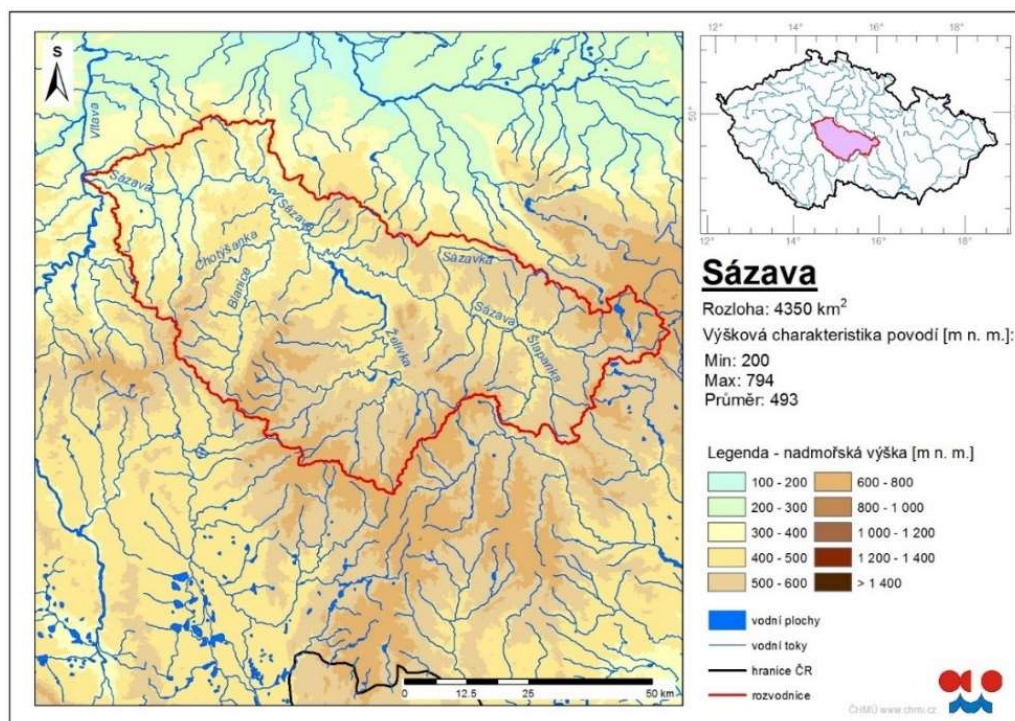


Obr. č. 46. – Limity lokality (vlastní tvorba)

8.4 Povodí Sázavy

Řeka Sázava pramení v kraji Vysočina zhruba 1 km severozápadně od Šindelného vrchu v nadmořské výšce 757 m.n.m. a ústí do Vltavy u Davle 200 m.n.m. Sázava odvodňuje část Českomoravské vrchoviny a severní oblast Středočeské pahorkatiny. Řeka patří mezi toky vrchovinno-nížině oblasti. V zimním a jarním období odteče nad 60 % celoročního odtoku. Maximálních průtoků dosahuje od února do dubna, což je způsobeno táním sněhu na Českomoravské vrchovině. Minimální průtoky má řeka Sázava v letních a podzimních měsících. (Herber & Dobrovolný , 2017)

Celková délka řeky činí 225,9 km a plocha povodí měří 4350,3 km². V povodí Sázava se celkově nachází 4890 vodních toků z toho největším přítokem je řeka Želivka. (Herber & Dobrovolný , 2017)



Obr. č. 47. – Schématická mapa povodí Sázavy (<http://portal.chmi.cz/>)

8.5 Hydrologické údaje o toku

Hydrologické údaje jsou základním podkladem pro návrh MVE. Používají se hydrologické údaje dle ČSN 75 1400.

V následujících tabulkách jsou zobrazeny základní hydrologické podklady dané lokality dle ČSN 75 1400. Tyto údaje poskytl Český hydrometeorologický ústav.

Tok:	Sázava				
Nejbližší vodoměrná stanice:	Zruč nad Sázavou				
Kraj:	Středočeský kraj				
ORP:	Kutná Hora				
Obec:	Zruč nad Sázavou				
Provozovatel stanice:	ČHMÚ Praha				
Centrum automatického sběru dat:	CPP ČHMÚ Praha				
Staničení:	105.20 [km]				
Číslo hydrologického pořadí:	1-09-01-133				
Plocha povodí:	1420,68 [km ²]				
Zeměpisné souřadnice:	150613 v.d. 494429 s.š.				
Nula vodočtu:	323,10 [m.n.m.]				
Procento plochy povodí toku:	32,6				
Stupně povodňové aktivity:	[cm] [m ³ /s]				
Bdělost	200	48,6			
Pohotovost	250	76,3			
Ohrožení	350	154			
Průměrný roční stav:	95 [cm]				
Průměrný roční průtok:	9,35 [m ³ /s]				
N-leté průtoky:	Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
[m ³ /s]	89,2	166	202	294	336



Obr. č. 48. – Výřez z vodohospodářské mapy

(http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX)

8.6 Jakost povrchových vod

Klasifikace jakosti povrchových vod podle ČSN 75 7221 (VÚV TGM, v.v.i.).

Na lokalitě se má řeka Sázava třetí třídu jakosti povrchových vod.



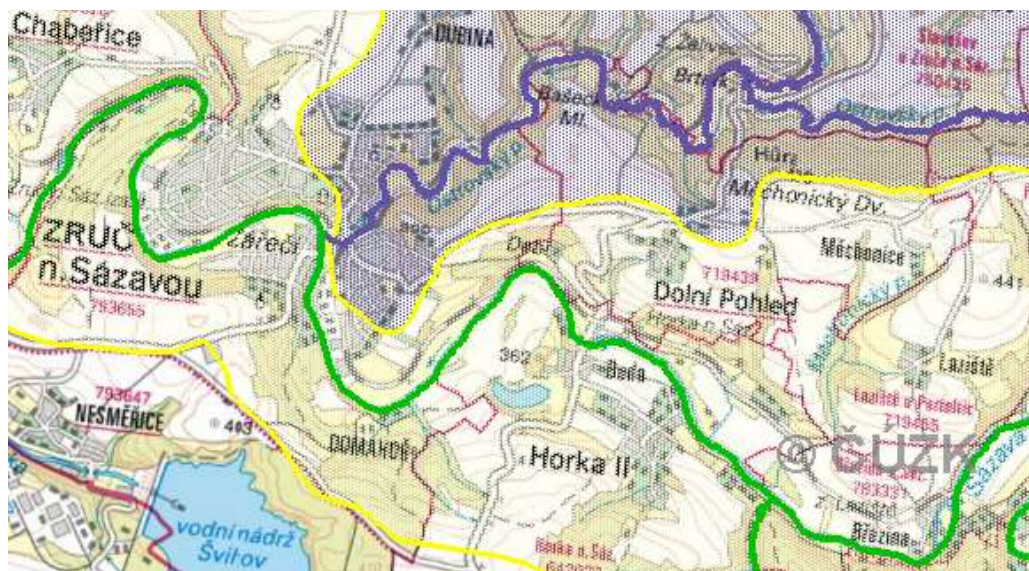
Obr. č. 49. – Výřez z vodohospodářské mapy

(http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX)

8.7 Ichtyologie

Lokalita spadá do kaprových vod (podle NV 71/2003 Sb.).

Implementace směrnice 78/659/EHS do právního řádu ČR nařízením vlády 71/2003 Sb. o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod.



Obr. č. 50. – Výřez z vodohospodářské mapy

(http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&TMPL=AJAX)

Přesné zařazení lokality

Název stanovené vody:	Sázava nad Želivkou
Typ vody:	Kaprové vody
Číslo stanovené vody:	96
Povodí:	povodí Vltavy

Dle NATURA 2000 je zde lokalita bolena dravého (*Leuciscus aspius*). Zastoupení druhů v rybí obsádce je významně ovlivňováno vysazováním ryb Českým rybářským svazem. Vysazovány jsou druhy kapr obecný (*Cyprinus carpio*), lín obecný (*Tinca tinca*), cejn velký (*Abramis brama*), jelec tloušť (*Leuciscus cephalus*), úhoř říční (*Anguilla anguilla*), candát obecný (*Sander lucioperca*), bolen dravý (*Leuciscus aspius*), štika obecná (*Esox lucius*), okoun říční (*Perca fluviatilis*), siven americký (*Salvelinus fontinalis*), parma obecná (*Barbus barbus*) a další. (AOPK, 2017)

Z význačných bezobratlých se zde vyskytují kriticky ohrožené druhy mlž velevrub malířský (*Unio pictorum*) a rak říční (*Astacus astacus*). (AOPK, 2017)



Obr. č. 51. – Značení začátku lovného úseku na lokalitě (vlastní fotografie)

8.8 Vzduvací stavba

Lokalita navrhované MVE se nachází v těsné blízkosti stávajícího pevného jezu na říčním kilometru 108,7.

Název jezu: Horka

Poloha jezu: 49°44'15.579"N, 15°7'43.325"E

Popis jezu:

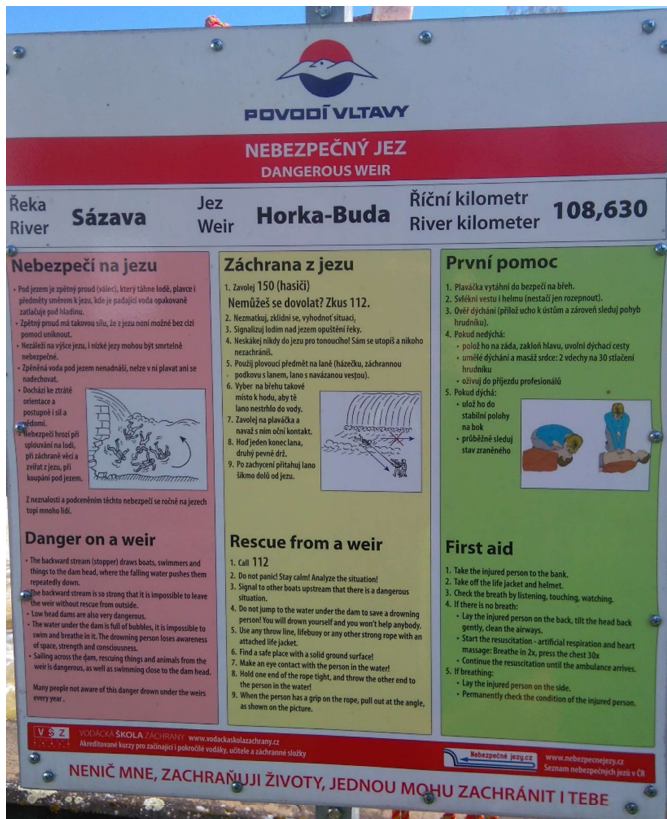
Jedná se o pevný betonový jez parabolického tvaru s hlubokým vývařišťem. Jez doprovází vysoké navigační zdi. Zeď na pravém břehu je pro vodáky snížena cca na 1 metr výšky. Na jezu se nachází hluboká a velmi úzká propust se skokem na začátku. Koza propusti je na začátku i na konci opatřena nouzovým jištěním v podobě kotvy. Jez je řazen mezi nejnebezpečnější jezy v České republice. Vodácká propust má účel také rybiho přechodu, který ale není funkční. (Nebezpecnejezy.cz, 2017)

Rozměry jezové stavby:

Celková délka jezu:	53 m
Délka koruny jezu:	50 m
Šířka vodácké propusti:	2 m
Délka vodácké propusti:	20 m
Šířka kozy:	1 m
Spád jezu:	2 m
Délka levé nábrežní zdi:	100 m
Délka pravé nábrežní zdi:	50 m



Obr. č. 52. – Sportovní propust' (vlastní fotografie)



Obr. č. 53. – Informační cedule (vlastní fotografie)

8.9 Spádové poměry na lokalitě

Spádové poměry jsou velice významná část správného výběru lokality pro MVE. Spád je spolu s průtokovými poměry hlavním parametrem, který určuje množství vyrobené elektrické energie a stavební náročnost na MVE. Díky dostatečnému spádu lokality se velice snižují investiční náklady na výstavbu MVE. Také určují, jestli je záměr stavby vůbec realizovatelný.

Spádové poměry vyskytující se na lokalitě byly zpracovány při terénním průzkumu.

Spád hrubý = Rozdíl hladin na jezu při jednotlivých průtocích + spád úseku jez-výtok

Do výpočtové části volím tedy spád při průtoku cca 10,5 m³/s, který je snížen o vypočtené ztrátové výšky.

Spád čistý = H = 2 m

8.10 Minimální zůstatkový průtok

Minimální zůstatkový průtok (dále jen MZP) též nazývaný sanační nebo hygienický průtok, je průtok, který je nutno nechat v řečišti pod místem odběru. A to za účelem zachování ekologické stability, tedy pro ochranu bioty v řečišti. MZP je nutné znát pro návrh MVE. (Kinkor, 2017)

Tento průtok definuje vodní zákon a stanovuje ho příslušný vodoprávní úřad dle metodického pokynu Ministerstva životního prostředí dle § 36 zákona 254/2001 Sb.

Stanovení směrných hodnot

Směrné hodnoty se stanovují dle následujícího rozdělení:

průtok Q_{355d}	minimální zůstatkový průtok
< 0,05 m ³ /s	Q_{330d}
0,05 - 0,5 m ³ /s	$(Q_{330d} + Q_{355d}) \cdot 0,5$
0,51 - 5,0 m ³ /s	Q_{355d}
> 5,0 m ³ /s	$(Q_{355d} + Q_{364d}) \cdot 0,5$

Kde Q_{355d} , Q_{330d} a Q_{364d} jsou m-denní průtoky, které byly dosaženy nebo překročeny průměrně po dobu m-dní. Vodoprávní úřad je určuje z měřených dat od roku 1931. (Kinkor, 2017)

Stanovení MZP

Pro stanovení MZP je nutné nejprve vyčíslit tyto směrné hodnoty.

Následně vodoprávní úřad postupuje:

- MZP je stanovený přímo jako směrná hodnota.
- Nebo je stanovena vyšší hodnota než směrná hodnota.

(Kinkor, 2017)

A to v případech, zachování či zlepšení jakosti povrchových vod, udržení života ve vodě, ochrana ohrožených druhů a cenných ekosystémů, znemožnění odběru podzemních vod, zabránění nadměrnému ukládání sedimentů, ochrana vodního toku jako estetického činitele nebo zachování podmínek pro rekreaci u vody. (MŽP, 2017)

Nebo je výjimečně stanovena nižší hodnota než směrná hodnota, jsou-li k tomu závažné důvody. Například zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Nejnižší přípustná hodnota je Q_{364d} . (MŽP, 2017)

Dále také může vodoprávní úřad uložit provedení vhodných kompenzačních opatření. Například pro zajištění dostatečné hloubky vody. Metodický pokyn také dále uvádí, že MZP by měl být stanoven pro vhodná časová období v různé výši. Tedy sezónní a měsíční hodnoty. To je zde zmiňováno hlavně u delších úseků. Tedy dlouhých derivací či vodních náhonů. (MŽP, 2017); (Kinkor, 2017)

Zvláštní případy

Zvláštní pozornost je věnována, kdy je z málo vodnaté vodoteče odebíráno více jak polovina průměrného průtoku.

U vodních toků s průtokem $Q_{355d} < 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ se v metodickém pokynu nedoporučuje povolovat nakládání s vodami. (MŽP, 2017)

Suchá období a nouzové situace

Pokud se vyskytnou v průběhu roku rovné nebo nižší průtoky než MZP, nelze vodu z povrchových vod odebírat. Kromě ohrožení zásobování pitnou vodou, kde lze v období sucha MZP snížit na určité období. (MŽP, 2017)

Kontrola MZP

Vodoprávní úřad také odběrateli uloží povinnost zřídit značku na měrném profilu, či osazení měrného zařízení nebo zpracování manipulačního a provozního řádu. (MŽP, 2017)

Stanovení MZP pro lokalitu

MZP stanovuje příslušný vodoprávní úřad, a to dle předešlého metodického pokynu. Vodoprávní úřad bude tento průtok stanovovat podle m-denních průtoků z nejbližší vodoměrné stanice ve Zruči nad Sázavou. Tato stanice je vzdálena pouze necelé 4 kilometry dále po toku a v tomto úseku nepřitéká žádná významná vodoteč, která by ovlivnila zkoumané průtokové poměry. MZP bude vodoprávním úřadem s největší pravděpodobností stanoven jako průtok Q_{355d} . Tento průtok Q_{355d} odpovídá $1,355 \text{ m}^3/\text{s}$.



Obr. č. 54. – Poloha limnigrafické stanice

([http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html))

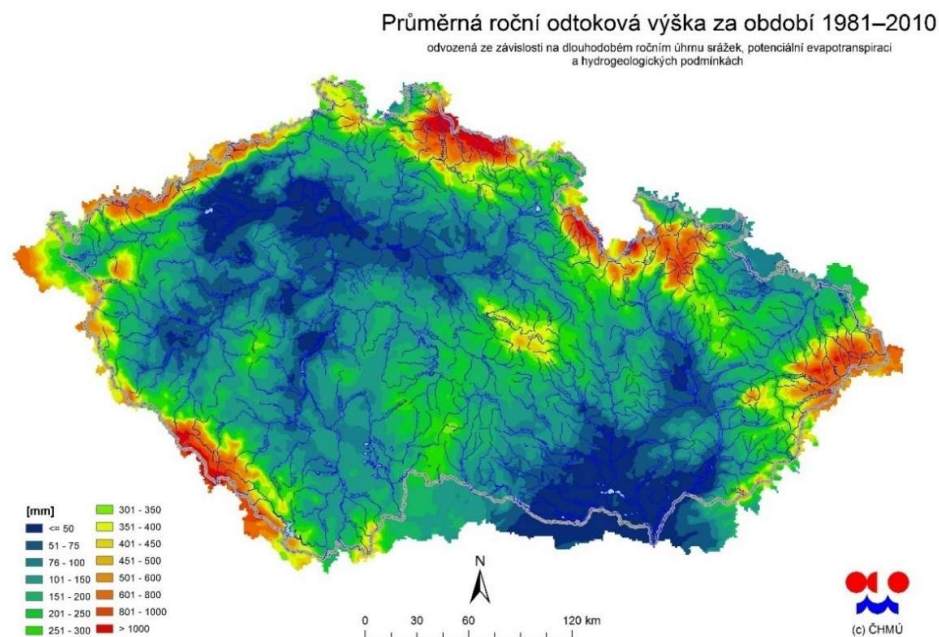
8.11 Dlouhodobý průměrný průtok

Další důležitá informace pro návrh MVE je tzv. dlouhodobý průměrný průtok. Dlouhodobý průměrný průtok Q_a charakterizuje průměrnou vodnost toku v daném profilu-lokalitě.

Ve vodoměrné stanici je určen jako průměr ze všech hodnot denních průtoků za referenční období. Znamená tedy, průměrný průtok v daném období vypočtený z dlouhodobé časové řady měřených průtoků. Tato časová řada měření může být měsíc, rok nebo období od začátku měření po současnost.

Dlouhodobý průměrný průtok budeme uvažovat stejně jako u MZP z nejbližší vodoměrné stanice ve Zručí nad Sázavou. Tento průtok Q_a odpovídá $9,920 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pro odhad v nepozorovaných profilech je využito úzké vazby této charakteristiky na dlouhodobé srážky, potenciální evapotranspiraci a hydrogeologické podmínky. Výsledná hodnota je získána korekcí vůči pozorovaným hodnotám ve vodoměrných stanicích a velikosti antropogenního ovlivnění. Hodnota se nazývá odtoková výška.

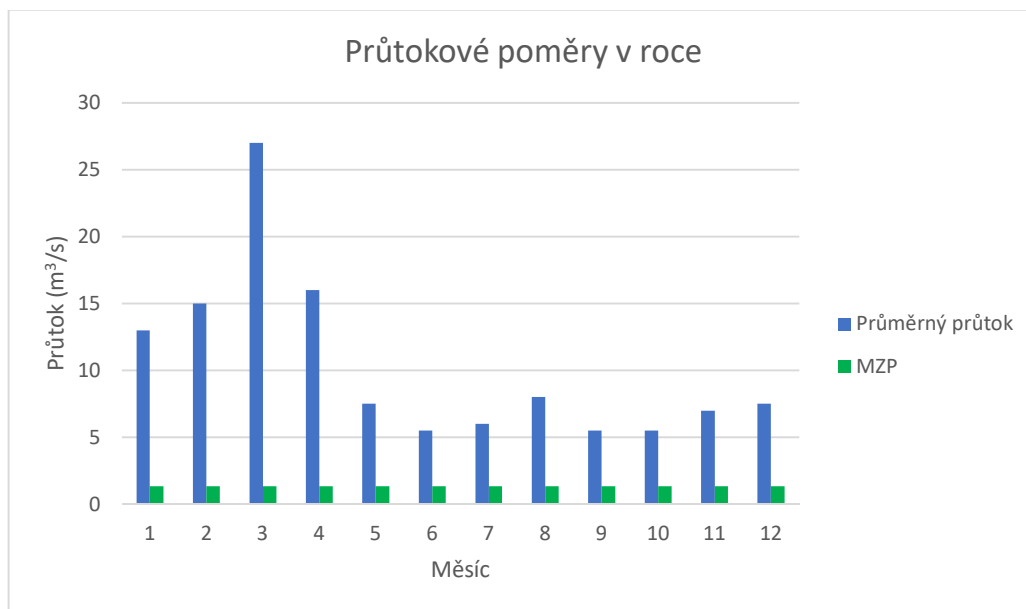


Obr. č. 55. – Dlouhodobá průměrná roční odtoková výška v České republice

(http://voda.chmi.cz/opv/obr/data/odtok_8110.jpg)

8.12 Průtokové poměry na lokalitě

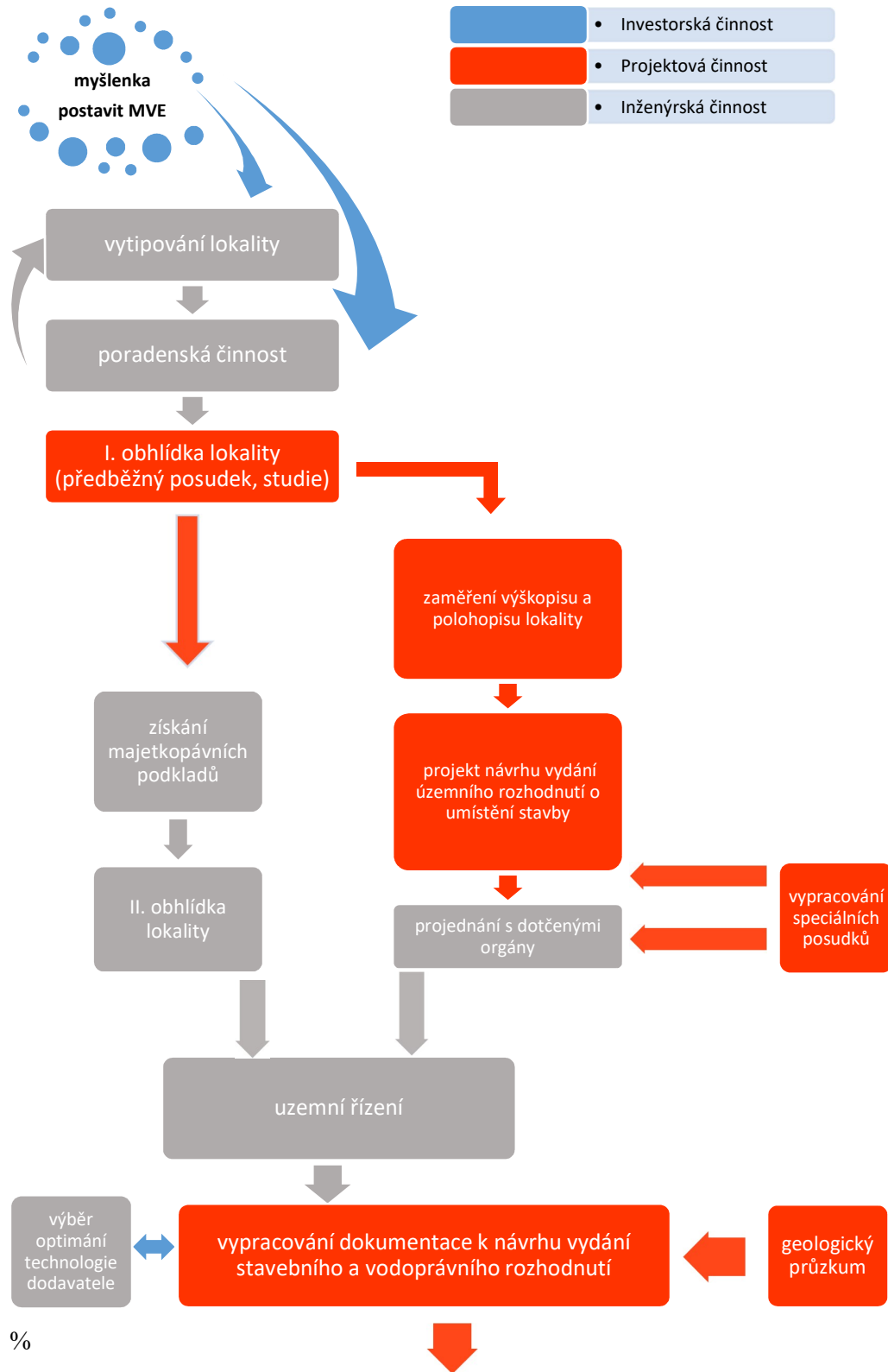
Pro lepší náhled do řešené problematiky je nutné vědět jaké jsou na uvažované lokalitě průtokové poměry. Zde se samozřejmě musíme spokojit pouze z takzvanými dlouhodobými měsíčními průměrnými průtoky a daným minimálním zůstatkovým průtokem. Data rozložení měsíčních průtoků na vyžádání poskytuje ČHMÚ či dané povodí. MZP jak již bylo výše zmíněno stanovuje příslušný vodoprávní úřad.

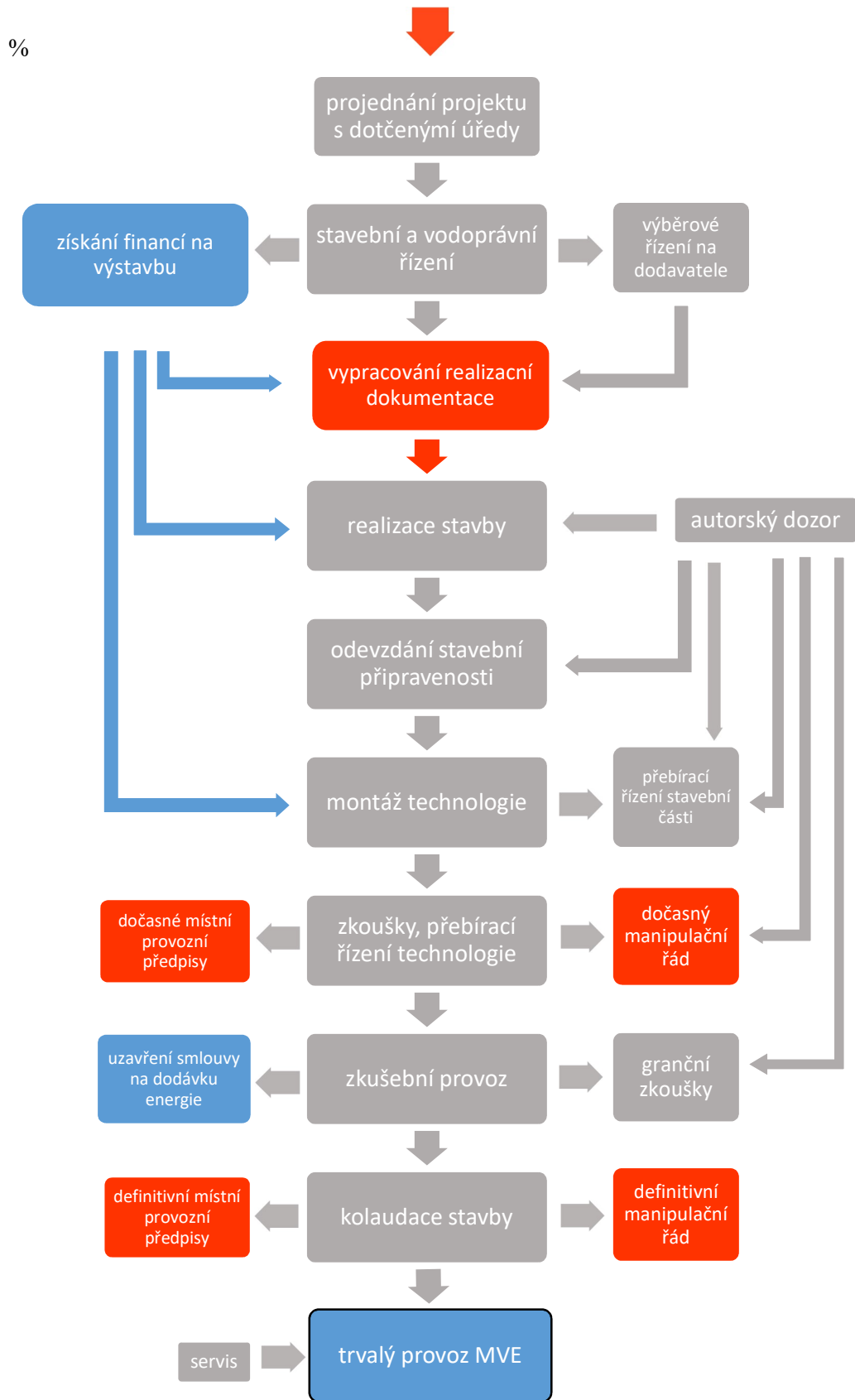


Obr. č. 56. – Graf průtokových poměrů v roce (vlastní tvorba)

Z přiloženého grafu průtokových poměrů v roce je jasné vidět rozložení průměrných průtoků a MZP v jednotlivých měsících.

8.13 Jednotlivé kroky při projektové a realizační přípravě





Obr. č. 57. – Schéma jednotlivých kroků při projektové a realizační přípravě (vlastní)

Návrhová část

9 Návrh malé vodní elektrárny

V kapitole návrh malé vodní elektrárny použiji rozdělení na výpočtovou část a grafickou část. Na závěr shrnu navržené parametry, roční výrobu.

9.1 Výpočtová část

Výpočtová část je rozvržena chronologicky tak jak na sebe navazují jednotlivé výpočty. Ve výpočtové části jsem převážně postupoval podle velice dobře do detailu popsané publikace od Dirk Michael Nuernbergk s názvem Wasserkraftschnecken: Berechnung und optimaler Entwurf von archimedischen Schnecken als Wasserkraftmaschine, vydané v roce 2012.

9.1.1 Návrhový průtok

Dnešní běžné MVE navrhované či realizované v ČR se obvykle navrhují na přibližně 240denní průtok. A to z hlediska použité technologie s určitou účinností a s určitou investiční návratností.

MVE, které fungují na principu Archimédovy turbíny se v praxi standardně navrhují až na průměrný průtok. Z pohledu hydrologie velice nerozumná úvaha. Avšak má to své jednoduché vysvětlení. Archimédova turbína je oproti běžným turbínám levná, a má už při 30 % plnění skoro konstantní účinnost stejnou jako při 100 % plnění.

Znamená to, že návrhový průtok se můžeme volit daleko větší a můžeme se přiblížit průměrnému průtoku v dané lokalitě. Takto podobně se navrhují méně časté tzv. jarní MVE, které jsou navrhovány na jarní vodnaté měsíce.

Návrhový průtok tedy můžeme zhruba uvažovat dle:

$$Q_{\text{návrh}} = Q_a - \text{MZP}$$

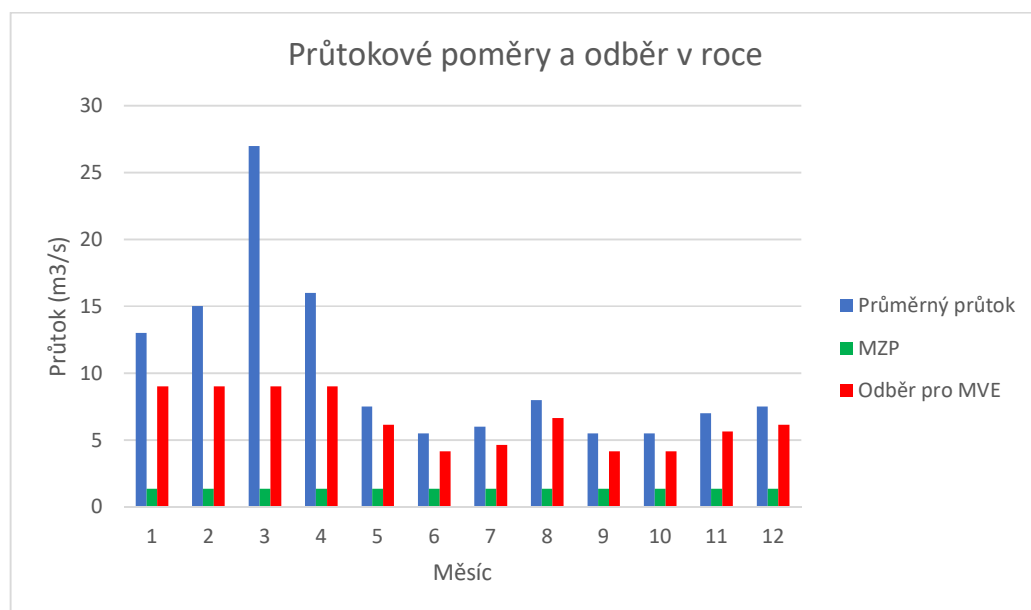
Dlouhodobý průměrný průtok $Q_a = 9,920 \text{ m}^3/\text{s}$

MZP dle analytické části bude stanoveno jako $Q_{355d} = 1,355 \text{ m}^3/\text{s}$

Volím tedy ideální průtok, $Q_{\text{návrh}} = 9 \text{ m}^3/\text{s}$

9.1.2 Vodohospodářská bilance

Po analýze průtokových poměrů lokality a určení návrhového průtoku můžeme vyčíslit odhadované odběry pro MVE. Při vyčíslení odběru je nutné zohlednit předepsaný stanovený MZP. Pro tzv. vodohospodářskou bilanci dané lokality použijeme tedy již vyčíslené průtokové poměry a dále vyčíslíme odběrové průtoky pro MVE.



Obr. č. 58. – Graf průtokových poměrů a odběrů v roce (vlastní tvorba)

Z přiloženého grafu průtokových poměrů a odběrů v roce je jasné vidět rozložení průměrných průtoků, MZP a vypočtených odběrů v jednotlivých měsících.

9.1.3 Návrh hrubých česlí

Hrubé česle jsou navrženy z česlic s plným kruhovým průřezem z tvrdé tyčové oceli.

Specifikace výrobku

Tyč kruhová broušená leštěná, DIN 670, úchytky h8, průměr 25		
Kategorie:	tyče » kruhové	
Norma:	DIN 670	
Jmenovitý průměr	d	25 mm
Plocha průřezu		490,9 mm ²
Hmotnost		3,85 kg/m
Mezní úchytky průměru h8		-0,033 mm
Povrch		broušený, leštěný
Tepelné zpracování		žháno na měkko

Obr. č. 59. – Specifikace výrobku

(http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php?search_type=0&druh=1)

Průměr česlice (d): 25 mm

Rozteč mezi česlicemi (a): 150 mm

Sklon česlí (α): 80°

Třecí koeficient (β): 1,79

Hydraulické ztráty čistých nezanesených hrubých česlí:

$$\begin{aligned}
 h_{v,r} &= \beta * \left(\frac{d}{a}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(\alpha) * \frac{v_1^2}{2 * g} = 1,79 * \left(\frac{25}{150}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin(80) * \frac{1,042^2}{2 * 9,81} \\
 &= 3,655 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Celková ztráta na objektu hrubých česlí činí 3,655 mm.

9.1.4 Návrh Archimédovy turbíny

$Q_{\text{návrh}} = 9 \text{ m}^3/\text{s}$, Hltnost pro jednu turbínu tedy $3 \text{ m}^3/\text{s}$

Sklon turbíny 15°

Počet chodů turbíny = 3

Poměr poloměrů na intervalu 0,4 - 0,55, volím tedy 0,5

Vstupní údaje pro výpočet Archimédovy turbíny:

Veličina	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Návrhová hltnost:	Q	3	m^3/s
Spád:	H	2	m
Úhel sklonu:	β	15	$^\circ$
Počet chodů:	N	3	-
Poměr poloměrů:	ρ_R	0,5	-
Hydraulická účinnost:	η	85,40	%
Poměr stoupání:	λ	0,1290	-
Plnicí poměr:	ν	0,3894	-
Normalizovaný objem rotace:	$(\lambda \cdot \nu)$	0,0502	-
Mechanická energie turbíny:	$(\lambda \cdot \nu \cdot \eta)$	0,0429	-
Hustota vody:	ρ	999,6	-
Tíhové zrychlení:	g	9,81	m/s^2
Teplota vody:	t	10	$^\circ\text{C}$

Výpočet rozměrů turbíny

Orientační výpočet vnějšího poloměru:

$$R_{a'} = \left(\frac{Q * \tan(\beta)}{(10,362 \dots 11,606) * (\lambda \cdot v)} \right)^{\frac{3}{7}} = \left(\frac{3 * \tan(15)}{(10,362 \dots 11,606) * (0,0502)} \right)^{\frac{3}{7}}$$

$$= 1,205 \dots 1,148 \text{ m}$$

Orientační výpočet vnitřního poloměru:

$$R_i = \rho_R * R_{a'} = 0,5 * (1,205 \dots 1,148) = 0,603 \dots 0,574 \text{ m}$$

Zde volím normalizovaný poloměr 600 mm

Výpočet přesného vnějšího poloměru:

$$R_a = \frac{R_i}{\rho_R} = \frac{0,6}{0,5} = 1,2 \text{ m}$$

Výpočet stoupání šnekovice:

$$S = \frac{2 * \pi * R_a * \lambda}{\tan(\beta)} = \frac{2 * \pi * 1,2 * 0,129}{\tan(15)} = 3,63 \text{ m}$$

Šířka mezery mezi rotorem a žlabem:

$$D_t = 0,0045 * \sqrt{2 * R_a} = 0,0045 * \sqrt{2 * 1,2} = 0,00697 \text{ m} = 7 \text{ mm}$$

Poloměr žlabu:

$$R_z = R_a + D_t = 1,2 + 0,00697 = 1,207 \text{ m}$$

Výpočet objemů

Objem přepravovaný na jednu otáčku rotoru:

$$V_r = \frac{2 * \pi^2 * R_a^3}{\tan(\beta)} * (\lambda \cdot v) = \frac{2 * \pi^2 * 1,2^3}{\tan(15)} * 0,0502 = 6,39 \text{ m}^3$$

Objem jedné buňky rotoru:

$$V_s = \frac{V_r}{N} = \frac{6,39}{3} = 2,13 \text{ m}^3$$

Otáčky turbíny

Optimální otáčky turbíny:

$$n_T = 60 * \frac{Q}{V_r} = 60 * \frac{3}{6,39} = 28,169 \text{ min}^{-1}$$

Maximální otáčky turbíny:

$$n_{Tmax} \leq \frac{53}{(4 * R_a^2)^{\frac{1}{3}}} = \frac{53}{(4 * 1,2)^{\frac{1}{3}}} = 29,567 \text{ min}^{-1}$$

Výpočet plnění turbíny

Axiální dopravní rychlost vody v turbíně:

$$v_{AX} = s * \frac{n_T}{60} = 3,63 * \frac{28,169}{60} = 1,704 \text{ m/s}$$

Hmotnost jedné buňky rotoru:

$$m_s = \rho * V_s = 999,6 * 2,13 = 2129 \text{ kg}$$

Koeficient vstupní výšky k na intervalu 0,05 až 1,3 s krokem $\Delta=0,05$ Výpočet úhlů α :

$$\alpha_8 = 2 * \arccos(1-k)$$

$$\alpha_9 = 2 * \arccos\left(\frac{1-k}{\rho_R}\right)$$

Určení oblastí normalizovaného plnění:

$$\text{Oblast I.: } 0 \leq k \leq (1-\rho_R)$$

$$0 \leq k \leq (1-0,5)$$

$$v(k) = \frac{\alpha_8}{2 * \pi} - \frac{(1-k)}{\pi} * \sqrt{1 - (1-k)^2}$$

$$\text{Oblast II.: } (1-\rho_R) \leq k \leq (1+\rho_R)$$

$$(1-0,5) \leq k \leq (1+0,5)$$

$$v(k) = \frac{\alpha_8 - \alpha_9 * \rho_R^2}{2 * \pi} - \frac{(1-k)}{\pi} * (\sqrt{1 - (1-k)^2} - \sqrt{\rho_R^2 - (1-k)^2})$$

Stanovení jednotlivých průtoků:

$$Q = \pi * R_a^2 * v(k) * v_{AX}$$

Koeficient hydraulických ztrát:

$$\xi = \left(\frac{\pi * v}{k * 2 \cos(\beta)} - 1 \right)^2$$

Výška plnění:

$$h_2 = k * R_a * \cos(\beta)$$

K (-)	h ₂ (m)	v (-)	Q (m ³ /s)	ξ (-)	-	α ₈ (rad)	α ₉ (rad)
0,05	0,045581	0,090267	0,511387	2,240009	oblast 1	0,635121	-
0,1	0,091163	0,129129	0,73155	1,346874	oblast 1	0,902054	-
0,15	0,136744	0,159951	0,906164	1,027107	oblast 1	1,109622	-
0,2	0,182325	0,186773	1,058118	0,859039	oblast 1	1,287002	-
0,25	0,227906	0,21114	1,196165	0,754208	oblast 1	1,445468	-
0,3	0,273488	0,233835	1,324738	0,682075	oblast 1	1,590798	-
0,35	0,319069	0,255317	1,446443	0,629173	oblast 1	1,726424	-
0,4	0,36465	0,275884	1,562958	0,588598	oblast 1	1,85459	-
0,45	0,410231	0,295739	1,675442	0,556431	oblast 1	1,976864	-
0,5	0,455813	0,31503	1,78473	0,530273	oblast 2	2,094395	-
0,55	0,501394	0,333868	1,89145	0,508571	oblast 2	2,208062	2,709672
0,6	0,546975	0,352338	1,996093	0,490272	oblast 2	2,318559	2,854898
0,65	0,592557	0,370511	2,099047	0,474637	oblast 2	2,42645	2,998614
0,7	0,638138	0,388442	2,200632	0,461131	oblast 2	2,532207	3,141593
0,75	0,683719	0,406179	2,301117	0,449356	oblast 2	2,636232	3,284572
0,8	0,7293	0,423763	2,400732	0,439012	oblast 2	2,738877	3,428288
0,85	0,774882	0,441229	2,49968	0,429866	oblast 2	2,840456	3,573514
0,9	0,820463	0,458609	2,598143	0,421736	oblast 2	2,941258	3,721096
0,95	0,866044	0,475933	2,696291	0,414478	oblast 2	3,041551	3,872007
1	0,911625	0,49323	2,794282	0,407977	oblast 2	3,141593	4,027415
1,05	0,957207	0,510527	2,892274	0,40214	oblast 2	3,241634	4,18879
1,1	1,002788	0,527851	2,990421	0,39689	oblast 2	3,341927	4,358084
1,15	1,048369	0,545232	3,088885	0,392167	oblast 2	3,442729	4,538038
1,2	1,093951	0,562697	3,187832	0,38792	oblast 2	3,544308	4,732799
1,25	1,139532	0,580281	3,287447	0,384109	oblast 2	3,646953	4,949293
1,3	1,185113	0,598018	3,387932	0,380704	oblast 2	3,750978	5,200986

Obr. č. 62. – Tabulka plnění turbíny (vlastní tvorba)

Vtok do turbíny

Výška prahu vtokového průřezu turbíny:

$$\begin{aligned} w &= R_a - h_2 - \frac{1}{2 * g} * \left(\frac{Q}{h_2 * b_1} \right)^2 * \left[1 + \xi - \left(\frac{h_2}{R_a} \right)^2 \right] \\ &= 1,2 - 1,094 - \frac{1}{2 * 9,81} * \left(\frac{3}{1,094 * 2,4} \right)^2 * \left[1 + 0,12 - \left(\frac{1,094}{1,2} \right)^2 \right] \\ &= 0,087 \text{ m} \end{aligned}$$

Vtoková výška vody bez deformace způsobené změnou tvaru vstupního průřezu:

$$h_{ZU} = R_a - w = 1,2 - 0,087 = 1,113 \text{ m}$$

Průměrná vtoková rychlost vody ve vstupním průřezu do turbíny:

$$v_2 = \frac{Q}{2 * R_a * h_2} = \frac{3}{2 * 1,2 * 1,094} = 1,143 \text{ m/s}$$

Délka turbíny

Koeficient hloubky vody ve vývaru:

$$\begin{aligned} \tau &= (1 + \rho_R) * \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\rho_R} \right)^2} - \lambda * \frac{2 * \pi}{N} \\ &= (1 + 0,5) * \sqrt{1 - \left(\frac{0,129}{0,5} \right)^2} - 0,129 * \frac{2 * \pi}{3} = 1,179 \end{aligned}$$

Činná délka turbíny:

$$\begin{aligned} L_B &= \frac{H * R_a * (\tau * \cos(\beta) - 1) + w}{\frac{\rho_R}{2} * \sin(\beta)} = \frac{2 * 1,2 * (1,179 * \cos(15) - 1) + 0,087}{\frac{0,5}{2} * \sin(15)} \\ &= 6,494 \text{ m} \end{aligned}$$

Celková délka centrální trubky:

$$\text{Volím } L = 9 \text{ m}$$

Hmotnostní odhad

Hmotnost centrální trubky turbíny:

$$m_T = \rho_{ST} * L * \pi * (R_i^2 - (R_i - S_w)^2) = 7860 * 9 * \pi * (0,6^2 - (0,6 - 0,012)^2) \\ = 2464,156 \text{ kg} = 2,5 \text{ t}$$

Hmotnost šroubovice:

$$m_\xi = \rho_{ST} * N * \frac{L_B}{S} * V_l = 7860 * 3 * \frac{6,494}{3,63} * 0,05 = 2109,208 \text{ kg} = 2,1 \text{ t}$$

Hmotnost rotoru:

$$m = m_T + m_\xi = 2464,156 + 2109,208 = 4573,364 \text{ kg} = 4,5 \text{ t}$$

9.1.5 Návrh vývařiště pod turbínou

Koeficient hloubky vody ve vývařišti:

$$\tau = (1 + \rho_R) * \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\rho_R}\right)^2} - \lambda * \frac{2 * \pi}{N} \\ = (1 + 0,5) * \sqrt{1 - \left(\frac{0,129}{0,5}\right)^2} - 0,129 * \frac{2 * \pi}{3} = 1,179$$

Optimální hloubka vody ve vývařišti:

$$h_4 = R_a * \cos(\beta) * \tau = 1,2 * \cos(15) * 1,179 = 1,367 \text{ m}$$

Průměrná rychlost vody ve vývařišti:

$$v_4 = v_{AX} * \cos(\beta) = 1,704 * \cos(15) = 1,646 \text{ m/s}$$

Průměrná šířka vývaru turbíny:

$$b_{vt} = \frac{v_4 * \pi * R_a^2}{h_4} = \frac{1,646}{1,367} * \pi * 1,2^2 = 2,724 \text{ m}$$

Šířka vývařiště: $b_v = 3 * b_{vt} = 8,172 \text{ m}$

9.1.6 Návrh odpadního kanálu

$$Q_{\text{návrh}} = 9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tvar profilu:	lichoběžníkový
Sklony svahů:	1:m, m = 1
Součinitel drsnosti:	n = 0,025 (obklad z lomového kamene)
Sklon dna:	i = 0,6‰ = 0,0006
Hloubka vody:	h _o = 1,1 m
Šířka dna:	b _o = 8,5 m

$$S = 10,56 \text{ m}^2$$

$$O = 11,611 \text{ m}$$

$$R = S/O = 0,909$$

Chézyho rychlostní součinitel dle Pavlovského:

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,025} * 0,909^{\frac{1}{6}} = 39,369$$

Rychlost vody v odpadním kanálu:

$$v_o = c * \sqrt{Ri} = 39,369 * \sqrt{0,909 * 0,0006} = 0,919 \text{ m/s}$$

Protékané množství v odpadním kanálu:

$$Q_o = c * S * \sqrt{Ri} = 39,369 * 10,56 * \sqrt{0,909 * 0,0006} = 9,709 \text{ m}^3/\text{s}$$

Minimální poloměr oblouku kanálu:

Dle Grišinoва empirického vztahu:

$$R_{\text{minO}} = 11v^2\sqrt{S} + 12m = 11 * 0,919^2 * \sqrt{10,56} + 12 * 1 = 42,189 \text{ m}$$

v...střední profilová rychlost (m³/s)

S...plocha průtočného průřezu (m²)

m...sklon svahů 1:m

9.1.7 Návrh beztlakého přivaděče s volnou hladinou

Přivaděč k turbíně

$$Q_{\text{návrh}} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hloubka vody:

$$h_1 = R_a = 1,2 \text{ m}$$

Šířka přivaděče k turbíně:

$$b_1 = (2 * R_a) + bz = (2 * 1,2) + 0,1 = 2,5 \text{ m}$$

Průměrná rychlost vody v přivaděči k turbíně:

$$v_1 = \frac{Q}{2 * R_a^2} = \frac{3}{2 * 1,2^2} = 1,042 \text{ m/s}$$

Přivaděč přepočítaný na tři turbíny

$$Q_{\text{návrh}} = 9 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hloubka vody:

$$h_1 = R_a = 1,2 \text{ m}$$

Šířka přivaděče přepočítaná na tři turbíny:

$$b_2 = 3 * b_1 + 2 * b_s = 3 * 2,5 + 2 * 0,3 = 8,1 \text{ m}$$

Tvar příčného profilu: Obdélníkový

Součinitel drsnosti: $n = 0,012$

(kanály s hladkým betonovým povrchem a dobře upravenými spárami)

Sklon dna: $i = 0,15\text{‰} = 0,00015$

výška vody: $h_1 = 1,2 \text{ m}$

šířka dna: $b_2 = 8,1 \text{ m}$

Průtočná plocha: $S = 9,72 \text{ m}^2$

Omočený obvod: $O = 10,5 \text{ m}$

Hydraulický poloměr: $R = S/O = 0,926$

Chézyho rychlostní součinitel dle Pavlovského:

$$C = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,012} * 0,926^{\frac{1}{6}} = 82,27$$

Rychlost vody v přivaděči:

$$v_p = c * \sqrt{Ri} = 82,27 * \sqrt{0,926 * 0,00015} = 0,9696 \text{ m/s}$$

Protékané množství v přivaděči:

$$Q_p = c * S * \sqrt{Ri} = 82,27 * 9,72 * \sqrt{0,926 * 0,00015} = 9,425 \text{ m}^3/\text{s}$$

Minimální poloměr oblouku přivaděče:

Dle Grišinoва empirického vztahu:

$$R_{\min P} = 11v^2\sqrt{S} + 12m = 11 * 1,042^2 * \sqrt{9,72} + 12 * 0 = 37 \text{ m}$$

v...střední profilová rychlost (m³/s)

S...plocha průtočného průřezu (m²)

$$S = h_1 * b_2 = 1,2 * 8,1 = 9,72 \text{ m}^2$$

m...sklon svahů 1:m

kde v přivaděči navrhuju obdélníkový průřez (1:0)

9.1.8 Návrh generátoru

Teoretický výkon turbíny

$$P_t = \rho * g * Q * H = 999,6 * 9,81 * 3 * 2 = 58836,456 \text{ W} = 58,836 \text{ kW}$$

Mechanický výkon na hřídeli turbíny

$$P_{opt} = P_t * \eta = 58836,456 * 0,8540 = 50246,333 \text{ W} = 50,246 \text{ kW}$$

Na tento výkon se navrhuje generátor

Výkon na hřídeli při vysoké vodě

$$P_{1,3} = P_{opt} * 1,3 = 50246,333 * 1,3 = 65320,234 \text{ W} = 65,320 \text{ kW}$$

Optimální otáčky turbíny: $28,169 \text{ min}^{-1}$

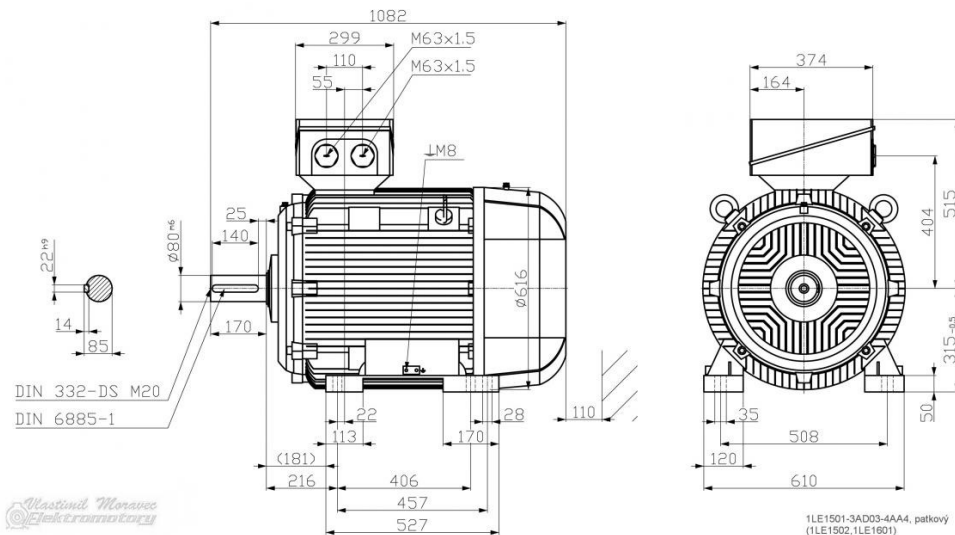
Asynchronní generátor SIEMENS

Velikost (osová výška):	250M
Výkon:	55 kW
Otáčky:	1480 min^{-1}
Napětí:	400/690 V, 50 Hz
Ložisko strana D:	6215 2ZC3
Ložisko strana ND:	6215 2ZC3
Krytí:	IP55
Vyvážení motoru:	stupeň vibrací A
Hmotnost:	360 kg



Obr. č. 63. – Navrhovaný generátor

(<http://www.elektromotory.net/siemens/1la7-1500-otacek/1le1502-2cb2-55kw-1480ot.html>)



Obr. č. 64. – Výkresová dokumentace navrhovaného generátoru

(<http://www.elektromotory.net/siemens/1la7-1500-otacek/1le1502-2cb2-55kw-1480ot.html>)

Technologická část MVE bude tedy osazena třemi asynchronními generátory SIEMENS s typovým výkonem $P_G = 55 \text{ kW}$.

9.1.9 Návrh převodové skříně

Kroutící moment na hřídeli

$$M = \frac{P_{opt} * 60}{2 * \pi * n_{WKS}} = \frac{50246,333 * 60}{2 * \pi * 28,169} = 17033,517 \frac{N}{m}$$

Moment pro dimenzování převodové skříně

Převodový poměr mezi turbínou a generátorem:

$$i = n_G : n_T = 1480 : 28,169 \text{ min}^{-1} = 1:52,54$$

Vzhledem k nízkým otáčkám rotoru a tím pádem vysokým převodovým poměrem je nutné použití převodové skříně. Při použití Archimédovy turbíny se v praxi nejvíce používá 2-3 stupňová čelní převodovka. Tato převodovka má vysokou účinnost a dlouhou životnost.

Hřídel rotoru je spojena s převodovou skříní obvykle pružnou spojkou. Důvodem použití pružné spojky je nutná kompenzace nastalých nesourodostí vniklé mezi hřídelí rotoru a převodové skříně.

Čelní převodová skříň SIEMENS Flender

- Nutné další posouzení
- Výkon do 200 kW
- Výstupní moment až 20.000 Nm
- jednoduchá a robustní konstrukce s vysokou účinností
- široké možnosti konfigurace převodovky i motoru
- k dispozici též v provedení pro zóny s nebezpečím výbuchu nebo vznícení
- (ATEX certifikace)
- provedení pouze s plnou výstupní hřídelí

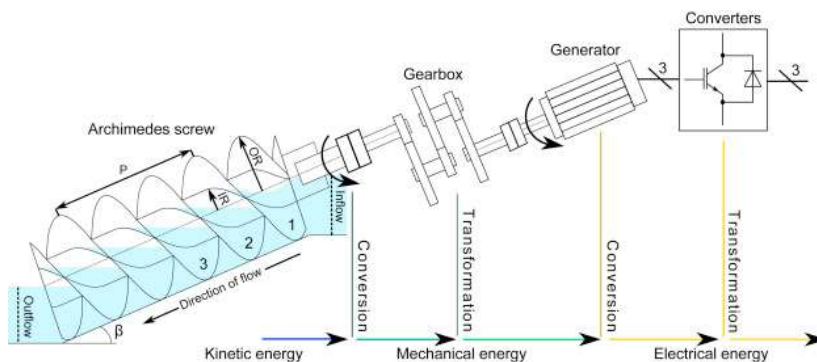


Obr. č. 65. – Navrhovaná čelní převodová skříň

(<https://www.elektromotory.cz/produkty/prevodovky/kompaktni-elektroprevodovky-siemens-flender>)

Technologická část MVE bude tedy osazena třemi Čelními převodovými skříněmi SIEMENS, s převodovým poměrem 1:52,54.

Celé soustrojí jedné turbíny bude složeno z navrhované Archimédovy turbíny, spojky, čelní převodovou skříní a asynchronním generátorem. Následovat bude řídicí systém a napojení na elektrizační síť přes transformační stanici. Jednoduše je to vidět v následujícím obrázku.



Obr. č. 66. – Technologické schéma turbínového soustrojí

(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116302282>)

9.1.10 Rozměrový návrh výrobního objektu

Bude vycházet z rozměrů turbín z návrhu turbíny.

Tloušťka stěny: 300 mm

Půdorys: 8,4x5

$$\text{Šířka} = 0,3 + b_2 + 0,3 = 8,6 \text{ m}$$

$$\text{Délka} = 5 \text{ m}$$

Výška po krov: 2,5 m

Výška krovu: cca 1,5 až 2 m

$$(22,5^\circ - 30^\circ, \text{ minimum pro asfaltový šindel je } 18)$$

Výška celkem: 4 až 4,5 m

9.1.11 Návrh stavidlových uzávěrů a provizorního hrazení

Stavidlový uzávěr

Stavidlový uzávěr bude součástí přivaděče. Bude opatřen manipulační lávkou a vlastním pohonem a pojezdovými kapsami, které budou plně zapuštěny do konstrukce stěn přivaděče. Manipulační lávka bude společná i pro horní provizorní hrazení.

Rozměry: šířka: $b_1 + 2 * \text{drážky} = 2,6 \text{ m}$

 výška: 1,5 m

 drážky: cca 5 cm

Konstrukce: Ocelový rám s dřevěnou výplní z hoblovaných profilů,
 Pojezdová konstrukce ze svařovaných ocelových U
 profilů

Provizorní hrazení

Provizorní hrazení bude koncipováno pro každý žlab turbíny zvlášť, a to pro horní a dolní vodu. Pro provizorní hrazení budou zřízeny drážky ve stěnách žlabů. Samotné provizorní hrazení bude svými rozměry koncipováno pro snadnou manipulaci. Dolní provizorní hrazení bude stejně jako horní opatřeno manipulační lávkou.

Rozměry: šířka: $b_1 + 2 * \text{drážky} = 2,6 \text{ m}$

 výška: 1,5 m

 drážky: cca 5 cm

Konstrukce: duté hliníkové díly či hoblované dřevěné profily a drážky z ocelových U profilů

9.2 Parametry a roční výroba

9.2.1 Parametry

Parametry stručné technické zprávy se dělí do tří skupin:

- 1) Vstupní údaje
- 2) Technologická část
- 3) Stavební část

1) Vstupní údaje

Veličina	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Dlouhodobý průměrný průtok:	Q_a	9,920	m^3/s
Průtok 355dení:	Q_{355d}	1,355	m^3/s
Čistý spád:	H	2	m

2) Technologická část

Veličina	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Návrhový průtok:	$Q_{návrh}$	9	m^3/s
Počet turbín:	-	3	-
Úhel sklonu:	β	15	$^\circ$
Počet chodů:	N	3	-
Poměr poloměrů:	ρ_R	0,5	-
Hydraulická účinnost:	η	85,40	%
Poměr stoupání:	λ	0,1290	-
Plnicí poměr:	v	0,3894	-
Normalizovaný objem rotace:	$(\lambda \cdot v)$	0,0502	-
Vnější poloměr turbíny:	R_a	1,2	m

Vnitřní poloměr turbíny:	R_i	0,6	m
Stoupání šnekovice:	S	3,63	m
Šířka mezery mezi rotorem a žlabem:	D_t	7	mm
Poloměr žlabu turbíny:	R_z	1,207	m
Objem přepravovaný na jednu otáčku rotoru:	V_r	6,39	m^3
Objem jedné buňky rotoru:	V_s	2,13	m^3
Optimální otáčky turbíny:	n_T	28,169	min^{-1}
Maximální otáčky turbíny:	n_{Tmax}	29,567	min^{-1}
Axiální dopravní rychlost vody v turbíně:	v_{AX}	1,704	m/s
Hmotnost jedné buňky rotoru:	m_s	2129	kg
Výška prahu vtokového průřezu turbíny:	w	0,087	m
Průměrná vtoková rychlost:	v_2	1,143	m/s
Činná délka turbíny:	L_B	6,494	m
Celková délka centrální trubky:	L	9	m
Hmotnost centrální trubky turbíny:	m_T	2,5	t
Hmotnost šroubovice:	m_{ξ}	2,1	t
Hmotnost rotoru:	m	4,5	t
Mechanický výkon na hřídeli turbíny:	P_{opt}	50,246	kW
Výkon na hřídeli při vysoké vodě:	$P_{1,3}$	65,320	kW
Výkon generátoru:	P_G	55	kW
Kroutící moment na hřídeli:	M	17033,517	Nm
Převodový poměr:	i	1:52,54	-

3) **Stavební část**

Veličina	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Návrhový průtok:	$Q_{\text{návrh}}$	9	m^3/s
Optimální hloubka vody ve vývařišti:	h_4	1,367	m
Průměrná rychlost vody ve vývařišti:	v_4	1,646	m/s
Průměrná šířka vývaru turbíny:	b_{vt}	2,724	m
Šířka vývařiště:	b_v	8,172	m
Šířka dna odpadu:	b_o	8,5	m
Výška vody v odpadním kanálu:	h_o	1,1	m
Rychlost vody v odpadním kanálu:	v_o	0,919	m/s
Protékané množství v odpadním kanálu:	Q_o	9,709	m^3/s
Minimální poloměr oblouku kanálu:	R_{minO}	42,189	m
Výška vody v přivaděči:	h_1	1,2	m
Šířka přivaděče k turbíně:	b_1	2,5	m
Průměrná rychlost vody v přivaděči k turbíně:	v_1	1,042	m/s
Šířka dna přivaděče:	b_2	8,1	m
Rychlost vody v přivaděči:	v_p	0,9696	m/s
Protékané množství v přivaděči:	Q_p	9,425	m^3/s
Minimální poloměr oblouku přivaděče:	R_{minP}	37	m
Průměr česlice:	d	25	mm
Rozteč mezi česlicemi:	a	150	mm
Sklon česlí:	α	80	$^\circ$

9.2.2 Roční výroba

Odhadovaná roční výroba

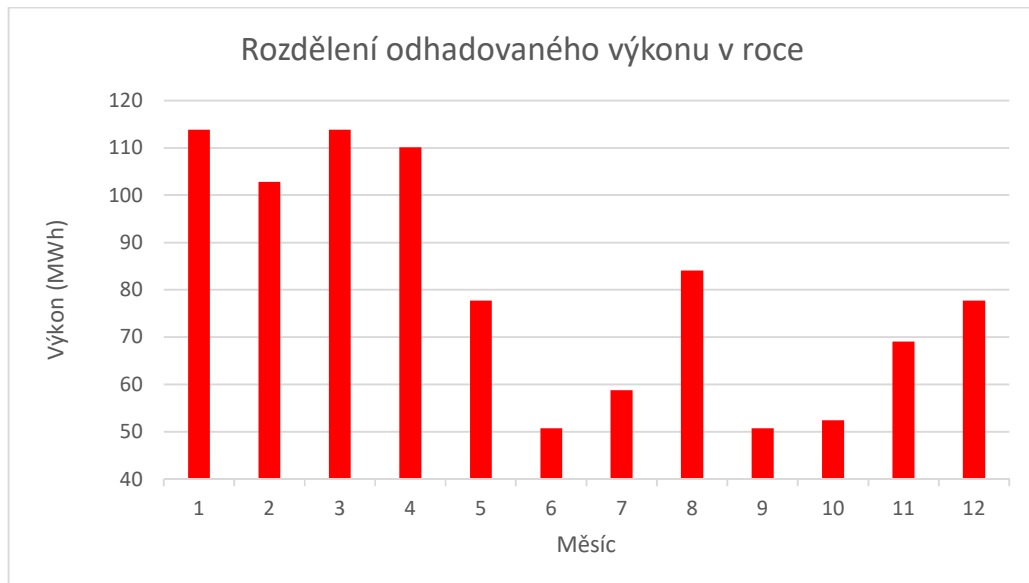
Roční výrobu lze díky velice proměnlivým podmínkám pouze odhadnout. Nejprve je nutné spočítat předběžný instalovaný výkon. Pro tento orientační výkon můžeme použít jednoduchého vzorce:

$$P_{\text{orient}} = 8,5 * Q * H$$

Po dosazení

$$P_{\text{orient}} = 8,5 * 9 * 2 = 153 \text{ kW} \quad (\text{Reálný instalovaný výkon je } 165 \text{ kW})$$

Pro odhad roční výroby jsem použil odběry pro MVE, které byly vypočítány ve vodohospodářské bilanci MVE. Z tohoto přepočtu jsem vyčíslil odhadované měsíční výkony.

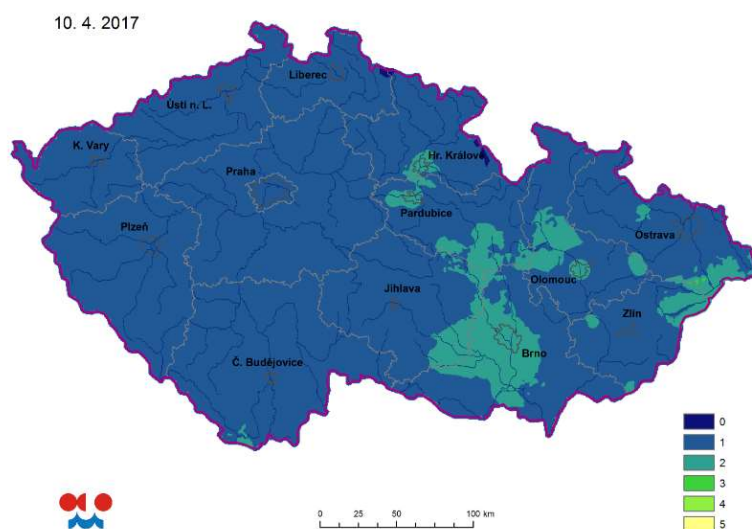


Obr. č. 67. – Graf rozdělení odhadovaného výkonu v roce bez korekce (vlastní tvorba)

Z předešlých grafů je vidět rozložení jednotlivých výkonů. Je patrné, že v časovém rozmezí od ledna do dubna bude MVE vyrábět s velkou pravděpodobností na plný výkon, tedy se 100 % hltností. Zbytek měsíců v roce bude záviset na aktuálních podmínkách.

Zde by odhadovaný roční výkon MVE byl 961,8702 MWh.

Samozřejmě by bylo velice naivní počítat, že tyto maximální výkony budou konstantní v čase. Když se podíváme na limnigrafický záznam ze stanice ve Zruči nad Sázavou zjistíme, že průtok kolísá a s ním by kolísal i výkon MVE. Snažil jsem se tedy tento nepříjemný jev jednoduše napodobit. Tyto maximální a nereálné výkony jsem snížil, a ještě započítal dnes nepříjemné výkyvy klimatických podmínek v podobě období sucha. Chtěl jsem tím reagovat na vyskytující se SPEI index v prameništi řeky Sázavy v CHKO Žďárské vrchy na Vysočině. (ČHMU, 2017)

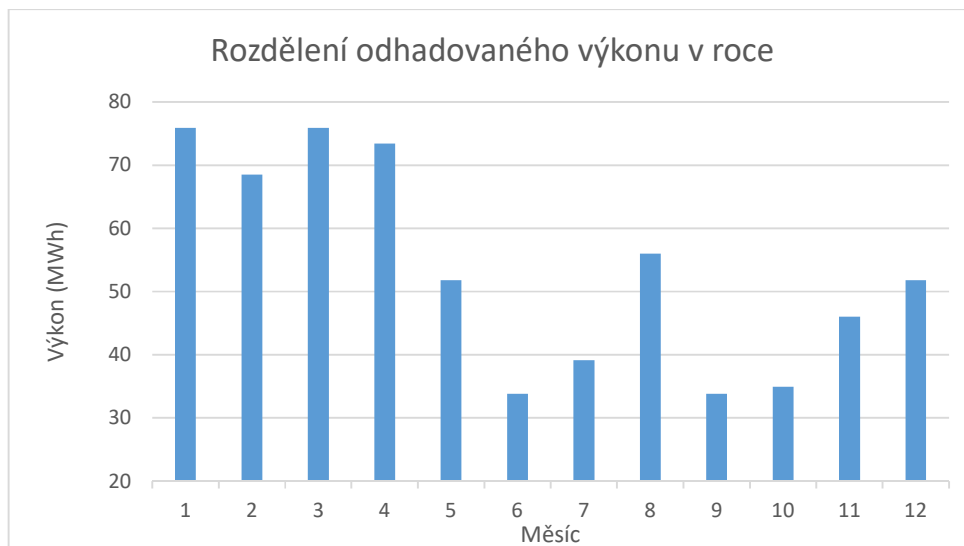


Obr. č. 68. – Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI) pro období 6 měsíců (http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/SPEI_6.html)

Kategorie sucha podle indexu SPEI

- 0 – bez výskytu sucha (nad -0,1)
- 1 – slabé sucho (-0,1 až -0,8)
- 2 – mírné sucho (-0,8 až -1,2)
- 3 - výrazné sucho (-1,2 až -1,6)
- 4 – výjimečné sucho (-1,6 až -2,0)
- 5 – extrémní sucho (pod -2,0)

(ČHMU, 2017)



Obr. č. 69. – Graf rozdělení odhadovaného výkonu v roce s korekcí (vlastní tvorba)

Po korekci můžeme odhadovat roční výkon MVE na 641,247 MWh.

Výkupní ceny a zelené bonusy

Výkupní ceny elektřiny stanovuje každý rok Energetický regulační úřad (dále jen ERU). Je garantováno, že tato cena se nezmění po dobu 30 let od uvedení MVE do provozu (resp. od její rekonstrukce). Jsou k dispozici tři varianty výkupu. První možnost nastává, je-li MVE součástí průmyslového areálu. Je obvykle výhodnější elektřinu spotřebovat pro vlastní spotřebu a uplatnit tzv. zelené bonusy. Zelené bonusy lze uplatnit i v případě, že majitel MVE vyrobenou elektřinu spotřebuje v jiném svém objektu, ale zde musí zaplatit za distribuci elektřiny veřejnou sítí. Třetí možností je prodat elektřinu z MVE třetí osobě. (ERU, 2016); (ERU, 2016)

f./sl.	Podporovaný druh energie	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]	
						VT	NT
a	b	c	j	k	n	o	
100	Malá vodní elektrárna ve stávajících lokalitách	-	31.12.2004	2 110	1 470	1 785	1 186
101		1.1.2005	31.12.2013	2 705	2 065	2 555	1 693
102		1.1.2014	31.12.2014	2 652	2 012	-	-
103		1.1.2015	31.12.2015	2 600	1 960	-	-
104		1.1.2016	31.12.2016	2 549	1 909	-	-
105		1.1.2017	31.12.2017	2 214	1 574	-	-
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31.12.2013	2 705	2 065	2 555	1 693
111		1.1.2014	31.12.2014	2 652	2 012	-	-
112		1.1.2015	31.12.2015	2 600	1 960	-	-
113		1.1.2016	31.12.2016	2 549	1 909	-	-
114		1.1.2017	31.12.2017	2 214	1 574	-	-
120	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	3 005	2 365	2 885	1 977
121		1.1.2008	31.12.2009	3 180	2 540	2 885	2 241
122		1.1.2010	31.12.2010	3 456	2 816	2 885	2 654
123		1.1.2011	31.12.2011	3 379	2 739	2 885	2 539
124		1.1.2012	31.12.2012	3 522	2 882	2 885	2 753
125		1.1.2013	31.12.2013	3 497	2 857	2 885	2 715
126		1.1.2014	31.12.2014	3 428	2 788	-	-
127		1.1.2015	31.12.2015	3 361	2 721	-	-
128		1.1.2016	31.12.2016	3 130	2 490	-	-
129	1.1.2017	31.12.2017	2 741	2 101	-	-	

Obr. č. 68. – Výkupní ceny pro rok 2017

(http://www.eru.cz/documents/10540/2824549/161222_CR_11_2016.pdf/e54c452d-3a5d-45c2-b756-ee6aa81bcaa6)

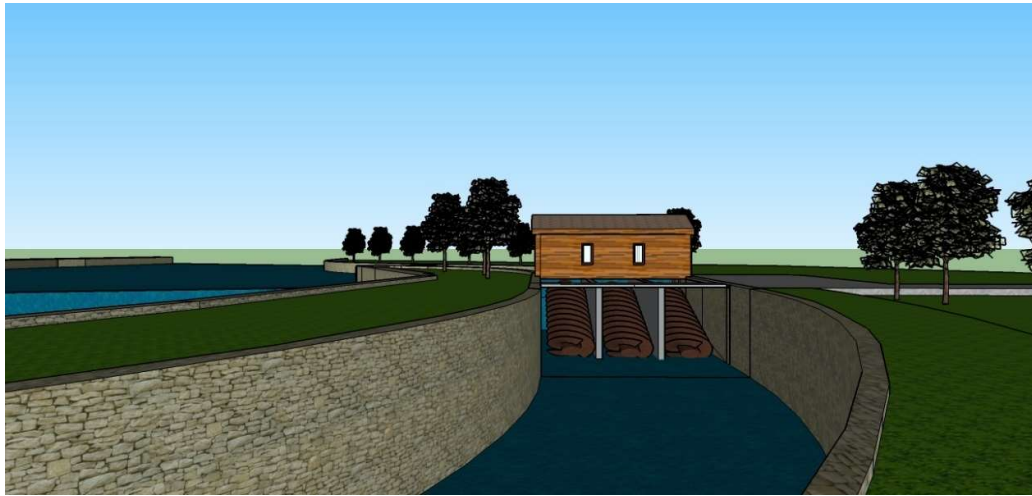
10 Grafická část

V grafické části návrhu MVE se budu snažit všechny vypočtené rozměry a hodnoty implementovat do základních výkresů, které jsou nutné pro další analýzy. Tedy pro návrh jednotlivých stavebních konstrukcí včetně jednotlivých posouzení, např. statické posouzení, pro návrh objemu stavebních prací a použité technologie. Z tohoto posouzení se dále stanovuje rozpočet vodního díla a další nutné součásti projektové dokumentace.

Přílohy do analytické části, jsem vytvořil v programu Esri Arcgis. Grafické přílohy ke stavbě MVE, jsem vytvořil z vypočítaných hodnot a získaných údajů, pomocí programu Autodesk AutoCad. Vizualizace MVE jsme vytvořil ze situačního výkresu pomocí Google SketchUp.

10.1 Vizualizace MVE

Pro lepší představu jsem vyhotovil podle výkresové dokumentace vizualizaci MVE. Vizualizace byla zhotovena v Google SketchUp.



Obr. č. 69. – Vizualizace čelního pohledu na turbínový (vlastní tvorba)



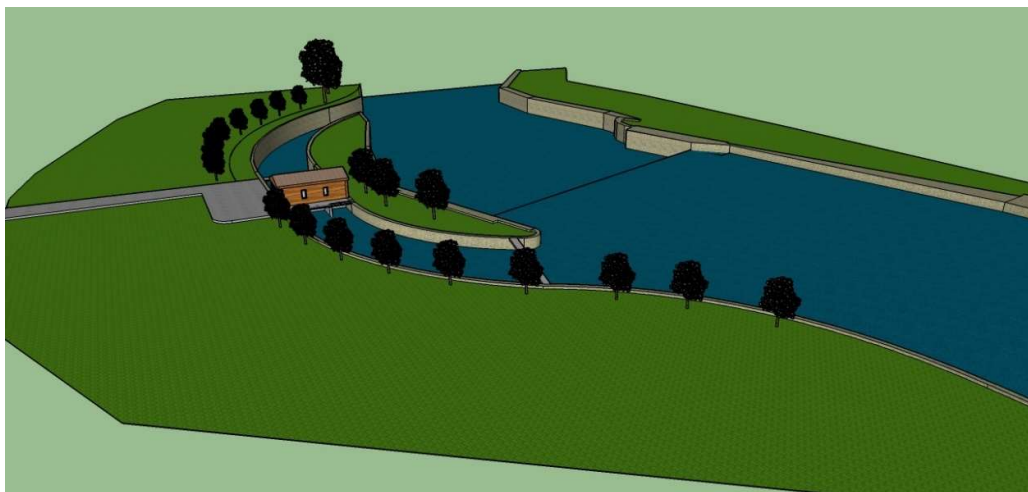
Obr. č. 70. – Vizualizace pohledu z příjezdové cesty (vlastní tvorba)



Obr. č. 71. – Vizualizace pohledu z nátokové lávky (vlastní tvorba)



Obr. č. 72. – Vizualizace východního pohledu na celou stavbu MVE (vlastní tvorba)



Obr. č. 73. – Vizualizace jihovýchodního pohledu na celou stavbu MVE

(vlastní tvorba)



Obr. č. 74. – Vizualizace jihovýchodního pohledu na celou stavbu MVE

(vlastní tvorba)



Obr. č. 75. – Vizualizace západního pohledu z mostu na celou stavbu MVE
(vlastní tvorba)



Obr. č. 76. – Vizualizace západního pohledu z mostu na celou stavbu MVE
(vlastní tvorba)

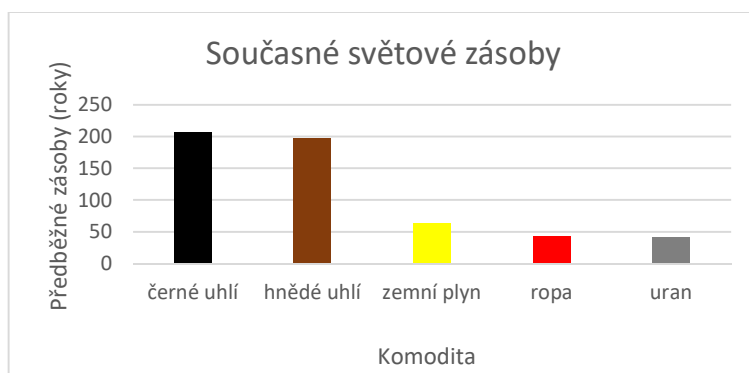
11 Diskuze a závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo detailní prozkoumání použití Archimédovy turbíny. Výsledkem mé práce je celkový návrh MVE pro vybranou lokalitu, včetně stavebně-hydraulických objektů a technologické části.

V analytické části práce jsem proveden celkovou analýza území na základě terénního průzkumu. Získaná data a dostupné hydrologické podklady od ČHMÚ jsem použil v návrhové části práce. Zde jsem navrhl parametry turbíny, včetně jejího příslušenství a ostatní stavebně-hydraulické objekty. Z výpočtové části jsem následně vyhotovil výkresovou dokumentaci a vizualizaci MVE. Na závěr práce jsem shrnul veškeré parametrů navrhované stavby a odhad roční výroby.

Téma mé diplomové práce jsem si vybral, protože jsem chtěl předběžně navrhnout malou vodní elektrárnu. Malá vodní elektrárna je totiž zařízení, která svým provozem nepředstavuje zdroj emisí do ovzduší, je tedy šetrná k životnímu prostředí. Malá vodní elektrárna je také lokální, tedy decentralizovaný zdroj elektrické energie, které nezatěžují stávající elektrizační soustavu.

Dnešní klasická výroba elektrické energie je zcela závislá na fosilních palivech, které způsobují vypouštěnými emisemi klimatickou změnu. Zároveň dochází k rekordním cenám těchto komodit, neboť konvenčních zdrojů nestačí pokrýt poptávku dnešního civilizovaného světa. Problémem je jednoznačně těžba. Uhlí, ropa, plyn, uran a jiné produkty se nejprve musí leckdy za vysokých nákladů vytěžit, aby se mohly následně přeměnit na elektrickou energii. Světové zásoby se také touto politikou stále zmenšují. (Quaschnig, 2008)



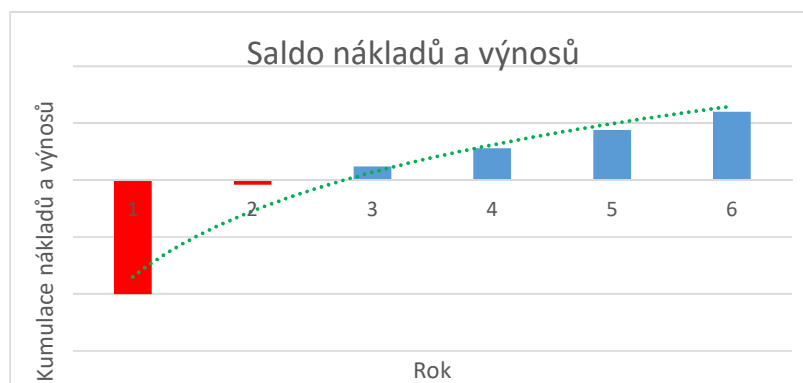
Obr. č. 77. – Graf světových zásob (vlastní tvorba)

Z tohoto pohledu jsou zásoby uranu pro jadernou energetiku, která je zrovna v České republice prosazována velice alarmující. Co se týče ropy, můžeme konstatovat, že lidstvo si nemůže dovolit dnešní ropnou politiku. Ropu, budeme spíše potřebovat v podobě jiných ropných produktů, například dnes v některých oborech zcela nenahraditelných plastových součástkách. (Quaschnig, 2008)

Je tedy nutné co nejrychleji přejít na obnovitelné zdroje energií. Tento nelehký úkol je hlavním principem Kjótského protokolu, mezinárodní smlouvy rámcové úmluvy OSN o klimatických změnách. Členské země včetně České republiky se zde zavázaly snížit emise skleníkových plynů o 5 %. (MŽP, 2017)

Evropská unie, tedy i Česká republika se snaží Kjótský protokol naplnit prostřednictvím cílených dotačních titulů. Dotační titul je proveden operačním programem Obnovitelné zdroje energie, který vypisuje Ministerstvo průmyslu a obchodu a koordinuje jej Czechinvest. Jedná se o prioritní osu 3, která má za cíl zvýšit podíl výroby energie z obnovitelných zdrojů na hrubou konečnou spotřebu ČR. (MŽP, 2017); (EkoWATT, 2009)

Dotační titul má míru podpory pro malý podnik až 80 % alokované částky a je vyplácena expost. Návratnost takto provedeného projektu MVE bude již po 4 letech.



Obr. č. 78. – Graf salda a návratnosti MVE (vlastní tvorba)

Tato diplomová práce může být podkladem pro vypracování a následnou realizaci MVE na této lokalitě.

12 Použitá literatura a zdroje

1. AHECR, 2017. *Asociace hydroenergetiků ČR*. [Online]
Available at: <http://www.ahecr.cz/male-vodni-elektrarny-v-r2013>
2. AOPK, 2017. *Agentura ochrany přírody a krajiny*. [Online]
Available at:
<http://standardy.nature.cz/res/archive/174/022635.pdf?seek=1404471627>
3. AOPK, 2017. *Agentura ochrany přírody a krajiny*. [Online]
Available at:
<http://strednicechy.ochranaprirody.cz/res/archive/239/030050.pdf?seek=1436432113>
4. Bednář, J., 2013. *Turbíny [malé vodní elektrárny]*. Blansko: Nakladatelství Marcela Bednářová.
5. Bláha, J., 2011. *Příspěvek k použití hydrodynamických čerpadel jako turbín*. - : -.
6. Brada, K., 1992. *Hydraulické stroje, Technický průvodce*. Praha: SNTL.
7. Brada, K., 1995. *Micro Power Plant with Water Screw Motor*. -: -.
8. Brada, K., 2002. *Šroubový vodní motor - ekologická varianta pohonu pro malé vodní elektrárny*. -: -.
9. Brada, K. & Radlík, K. A., 1996. *Water Power Screw - Characteristic and Use*. -: -.
10. Coe, T. & Kibel, P., 2011. *Archimedean Screw risk assessment: strike and delay probabilities*. [Online]
Available at: <http://www.fishtek.co.uk/downloads/Fishtek-screw-risk-assessment-example-report.pdf>
11. CREA, 2017. *Czech Renewable Energy Agency*. [Online]
Available at: <http://www.czrea.org/en/res/vodni-energie>
12. ČHMU, 2017. *Český hydrometeorologický ústav Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI)*. [Online]
Available at:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/SPEI_6.html
13. EkoWATT, 2009. *Obnovitelné zdroje energie - Ekonomika a možnosti podpory*. Praha: Ministerstvo životního prostředí.
14. Elzaco, 2017. *Elzaco spol. s r.o.* [Online]
Available at: <http://www.elzaco.cz/cs/male-vodni-elektrarny/priklady-izeni-mve>

15. ERU, 2016. *Energetický regulační úřad - energetický regulační věstník*. [Online]
Available at: http://www.eru.cz/documents/10540/2824549/161222_CR_11_2016.pdf/e54c452d-3a5d-45c2-b756-ee6aa81bcaa6
16. ERU, 2016. *Energetika, energetický zákon, zákon o podporovaných zdrojích energie, zákon o hospodaření energií*. Ostrava: Sagit, a.s..
17. Fagarallah, W. H., 1993. *Pumpen als Turbinen*. Sulzbach: autor neznámý
18. Gabriel, P., Čihák, F. & Kalandra, P., 1998. *Malé vodní elektrárny*. Praha: ČVUT.
19. GESS-CZ, 2017. *GESS-CZ s.r.o.* [Online]
Available at: <http://www.gess.cz/cz/male-vodni-elektrarny.html>
20. Herber, V. & Dobrovolný, P., 2017. *Vodstvo České republiky*. [Online]
Available at: http://www.herber.kvalitne.cz/FG_CR/hydro.html#C3
21. Hodák, T. & Dušička, P., 1998. *Malé vodné elektrárne*. -: -.
22. Holata, M., 2002. *Malé vodní elektrárny, Projektování a provoz*. -: Academia.
23. Horka, 2007. *Internetové stránky obce Horka II.* [Online]
Available at: <http://www.obec-horkaii.cz/uzemni-plan-obce/schvaleny-uzemni-plan-obce/>
24. Hýbl, J., 1950. *Vodní motory*. Praha: Vědecko-technické nakladatelství.
25. HYDRO, M., 2017. *Kovosvit MAS a.s.* [Online]
Available at: <http://www.mas-hydro.cz/en/>
26. IPCC, 2014. *Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014*. -: -.
27. Janíček, F., 2007. *Obnovitelné zdroje energie I, Technologie pro udržitelnou budoucnost*. Bratislava: LiV ELEKTRA, a.s..
28. K. Brada, K.-A. R., 1998. *Water Screw Motor to Micro Power Plant - First Experiences of Construction and Operation*. -: -.
29. Kinkor, J., 2017. *Metodický pokyn ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích*. Praha: Ministerstvo životního prostředí.
30. Laika, V., 2017. *Abeceda malých vodních pohonů*. [Online]
Available at: <http://mve.energetika.cz/uvod/stoleti.htm>
31. Lepisto, C., 2007. *Gravitational Vortex Power Plant is Safe for Fish*. [Online]
Available at: <http://www.treehugger.com/renewable-energy/gravitational-vortex-power-plant-is-safe-for-fish.html>
32. Melichar, J., 1995. *Malé vodní turbíny*. Praha: ČVUT, Fakulta strojní.
33. Melichar, J., 1998. *Malé vodní turbíny, Konstrukce a Provoz*. Praha: ČVUT.

34. Melichar, J., 2002. *Použití hydrodynamických čerpadel jako turbín*. Brno, HYDROTURBO.
35. Melichar, J., 2012. *Použití hydrodynamických čerpadel jako turbín*. Brno, HYDROTURBO.
36. Melichar, J., 2013. *Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny*. Praha: ČVUT, Fakulta strojní.
37. Moerscher, W., 1922. USA, Patent č. US1434138 A.
38. MPO, 1985. *ČSN 08 5000 Názvosloví vodních turbín, akumuláčních čerpadel, čerpadlových turbín a regulátorů vodních turbín*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu.
39. MPO, 2009. *ČSN 75 0120 Vodní hospodářství - Terminologie hydrotechniky*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu.
40. MPO, 2009. *ČSN EN 62097 Hydraulické stroje, radiální a axiální - Metoda přepočtu hydraulických charakteristik z modelu na prototyp*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu.
41. MPO, 2010. *ČSN 75 2601 Malé vodní elektrárny - Základní požadavky*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu.
42. MPO, 2017. *Ministerstvo průmyslu a obchodu*. [Online]
Available at: <http://www.agentura-api.org/programy-podpory/obnovitelne-zdroje-energie/obnovitelne-zdroje-energie-vyzva-ii/>
43. MŽP, 2017. *Ministerstvo životního prostředí - Kjotsky protokol*. [Online]
Available at:
[http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
44. Nebezpecnejezy.cz, 2017. *Nebezpečné jezy.cz*. [Online]
Available at: <http://www.nebezpecnejezy.cz/jez-Reka-Sazava-ricni-km-1087-Povodi-Vltavy.aspx?ID=35>
45. Nuernbergk, D. M., 2012. *Wasserkraftschnecken: Berechnung und optimaler Entwurf von archimedischen Schnecken als Wasserkraftmaschine*. -: -.
46. Pálffy, S. O., 1994. *Schneckenrotpumpe als Mikroturbine*, Expert Verlag. -: Technische Akademie Esslingen.
47. Pažout, F., 1982. *Malé vodní elektrárny a mikro zdroje*. Praha: Panorama.
48. Pospíšil, A., 2003. *Mlýny a mlynáři ve staletích*. -: -.
49. Quaschnig, V., 2008. *Erneuerbare Energien und Klimaschutz*. Munich: Carl Hanser Verlag.
50. REHARTGROUP, 2017. *REHARTGROUP - Wasserkraftschnecke mit Fischaufstiegsschnecke*. [Online]
Available at: <http://www.rehart.de/de/produkte-leistungen/wasserkraftschnecken.html>

51. Reuter, M. & Kohout, C., 2014. *Praxishandbuch IWSÖ*. [Online]
Available at: http://www.xn--iws-una.de/wp-content/uploads/Praxishandbuch_IWS%C3%96_30.10.2014.pdf
52. Socha, P., 2017. *Typy vodních kol*. [Online]
Available at: http://www.vodnikola.cz/typy_vodnich_kol.html
53. SPVEZ, 2013. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z.s.*
[Online]
Available at: www.spvez.cz/
54. Šimek, R., 2017. *Databáze vodních mlýnů*. [Online]
Available at: <http://vodnimlyny.cz/poznavame-vodni-mlyny/>
55. TSK-Praha, 2017. *Technická správa komunikací Praha - Intenzita dopravy*.
[Online]
Available at: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy>
56. Zotlöterer, F., 2017. *Zotloeterer - Gravitationns wasser wirbelkraftanlagen*.
[Online]
Available at: <http://www.zotloeterer.com/>

13 Seznam příloh

Příloha 1	Situační výkres MVE
Příloha 2	Půdorys výrobního objektu
Příloha 3	Podélný řez MVE
Příloha 4	Příčný řez výrobním objektem
Příloha 5	Příčný řez vývařištem MVE