

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh malé vodní elektrárny v obci Radonice

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan KRUML**
Osobní číslo: **E11N0122P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Návrh malé vodní elektrárny v obci Radonice**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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


1. Popište základní principy a vlastnosti malých vodních elektráren.
2. Zhodnoťte uvažovanou lokalitu na toku Zubřina z hlediska možnosti stavby MVE.
3. Navrhněte konkrétní řešení MVE pro uvažovanou lokalitu.
4. Proveďte celkové zhodnocení návrhu MVE z hlediska energetického, ekonomického a environmentálního.

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


1. Škorpil, J., Kasárník, M.: Vodní elektrárny I

Vedoucí diplomové práce: Ing. Milan Bělík, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2012
Termín odevzdání diplomové práce: 9. května 2013


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




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

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh malé vodní elektrárny v lokalitě radonického mlýna a na následné zhodnocení celého návrhu.

Text je rozdělen do čtyř základních částí. První část se zabývá především základními principy a vlastnostmi vodních elektráren, rozdělením a popisem základních druhů vodních motorů. Druhá část je zaměřena na zhodnocení lokality radonického mlýna z hlediska možnosti výstavby malé vodní elektrárny a teorie proveditelnosti. Třetí část je zaměřena na samotný návrh MVE z hlediska stavebních úprav, návrhu turbíny, generátoru a silnoproudé části včetně řídicího systému. Závěrečná čtvrtá část hodnotí celkový návrh z hlediska ekonomické návratnosti, dopadu na životní prostředí a celkového přínosu v lokalitě radonického mlýna.

Klíčová slova

Potenciál vodního toku, vodní energie, malá vodní elektrárna, MVE, vodní kolo, vodní turbína, vodní motor, generátor, rekonstrukce, spád, průtok, výkon, účinnost, ekonomie provozu, radonický mlýn.

Abstract

This master's thesis presents a design proposal of a small hydroelectric power station to be located at a water mill in Radonice, West Bohemia, and a subsequent evaluation of this proposal.

The thesis comprises of four sections. Section 1 introduces the basic principles and qualities of hydroelectric power plants as well as the classification and description of the elementary types of water engines. Section 2 assesses the suitability of the Radonice mill's location for constructing a small hydroelectric power station applying, among other, the feasibility theory. Section 3 represents the actual design proposal including the necessary building adjustments, the turbine, the generator and the high-voltage section containing the control system. Section 4 evaluates the proposal with regard to its economic profitability, environmental effects and the overall benefits to the Radonice mill's location.

Key words

Potential water flow, water energy, small hydro power plant, water wheel, water turbine, water engine, generator, reconstruction, gradient, flow, power, efficiency, economy of operation, the mill of radonice

Prohlášení

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

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

.....
Podpis

V Plzni, dne 26. 4. 2013

Bc. Jan Kruml

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Milanu Bělíkovi Ph.d. za to, že mi umožnil zpracovat diplomovou práci na toto téma. Dále bych mu rád poděkoval za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení celé práce.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 PRINCIPY A VLASTNOSTI VODNÍCH ELEKTRÁREN	10
1.1 VODNÍ ENERGIE	10
1.2 DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN	11
1.3 DĚLENÍ ZÁKLADNÍCH TYPŮ VODNÍCH MOTORŮ.....	12
1.3.1 Vodní kola.....	12
1.3.2 Vodní turbíny.....	13
1.4 ZÁKLADNÍ DRUHY VODNÍCH TURBÍN	15
1.4.1 Francisova turbína.....	15
1.4.2 Kaplanova turbína.....	16
1.4.3 Peltonova turbína.....	16
1.4.4 Bánkiho turbína.....	17
1.4.5 Oblast použití základních druhů turbín.....	19
1.5 VÝZNAM MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN V ČR.....	19
2 HODNOCENÍ DANÉ LOKALITY.....	20
3 NÁVRH VODNÍ ELEKTRÁRNY	23
3.1 STAVEBNÍ ÚPRAVY	23
3.2 NÁVRH KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ TURBÍNY A GENERÁTORU	27
3.2.1 Volba turbíny.....	27
3.2.2 Volba generátoru.....	27
3.2.3 Výpočet výkonu MVE.....	28
3.3 NÁVRH SILNOPROUDÉ ČÁSTI MVE.....	29
3.3.1 Kompenzace jalového výkonu.....	29
3.3.2 Elektrické schéma.....	29
3.3.3 Řídící systém MVE.....	31
4 ZHODNOCENÍ NÁVRHU MVE.....	32
4.1 NÁKLADY NA STAVBU MVE.....	32
4.2 ZHODNOCENÍ REŽIMU VÝKUPNÍCH CEN A ZELENÉHO BONUSU NA ELEKTRINU	32
4.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU MVE.....	34
4.4 ENVIRONMENTÁLNÍ POSOUZENÍ NÁVRHU MVE.....	36
5 ZÁVĚR	37
POUŽITÁ LITERATURA.....	38
SEZNAM OBRÁZKŮ	39
SEZNAM TABULEK.....	40
PŘÍLOHY	41
PŘÍLOHA Č. 1 – ZPŮSOBY ULOŽENÍ VODNÍCH TURBÍN A PŘÍVOD VODY K TURBÍNÁM.....	41
PŘÍLOHA Č. 2 – VÝŠKOVÉ ZAMĚŘENÍ SPODNÍHO KORYTA ŘEKY	42
PŘÍLOHA Č. 3 – OBR. Č. 14 - 19	43

Úvod

V předkládané diplomové práci bych se rád zaměřil na návrh malé vodní elektrárny v lokalitě radonického mlýna. V této lokalitě bývala umístěna Francisova turbína, která poháněla mlýn a přilehlou pilu. Bohužel turbína i strojovna byly zbourány a dochoval se pouze mlýn bez svého pohonu. Toto téma jsem si zvolil především kvůli zjištění energetického potenciálu této lokality a případnému využití návrhu k obnovení funkce lokality, i když ne k pohonu mlýna, ale k výrobě elektrické energie v malé vodní elektrárně. Cílem diplomové práce je navrhnout konkrétní řešení MVE z hlediska co možná nejefektivnějšího využití potenciálu vodního toku řeky Zubřiny v této lokalitě s ohledem na životní prostředí a ekonomickou návratnost projektu. Tomuto odpovídá zvolený rozsah zpracování diplomové práce. V diplomové práci se chci detailně zabývat energetickým potenciálem lokality, návrhem nejvhodnějšího typu turbíny a generátoru a konstrukcí MVE z hlediska stavebních úprav lokality pro konkrétní řešení turbíny. V neposlední řadě bych se rád zaměřil na návrh řídicího systému celé MVE, kompenzaci jalového výkonu a na ekonomické zhodnocení návratnosti celého projektu včetně dopadu na životní prostředí v lokalitě radonického mlýna.

Využití hydroenergetického potenciálu vodních toků má v porovnání s jinými zdroji energie nepopíratelné výhody. Především jde o trvalý a prakticky nevyčerpatelný čistý zdroj energie. Tento zdroj energie se v minulosti využíval pro pohon mlýnů, pil a hamrů prostřednictvím vodních kol a později vodních turbín. Dnes využíváme vodní energii k výrobě elektrické energie ve vodních elektrárnách. Malé vodní elektrárny se vyznačují především velmi nízkými provozními náklady, vysokou účinností, malou poruchovostí, dlouhodobou životností a vysokým počtem provozních hodin během celého ročního období. MVE zlepšují napěťové poměry na koncích vedení a nezatěžují přenosovou soustavu. České řeky stále disponují nevyužitým hydroenergetickým potenciálem, či nespočtelným množstvím zastaralých nebo nevyužívaných vodních děl vhodných k rekonstrukci. Vodní energie je v našich podmínkách doplňkovým, ale velmi cenným zdrojem energie.

Seznam symbolů a zkratk

Značka	Jednotka	Název
A	[J]	práce
dl	[m]	elementární úsek
E	[MWh]	vyrobená energie
E_p	$[J \cdot kg^{-1}]$	měrná polohová energie
g	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitační zrychlení
h	[m]	střední hloubka
H	[m]	spád
i	[-]	převodový poměr
M	[dnů]	počet dní v roce
n	$[ot \cdot min^{-1}]$	otáčky
P	[W]	výkon
Q	$[l \cdot s^{-1}]$	objemový průtok
Q_{komp}	[kVAr]	jalový výkon
S	$[m^2]$	průřez
t	[s]	čas
V	$[m^3]$	objem
z	[m]	nadmořská výška
η	[-]	účinnost
μ	[-]	výtokový součinitel
ρ	$[kg \cdot m^{-3}]$	měrná hmotnost

Zkratky

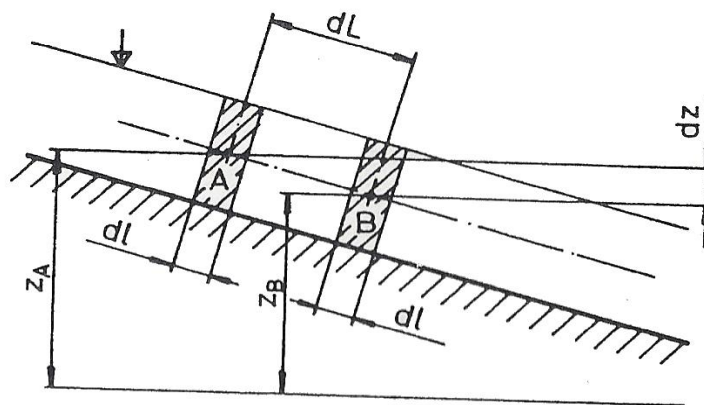
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DPH	daň z přidané hodnoty
MVE	malá vodní elektrárna
OSVČ	osoba samostatně výdělečně činná

1 Principy a vlastnosti vodních elektráren

1.1 Vodní energie

Vodní energie je nejdéle technicky využívaným zdrojem energie. Jedná se o nevyčerpatelný zdroj energie. Voda je nositelem energie mechanické, tepelné a chemické. Největší význam z hlediska vodních elektráren má mechanická energie. Projevuje se ve formě potenciální, což je energie polohová a tlaková a také ve formě kinetické energie čili rychlostí.

Na základě fyzikálních poznatků můžeme stanovit práci, kterou vykoná elementární úsek dl konstantního průřezu S , přesune-li se jeho těžiště z bodu A do bodu B působením tíhových sil podle vztahu (1.1).[1]



Obr. č. 1: Potenciální výkon elementárního úseku vodního toku

$$A_i = dl \cdot S \cdot \rho \cdot g \cdot (z_A - z_B) = V \cdot \rho \cdot (E_A - E_B) \text{ [J]} \quad (1.1)$$

Této práci odpovídá výkon dle vztahu (1.2).

$$P_i = \frac{A_i}{t} = \rho \cdot \frac{V}{t} \cdot (E_A - E_B) = \rho \cdot Q \cdot \Delta E \text{ [W]} \quad (1.2)$$

V technické soustavě jednotek se uvádí veličina spád, označovaná jako H . Spád je výškový rozdíl hladin vody udávaný v metrech. Pro převod z polohové energie platí $E_p = g \cdot H \text{ [J} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]}$. Polohová energie E_p je vztažena na 1 kg kapaliny. Veličina $Q \text{ [m}^3\text{/s]}$ označuje objemový průtok vody za jednotku času v daném úseku. Potenciální výkon toku se počítá pro průměrný střední průtok $Q_{50\%}$ a průtok s 95% pravděpodobností překročení $Q_{95\%}$. Součet všech výkonů jednotlivých úseků toku dává teoretický hydroenergetický potenciál

toku. Tento potenciál představuje teoretický výkon toku při bezeztrátovém využití spádu při středním průtoku. Ve skutečnosti je nutno uvažovat ztráty hydraulické, objemové a účinnosti přeměny energií v technologickém zařízení.[1]

Z uvedených vztahů je zřejmé, že pro využití vodní energie ve vodní elektrárně musí být v dané lokalitě soustředěn spád při dostatečném průtoku. Výkon vodního díla závisí na součinu spádu, průtoku a účinnosti vodního díla. Konfigurace parametrů spádu a průtoku je dána přírodními podmínkami. V horských oblastech bývá k dispozici menší průtok a velký spád. Naopak v nížinách se využívá menšího spádu a velkého průtoku. V přírodě je relativně málo míst s přirozeným soustředěním spádu a průtoku. Jsou to především vodopády a značný podélný sklon toku. Obvykle je nutné soustředit spád a průtok uměle, vytvořením vhodného vzdouvacího zařízení. [2]

1.2 Dělení vodních elektráren

Vodní elektrárny dělíme do tří základních skupin podle jmenovitého výkonu:

- 1) Velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem nad 200 MW
- 2) Střední vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW
- 3) Malé vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW

Malé vodní elektrárny se následně dělí do čtyř podskupin podle instalovaného výkonu:

- 1) Průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 1MW do 10 MW
- 2) Mini elektrárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1 MW
- 3) Mikroelektrárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW
- 4) Domácí elektrárny s instalovaným výkonem do 35 kW

Vodní elektrárny pracují ve dvou základních režimech provozu. Jedná se o režim průtočný a akumuláční. Průtočné vodní elektrárny neovlivňují svým provozem přirozený průtok vodního toku. Pracují v základní části denního diagramu zatížení. Naopak akumuláční vodní elektrárny pracují s řízeným odběrem vody z akumuláční nádrže, která vytváří i potřebný spád vody. Tyto elektrárny pracují v pološpičkové a špičkové části denního diagramu.

Pro efektivní využití vodní energie je potřebné soustředit měrnou energii toku (průtok a spád vody). Abychom mohli docílit optimálních parametrů pro stavbu vodní elektrárny v dané lokalitě, je nutno postavit hydroenergetickou stavbu (vodní dílo), která soustředí

měrnou energii toku. Podle těchto staveb také rozdělujeme vodní elektrárny na:

- 1) *Přehradové vodní elektrárny* - získávají spád pomocí vybudování přehrady ve vhodné lokalitě.
- 2) *Jezové vodní elektrárny* - získávají spád pomocí vybudování jezu na řece či potoce. Většina malých vodních elektráren jsou právě tohoto typu.
- 3) *Derivační vodní elektrárny* - získávají spád pomocí derivace vody. Derivace je umělé vedení vody mimo vodní tok pomocí tlakové nebo beztlakové derivace.
- 4) *Přehradně derivační vodní elektrárny* - tento systém se využívá hlavně v horských oblastech, kde se vybuduje přehrada, která má přirozený přítok vody. Přehrada soustřeďuje spád a průtok. Pomocí tlakového derivačního potrubí se voda přivede do elektrárny, která je umístěna níže.
- 5) *Přečerpávací vodní elektrárny* - skládají ze dvou nádrží horní a dolní. Tyto elektrárny jsou sekundárním zdrojem energie. Slouží k hydraulické akumulaci elektrické energie. Principem přečerpávací elektrárny je přečerpání vody z dolní nádrže do horní v době přebytku elektrické energie. Při nedostatku elektrické energie naopak vyrábějí pomocí nahromaděné vody v horní nádrži. Při čisté sekundární akumulaci je horní nádrž vybudovaná na kopci a nemá přirozený přítok. Akumulace může být také smíšená, tzn. že horní nádrž má kromě přečerpávaného přítoku také přirozený přítok. V tomto případě je horní nádrž tvořena přehradou na vodním toku a elektrárna pak využívá jak primární tok, tak i sekundární potenciál vody přečerpané z dolní nádrže.

[1][3]

1.3 Dělení základních typů vodních motorů

Vodní motory dělíme na vodní kola a vodní turbíny. Každý typ vodního motoru má své specifické vlastnosti, které vymezují rozsah jeho použití. Proto je důležité určit, zda je konkrétní vodní motor pro zvolenou lokalitu vhodný.

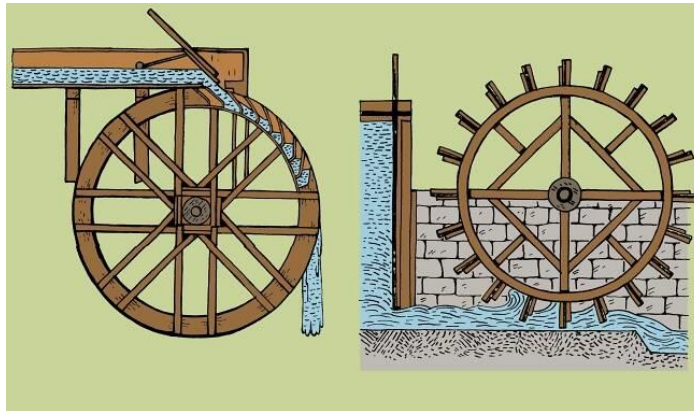
1.3.1 Vodní kola

Vodní kola jsou jedny z nejstarších strojů. Jedná se o pomaloběžné motory, které se používaly především pro pohon mlýnů, pil a hamrů. Vodní kolo je spolehlivý, nenáročný a laciný vodní motor, který se vyznačuje velkou průtokovou přetížitelností a necitlivostí k nečistotám. Nevýhodou vodního kola pro použití v MVE jsou malé provozní otáčky, které se musí převést pomocí převodu na otáčky potřebné pro generátor, čímž je snížena účinnost soustrojí. Vodní kolo bývá obvykle vyrobeno z dubového dřeva a po obvodu má řadu

dřevěných lopatek nebo kapes. Principiálně lze vodní kola rozdělit na tři druhy:

- 1) *Kolo na spodní vodu* - využívá pouze kinetické energie vody, proudící pod ním. Účinnost je 30 až 35%.
- 2) *Kolo na střední vodu* - využívá i potenciální energii vody, která je k němu přiváděna výše, než je hladina odtékající vody. Účinnost je 60 až 65%.
- 3) *Kolo na vrchní vodu* - je zaléváno svrchu a otáčí se ve směru proudu vody vrchní částí. Využívá především potenciální energii vody. Účinnost je 65 až 80%.

[6]



Obr. č. 2: Vodní kola na vrchní a spodní vodu

1.3.2 Vodní turbíny

Vodní turbíny jsou nejvýznamnějšími hydrodynamickými motory. Pracovním prvkem vodních turbín je oběžné kolo, ve kterém se využívá kinetická energie u rovnotlaké turbíny a z části i energie tlaková u přetlakové turbíny. Kinetická energie vzniká z energie tlakové, ve kterou se mění v přiváděči k turbíně původní polohová energie.

Specifičnost různých lokalit a stavebních provedení vzdouvacích zařízení vyžaduje použití nejrůznějších typů, rozměrů, výkonů a konstrukčních řešení vodních turbín. Turbíny především rozlišujeme podle způsobu přenosu energie na oběžné kolo do dvou skupin:

- 1) *Přetlakové turbíny* – zde je část tlakové měrné energie přeměněna na kinetickou v přívodním potrubí a zbývající část se mění v měrnou energii kinetickou při průchodu vody oběžným kolem. Toto označení vyplývá z toho, že se průtok oběžným kolem uskutečňuje působením přetlaku na vstupu do oběžného kola. Turbíny tohoto typu jsou například: Francisova turbína a Kaplanova turbína.
- 2) *Rovnotlaké turbíny* – zde se celá hodnota tlakové měrné energie vody mění v přívodním potrubí na kinetickou měrnou energii. To znamená, že na vstupu i výstupu z oběžného kola je stejný tlak. U těchto turbín proud vody zcela

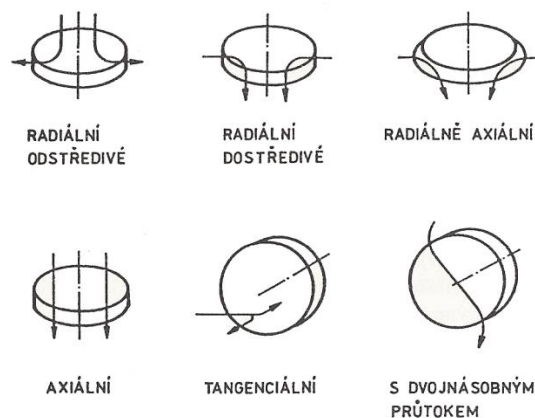
nevyplňuje průtočné kanály oběžného kola, které musí mít okolí zaplněné vzdušinou. Pokud je tlak vzdušiny stejný jako tlak atmosférický, nemůžou mít tyto turbíny umístěné oběžné kolo pod spodní hladinou. Turbíny tohoto typu jsou například: Peltonova turbína a Bánkiho turbína.

[3]

Vedle zmíněného členění vodních turbín podle přenosu energie na oběžné kolo se turbíny liší způsobem průtoku vody oběžným kolem a podle polohy hřídele. Poloha hřídele může být horizontální nebo vertikální. Oběžné kolo je vlastní pracovní částí turbíny. Přeměňuje se zde hydraulická energie vody na mechanickou energii rotujících lopatek. Existuje několik způsobů průtoku vody oběžným kolem vzhledem k ose otáčení. Jsou to například:

- 1) *Radiálně dostředivé* – s vnějším vtokem vody kde voda protéká oběžným kolem směrem k hřídeli. Tento způsob používala původní Francisova turbína.
- 2) *Radiálně axiální* – voda proudí oběžným kolem nejprve radiálně a po přiblížení k ose se mění směr proudění na axiální. Tento způsob používá moderní Francisova turbína.
- 3) *Axiální* – voda protéká oběžným kolem ve stálé vzdálenosti od osy otáčení. Tohoto využívá Kaplanova turbína.
- 4) *Tangenciální* – voda proudí na lopatky oběžného kola v tangenciálním směru. Tohoto využívá Peltonova turbína.
- 5) *Turbína s dvojitým průtokem* – voda vstupuje do oběžného kola centripetálně (radiálně dostředivě) a vystupuje centrifugálně (radiálně odstředivě). Tento způsob používá Bánkiho turbína.

[2]



Obr. č. 3: příklady průtoku vody oběžným kolem

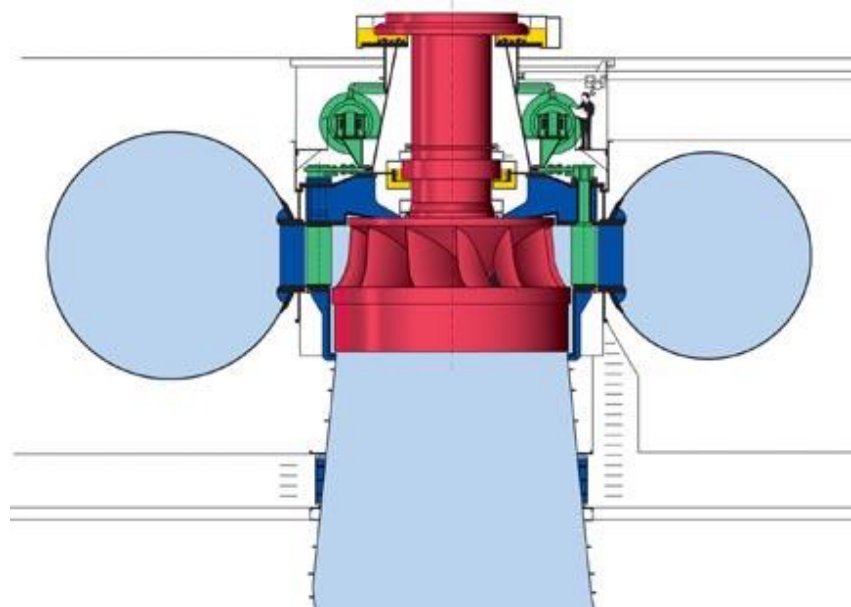
Způsoby uložení vodních turbín a přívod vody k turbínám je znázorněn v příloze č. 1.

1.4 Základní druhy vodních turbín

1.4.1 Francisova turbína

Jedná se o nejdéle používanou moderní turbínu. Jejím vynálezcem byl J. B. Francis (1849). Turbína je přetlaková s průtokem vody oběžným kolem radiálně axiálním. Oběžné kolo má pevně uložené lopatky spojené věncem. Tato turbína se reguluje pomocí rozvaděče s natáčivými lopatkami. Pomocí těchto lopatek lze regulovat výkon turbíny a také zcela uzavřít přívod vody k oběžnému kolu. Francisova turbína může být uložena ve vertikální nebo horizontální poloze. Přívod vody je nejčastěji řešen pomocí spirálového potrubí nebo u menších výkonů a spádů kašnovým uspořádání. Výstup vody z oběžného kola je řešen savkou. Francisova turbína se používá především pro střední průtoky a spády (viz. Obr. č. 9.) Výhoda Francisovy turbíny je, že může pracovat v reverzibilním režimu neboli čerpadlovém režimu. Tohoto se využívá v přečerpávacích vodních elektrárnách. V dnešní době Francisova turbína patří mezi nejpoužívanější turbíny. Účinnost Francisovy turbíny se pohybuje kolem 90%.

[3]

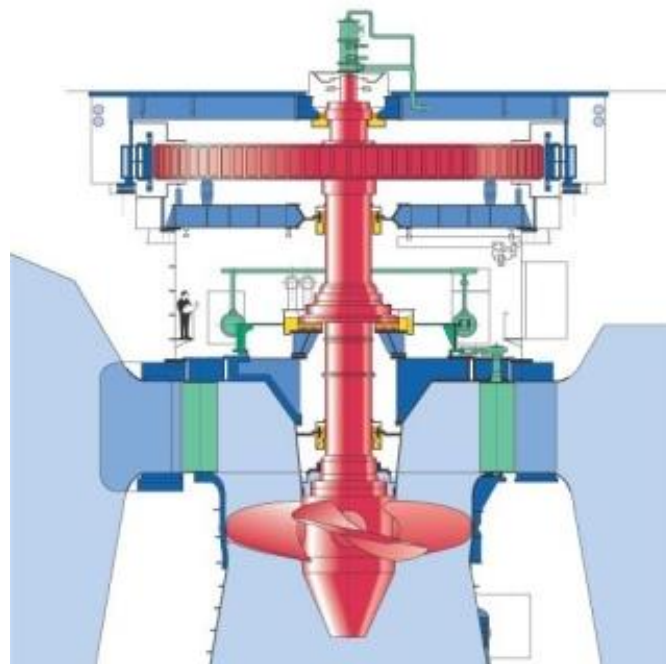


Obr. č. 4: Francisova turbína

1.4.2 Kaplanova turbína

Její vynálezce byl Viktor Kaplan (1919). Jedná se o přetlakovou axiální turbínu s možností regulace pomocí natáčení jak rozvodných, tak i oběžných lopatek. Tímto lze dosáhnout vysoké účinnosti v širokém rozmezí průtoků. Tato turbína je konstrukčně náročnější než Francisova. Kaplanova turbína může být uložena ve vertikální, horizontální nebo šikmé ose. Přívod vody je řešen pomocí spirálového betonového přivaděče, kašnovým uspořádáním nebo přímým přívodem vody pomocí difuzéru, který svým kuželovitým tvarem zvyšuje rychlost vody. Turbína je vhodná pro malé spády při velkých průtocích (viz. Obr. č. 9). Účinnost se pohybuje kolem 90%. Snaha o levnější řešení turbíny pro danou oblast parametrů vedla k vytvoření varianty Kaplanovy turbíny bez natáčecích lopatek oběžného kola. Jedná se o tzv. Propelerovu turbínu, u které jde výkon regulovat pouze rozváděcími klapkami.

[3]



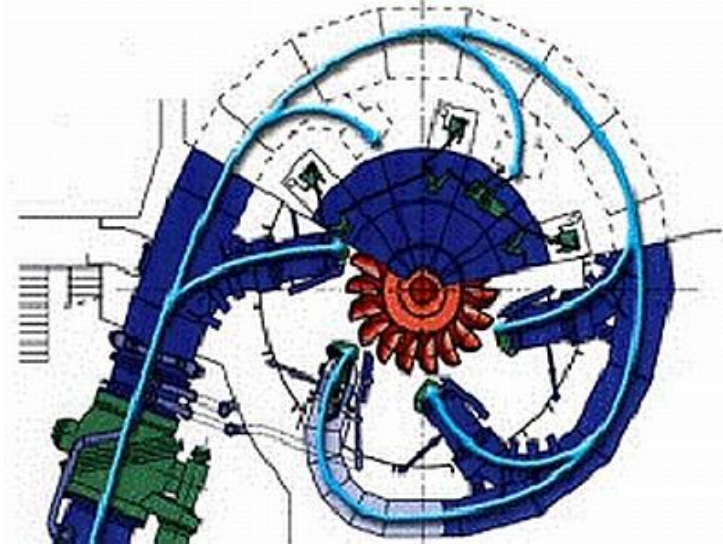
Obr. č. 5: Kaplanova turbína

1.4.3 Peltonova turbína

Její vynálezce je L. A. Peltonon (1880). Jedná se o tangenciální rovnotlakou turbínu. Tangenciální vstup vody na oběžné kolo se provádí prostřednictvím jedné nebo více dýz. V dýzách dochází k přeměně tlakové energie vody na kinetickou energii vodního paprsku. Vodní paprsek naráží na oběžné lopatky lžícového tvaru s dělicím břitem. Z oběžného kola voda volně dopadá na spodní hladinu. Regulace se provádí zavíráním nebo

otevíráním otvoru dýzy pohybem regulační jehly. Její pracovní poloha je ve vertikální nebo horizontální ose. Peltonova turbína je neefektivnější při vysokém tlaku přívodní vody. Tyto turbíny se používají pro vysoké spády s malým objemovým průtokem vody (viz. Obr. č. 9). Účinnost se pohybuje od 80-95% podle velikosti turbíny a parametrů průtoků a spádů.

[3]



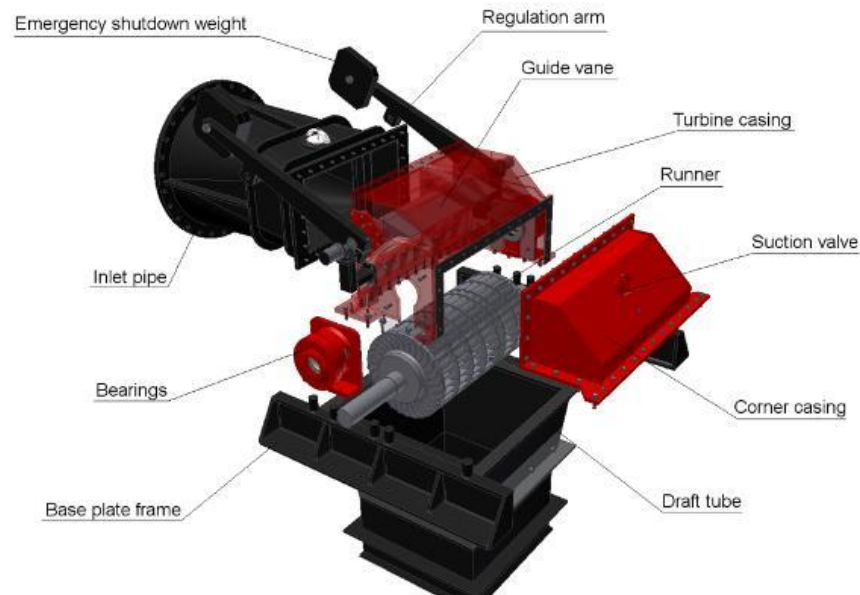
Obr. č. 6: Peltonova turbína

1.4.4 Bánkiho turbína

Jedná se o rovnotlakou radiální turbínu. Původní návrh vypracoval australský inženýr A. G. M. Mitchel (1903) do skutečného provedení jí však vyřešil až maďarský prof. D. Bánki (1919). Oběžné kolo Bánkiho turbíny je uloženo v horizontální ose. Oběžné lopatky má pevně uložené mezi kruhovými deskami. Voda protéká oběžným kolem dvakrát. Nejprve ze vstupního tělesa přes oběžné lopatky do středu oběžného kola, poté znovu přes oběžné lopatky ven do výstupní části turbíny, ze které vytéká buď volně, nebo savkou do vývaru pod turbínou. Savka se používá pro lepší využití spádu. Jde tedy nejprve o dostředivý a poté odstředivý průtok. Oba dva průtoky se pro teoretické řešení předpokládají za rovnotlaké, ale ve skutečnosti je první průtok mírně přetlakový. Voda na vstupu do turbíny má stále minimální tlakovou energii, kterou turbína při prvním průtoku využije. Pro dosažení dobré účinnosti turbíny pro široké spektrum průtoků bývá oběžné kolo i s regulačním orgánem děleno na třetiny. Turbína je tedy stavěna jako dvoukomorová. Vtokové komory jsou děleny v poměru 1:2. Užší komora pracuje při malých průtocích. Širší při středním průtoku a obě komory běží dohromady při plném průtoku, na který je turbína navržena. Tímto rozdělením je množství vody využito v rozmezí od plného průtoku do jeho 1/6 s optimální účinností.

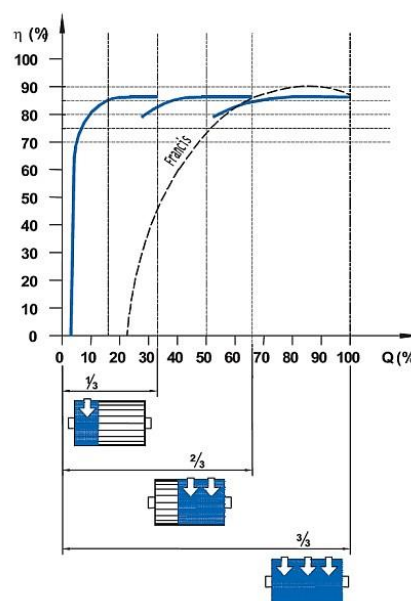
Rozsah působnosti turbíny je znázorněn na Obr. č. 9. Účinnost se pohybuje okolo 80% (viz. Obr. č. 8.) Tato turbína bude předmětem mého návrhu malé vodní elektrárny v obci Radonice.

[3][8]



Obr. č. 7: Bánkiho turbína

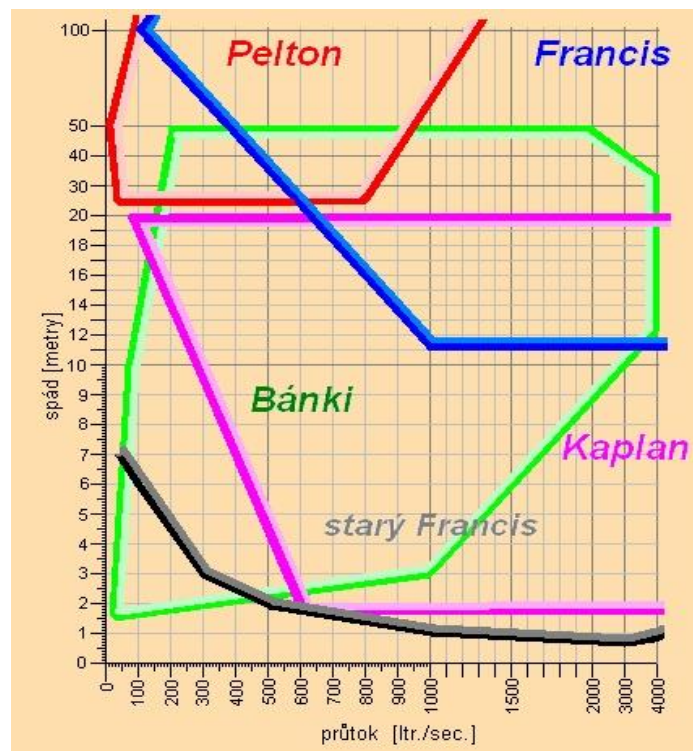
Porovnání účinnosti Francisovy a Bánkiho turbíny v závislosti na objemovém průtoku vody je znázorněn na Obr. č. 9. Z obrázku je patrné že Bánkiho turbína využije proměnlivý průtok toku s daleko větší účinností. Proto je vhodná pro lokality s proměnným průtokem vody.



Obr. č. 8: Rozdělení průtoku Bánkiho turbínou

1.4.5 Oblast použití základních druhů turbín

Oblast použití základních druhů turbín je závislá na velikosti spádu H a na objemovém průtoku vody Q . (viz Obr. č. 9). Díky těmto oblastem můžeme snadno zjistit vhodnost konkrétních typů turbín v dané lokalitě.



Obr. č. 9: Rozsah použití základních druhů turbín

1.5 Význam malých vodních elektráren v ČR

V České republice je dostatek lokalit pro výstavbu či obnovu malých vodních elektráren (MVE). Ve 30. letech 20. století bylo na území Československa téměř 15000 lokalit, ve kterých byla využívána vodní energie. Šlo o pohon pil, mlýnů a především MVE místního významu. V polovině 40. let bylo registrováno přibližně 11700 malých vodních děl. V 50. letech byla však většina z nich cíleně zlikvidována, protože představovala konkurenci centrálně řízenému socialistickému hospodářství. Jejich počet klesl na pouhých 109. Počátkem 80. let nastal rozvoj MVE. V roce 1987 bylo v provozu na území Československa již 570 MVE. [2] V roce 2002 bylo v ČR evidováno 878 malých vodních elektráren s výkonem do 1 MW o celkovém instalovaném výkonu 79,03 MW. Do roku 2011 jejich počet vzrostl na 1397 s celkovým instalovaným výkonem 140,25 MW. [9].

Následující tabulka znázorňuje hrubou výrobu elektřiny a celkový instalovaný výkon vodních elektráren za rok 2010.

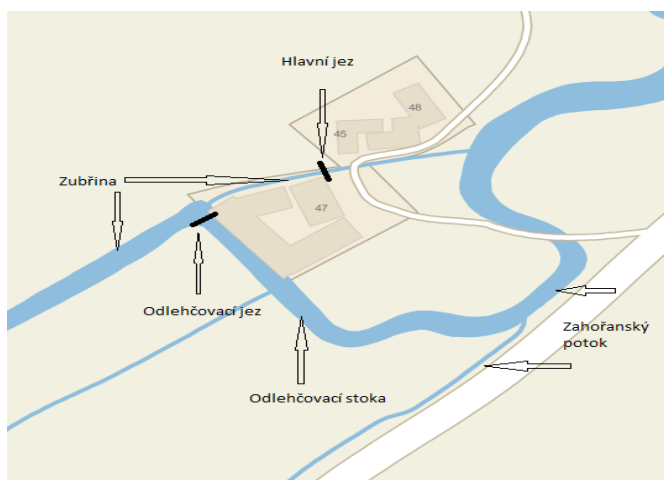
	HRUBÁ VÝROBA ELEKTRĚINY [MWH]	INSTALOVANÝ VÝKON [MW]
VE celkem	2 789 474	1 049,6
MVE < 1 MW	554 754	140,9
MVE 1 až 10MW	603 823	155,9
VE ≥ 10 MW	1 630 897	752,8

Tabulka č. 1: Hrubá výroba elektřiny a celkový instalovaný výkon VE za rok 2010

Celkový podíl vodních elektráren na hrubé domácí výrobě elektřiny za rok 2010 je 3,25%. [9]

2 Hodnocení dané lokality

Jedná se o starý mlýn na řece Zubřině, který dnes slouží k rekreačním účelům. Dříve zde byla umístěna Francisova turbína o výkonu 10 kW. Tato turbína ovšem nevyráběla elektrickou energii, ale přímo poháněla mlýn a přilehlou pilu. Bohužel turbína i strojovna byly zbourány a zbyly pouze dva jezy bez jakýchkoli stavidel. Jeden jez odlehčovací a druhý dvojitý jez, jehož jedna část byla určena pro turbínu a druhá část jako obtok při revizi turbíny. Dnes jsou tyto jezy již značně poškozené, tudíž bude nutná jejich rekonstrukce a přestavba pro účely dané turbíny. Dispozice jezů a jejich náhled je vidět na Obr. č. 10,11 a 12.



Obr. č. 10: Dispozice lokality radonický mlýn



Obr. č. 11: Hlavní jez současný stav



Obr. č. 12: Odlehčovací jez současný stav

Z hlediska hydrologických podmínek řeka Zubřina dosahuje v místě mlýna průměrného dlouhodobého ročního průtoku $Q = 408$ [l/s] [4]. Na uvažovaném jezu je aktuální spád $H = 3$ [m]. Tento spád budu měnit na hodnotu $H = 4,5$ [m] pomocí odbagrování zeminy od spodní části jezu až po soutok se Zahořanským potokem, který je vzdálen od paty jezu 66 metrů. Naměřené výškové hodnoty spodního koryta jsou znázorněny v příloze č. 2.

Předběžný výpočet výkonu MVE pro průměrný průtok Q podle vzorce:

$$P = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta \cdot \rho \text{ [kW]} \quad (2.1)$$

Pro původní spád $H = 3$ [m]

$$P = 9,81 \cdot 0,408 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 1000$$

$$P = 9,605 \text{ [kW]}$$

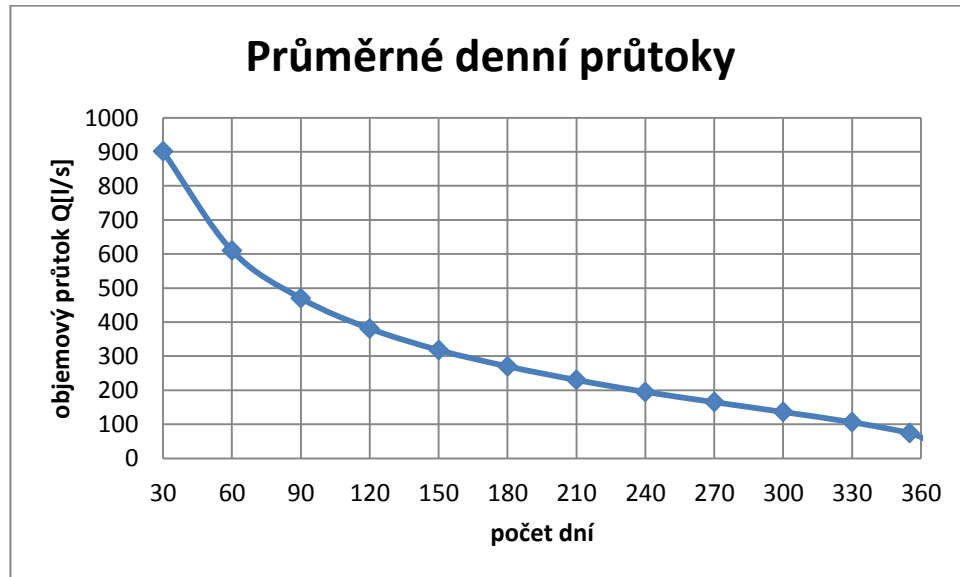
Pro navrhovaný spád $H = 4,5$ [m]

$$P = 9,81 \cdot 0,408 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 1000$$

$$P = 14,408 \text{ [kW]}$$

Z předběžného výpočtu je patrné, že pomocí zvětšení spádu H jsem dosáhl zvednutí teoretického výkonu MVE v dané lokalitě o 4,803 kW.

Z hlediska průměrných denních průtoků jsem sestrojil následující graf, který vychází z poskytnutých údajů od ČHMÚ.



Obr. č. 13: Průměrné denní průtoky

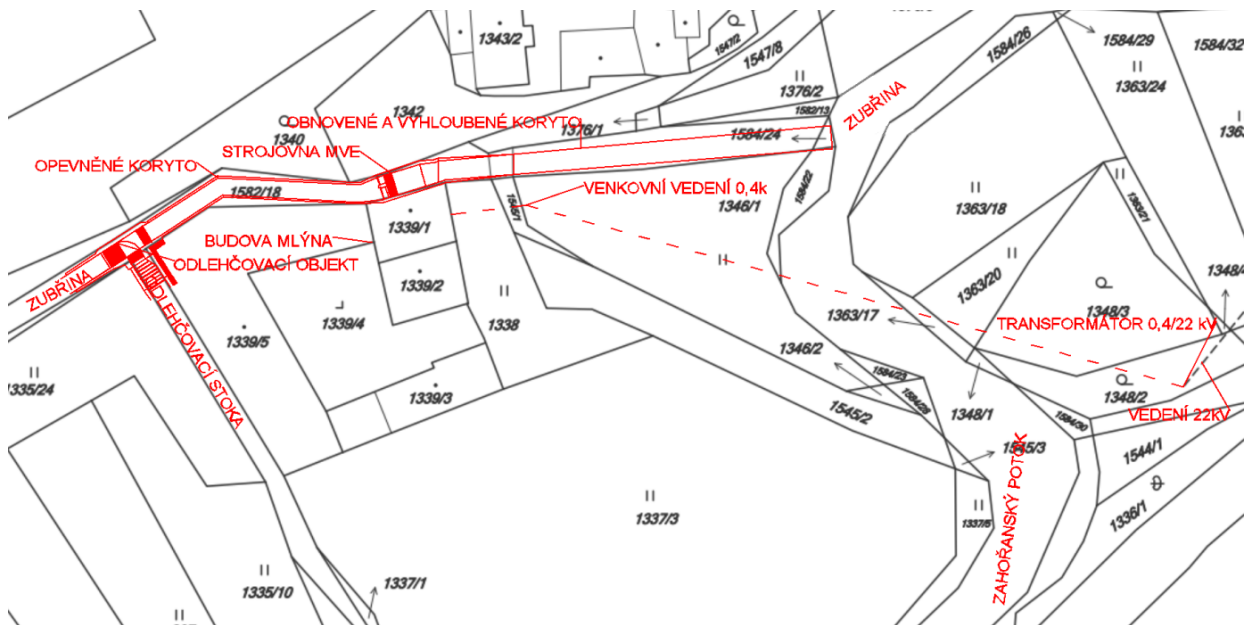
Díky velkému rozmezí mezi maximálním a minimálním průtokem jsem se rozhodl pro návrh dvoukomorové Bánkiho turbínu od společnosti CINK Hydro – Energy k.s., která dokáže s maximální účinností využít téměř celé spektrum průtoků v dané lokalitě. Společnost CINK Hydro – Energy k.s. označuje tuto turbínu jako systém Ossberger.

Velkou výhodou lokality radonického mlýna je, že cca 100 metrů od mlýna se nachází distribuční transformátor 0,4/22 kV. To znamená, že s připojením MVE do distribuční sítě by neměl být žádný problém. Další výhodou lokality jsou již postavené jezy, které po rekonstrukci budou plně vyhovovat požadavkům MVE a ušetří značné finanční prostředky.

3 Návrh vodní elektrárny

3.1 Stavební úpravy

Obr. č. 14 - 19 jsou ve vyšším rozlišení uvedeny v příloze č. 3.



Obr. č. 14: Nákres do katastrální mapy

Dle katastrální mapy jsou patrné stavební úpravy v dané lokalitě. Stavební úpravy budou rozděleny do čtyř částí:

1) *Rekonstrukce odlehčovacího objektu* - Rekonstrukce tohoto objektu bude spočívat především ve zpevnění této stavby železobetonovou konstrukcí a vybudování kaskádového rybího přechodu (rybovodu) na odlehčovacím jezu. Dále zde budou instalována hrubá ocelová česla s mezerou mezi česlemi 250mm. Celý objekt bude dále osazen dvojicí stavidel s elektrickým pohonem.

- První stavidlo bude ovládat výpusť do odlehčovací stoky přes rybí přechod a také zde bude odváděn povinný sanační průtok, který je schválen povodím Vltavy pro danou lokalitu. Hodnota tohoto průtoku je $Q_s = 49$ [l/s] což odpovídá průměrnému dennímu průtoku, který bude přesažen 364 dní v roce.[4]. Pro správnou funkci rybího přechodu bude sanační průtok odváděn otvorem ve spodní části stavidla.
- Druhé stavidlo bude ovládat přívod vody do náhonu k MVE. Zavřeno bude pouze při revizi přivaděče k MVE nebo při nouzových stavech. Před tímto stavidlem bude umístěn elektrický odpuzovač ryb. Elektrické pole bude bránit vstupu ryb do náhonu. Odpuzovačem se docílí migrování ryb přes rybovod.

Kaskádový rybovod patří k neznámějším a nejpoužívanějším typům. Jeho předností je jednoduchost a to, že i při stavbě v malých rozměrech dokáže snadno překonat několikametrový spád. Současně i významným způsobem okysličuje vodu. Na jeho provoz stačí velmi malé množství vody. Svou funkci neztrácí ani při krátkodobém přerušení průtoku. Mezi jeho nevýhody patří rychlé zanášení pískem. Ryby kaskádový rybovod překonávají malými skoky přes jednotlivé stupně proti proudu či naopak.[6]

Rybovod, který jsem navrhl, bude vyroben jako betonové koryto rozdělené osmi přepážkami. Rozdíl hladin mezi jednotlivými stupni je 20 cm, nejvyšší hloubka v přepážkách je 30 cm a vzdálenost mezi přepážkami je 25 cm. Šířka rybovodu se mění dle dispozice jezu od 130 cm do 175 cm. Voda bude postupně přetékat přes jednotlivé stupně rybovodu a dole odtékat do odlehčovací stoky.

Výpočet velikosti otvoru:

$$S = \frac{Q_s}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}} \quad (3.1)$$

$$S = \frac{0,049}{0,63 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,2}}$$

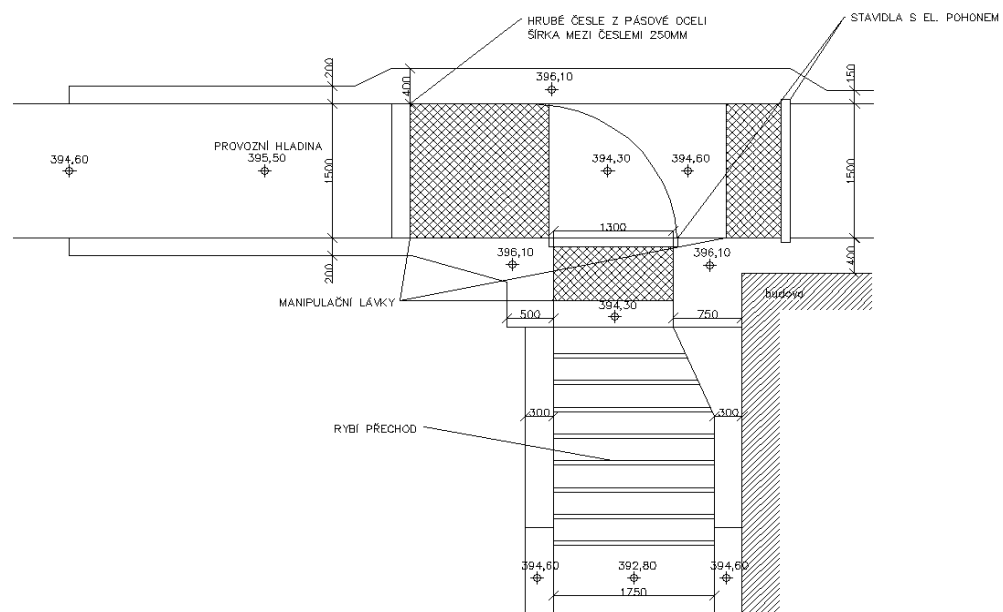
$$S = 160 \text{ cm}^2$$

μ [-] - výtokový součinitel závisející na tvaru a provedení výtokového otvoru

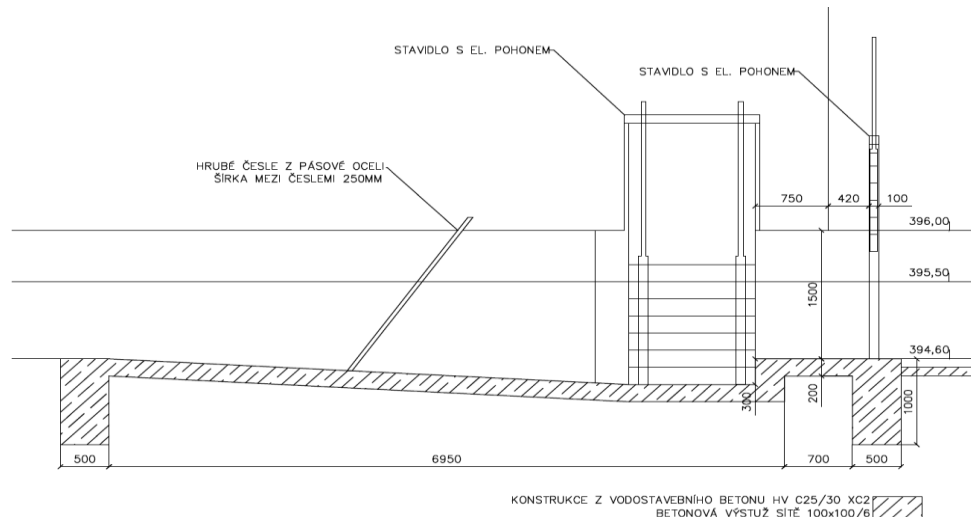
h [m] - střední hloubku otvoru

Z výpočtu je patrné, že rozměry otvoru budou 12,7 cm x 12,6 cm.

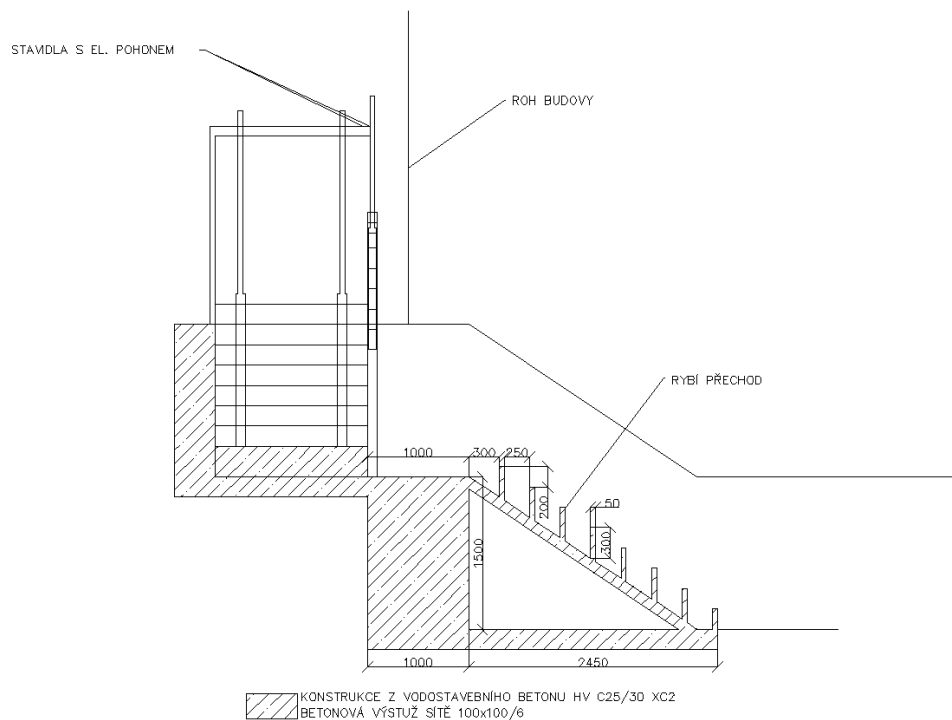
Nákres odlehčovacího objektu je znázorněn na Obr. č. 15, 16 a 17.



Obr. č. 15: Půdorys odlehčovacího objektu



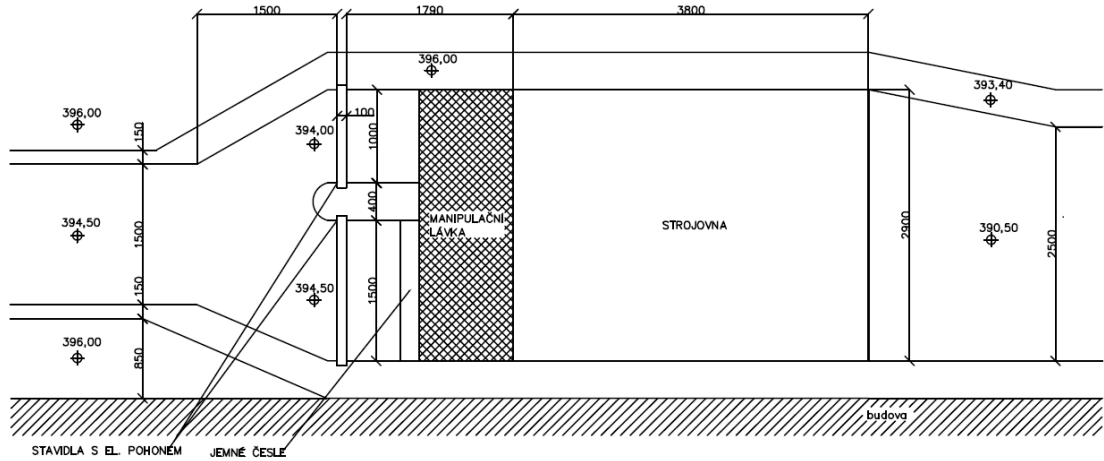
Obr. č. 16: Řez odlehčovacího objektu



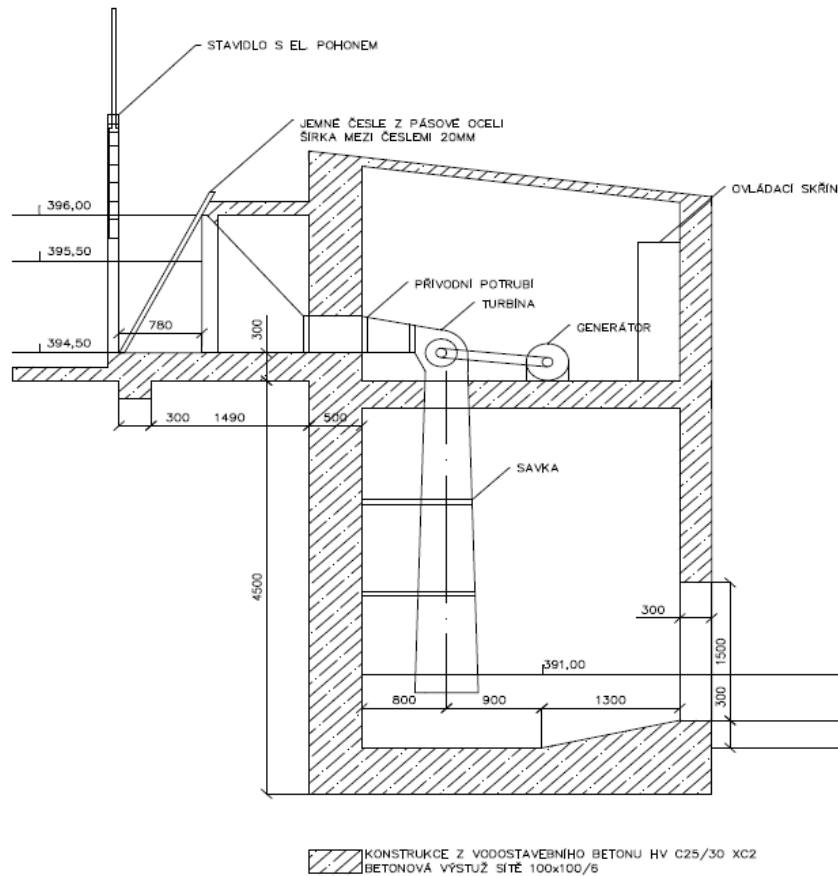
Obr. č. 17: Řez rybího přechodu

- 2) *Zpevnění a vyčištění koryta náhonu mezi odlehčovacím objektem a MVE* – Dno náhonu bude zpevněno deseticentimetrovou vrstvou betonu kvůli snadnému čištění případných usazenin a nečistot. Pravý břeh, který je nyní zpevněn železobetonovou zdí, bude zrekonstruován. Levý břeh bude zpevněn kamenitým návozem.
- 3) *Rekonstrukce hlavního dvojitého jezu a vybudování strojovny MVE* – Hlavní jez bude zrekonstruován a zpevněn. Hlavní komora jezu bude uzpůsobena pro navrhovanou turbínu. Strojovna MVE bude spojena s hlavním jezem společnou železobetonovou konstrukcí. Obě komory hlavního jezu budou osazeny stavidly s elektrickým pohonem pro

regulaci průtoku. Před armaturou přivádějící vodu k turbíně budou nainstalovány jemné česle z pásové oceli s mezerou mezi česlemi 20 mm. Nákresy MVE včetně výškového zaměření jsou znázorněny na Obr. č. 18 a 19.



Obr. č. 18: Půdorys MVE



Obr. č. 19: Řez MVE

- 4) Zpevnění a prohloubení koryta pod hlavním jezem k soutoku – Od soutoku odtokového koryta až k patě hlavního jezu bude odbagrována zemina dna na hodnotu nadmořské výšky dna v místě soutoku. Tímto odbagrováním zvýšíme spád jezu o 1,5 metru a tím i

výkon turbíny. Břehy budou zpevněny kamennou navážkou. Zaměření odtokového koryta včetně odbagrované části je znázorněno na v příloze č. 2.

Veškeré měření bylo prováděné pomocí pásma a GPS zařízení a uváděné rozměry odpovídají skutečnosti.

3.2 Návrh konkrétního řešení turbíny a generátoru

3.2.1 Volba turbíny

Díky velkému rozmezí mezi maximálním a minimálním průtokem jsem se rozhodl pro návrh dvoukomorové Bánkiho turbíny od společnosti CINK Hydro – Energy k.s., která dokáže s maximální účinností využít téměř celé spektrum průtoků v dané lokalitě. Společnost CINK Hydro – Energy k.s. označuje tuto turbínu jako systém Ossberger.

Tato turbína má regulační rozsah objemového průtoku vody (hlnost) od 100% navrhované hlnosti do 17% při účinnosti $\eta_T = 80\%$ a do 12% s účinností $\eta_T = 75\%$.

Z hlediska průměrných denních průtoků a regulačního rozsahu jsem se rozhodl použít turbínu o jmenovité hlnosti $Q_{max} = 450$ [l/s] a $Q_{min} = 54$ [l/s], která optimálně pokryje téměř celé spektrum průtoků v dané lokalitě. Podle vzorce pro výkon turbíny jsem určil maximální a minimální výkon turbíny:

$$P_{Tmax} = g \cdot Q_{max} \cdot H \cdot \eta_T \cdot \rho \quad (3.2)$$

$$P_{Tmax} = 9,81 \cdot 0,450 \cdot 4,5 \cdot 0,8 \cdot 1000$$

$$P_{Tmax} = 15,89 \text{ [kW]}$$

$$P_{Tmin} = g \cdot Q_{min} \cdot H \cdot \eta_T \cdot \rho \quad (3.3)$$

$$P_{Tmin} = 9,81 \cdot 0,054 \cdot 4,5 \cdot 0,75 \cdot 1000$$

$$P_{P_{Tmin}} = 1,78 \text{ [kW]}$$

Dle hodnot poskytnutých od společnosti CINK Hydro – Energy k.s. má tato turbína jmenovité otáčky $n_{nT} = 256$ [ot/min].

3.2.2 Volba generátoru

Výkon turbíny bude převáděn na generátor pomocí řemenového převodu s plochým řemenem. Účinnost tohoto převodu je $\eta_p = 98\%$. Po započtení účinnosti řemenového převodu se na generátor dostane maximální mechanický výkon $P_{Gm} = 15,57$ [kW]. Rozhodl jsem se pro použití šestipólového asynchronního generátoru 1LG6186-6AA značky Siemens o nominálním výkonu $P_n = 15$ [kW] při jmenovitém napětí $U_n = 0,4$ [kV]. Jedná se o generátor

se zvýšenou účinností podle IE2, s chlazením IC 01 a krytím IP55. Jmenovité otáčky generátoru jsou $n_{nG} = 1\,025$ [ot/min]. Při různých zatíženích se bude účinnost a účinek generátoru měnit podle následujících údajů:

Zatížení [%]	Účinnost [-]	Účinek [-]
125	0,91	0,87
100	0,92	0,87
75	0,92	0,84
50	0,91	0,71
25	0,86	0,47
15	0,8	0,34

Tabulka č. 2: Účinnost a účinek generátoru při daném zatížení

[11]

Podle údajů o otáčkách generátoru a turbíny jsem zvolil optimální řemenový převod s převodovým poměrem $i = 4$ [-].

3.2.3 Výpočet výkonu MVE

Pomocí údajů o turbíně, generátoru a dat poskytnutých od ČHMÚ jsem vypočítal následující tabulku.

M [dnů]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q[l/s]	901	610	470	381	318	270	230	195	165	136	106	74	49
Q _v [l/s]	852	561	421	332	269	221	181	146	116	87	57	25	0
Q _t [l/s]	450	450	421	332	269	221	181	146	116	87	57	0	0
P _T [kW]	15,89	15,89	14,87	11,72	9,50	7,80	6,39	5,16	4,10	3,07	2,01	0	0
P _G [kW]	14,02	14,02	13,11	10,34	8,38	6,88	5,64	4,55	3,61	2,71	1,78	0	0
E[MWh]	10,09	10,09	9,44	7,45	6,03	4,96	4,06	3,27	2,60	1,95	1,28	0	0
E _{rok} [MWh]	61,23												

Tabulka č. 3: Vypočtené hodnoty pro danou lokalitu

M [dnů] - počet dní, ve kterých je dosažen nebo překročen průměrný denní průtok

Q [l/s] - průměrný denní průtok, který je dosažen nebo překročen během M dní v roce

Q_v [l/s] - průtok, který můžeme použít pro turbínu $Q_v = Q - Q_s$ (3.4)

kde Q_s je povinný sanační průtok

Q_T [l/s] - skutečný průtok turbínou

P_T [kW] - výkon na hřídeli turbíny $P_T = g \cdot Q_T \cdot H \cdot \eta_T \cdot \rho$ (3.5)

P_G [kW] - výkon generátoru v daném období $P_G = P_T \cdot \eta_G \cdot \eta_P$ (3.6)

E [MWh] - energie vyrobená ve sledovaném období $E = P_G \cdot M \cdot t$ (3.7)

kde M je rovno 30 dnům a t je rovno 24 hodinám v každém období

E_{rok} [MWh] - energie vyrobená za rok

3.3 Návrh silnoproudé části MVE

3.3.1 Kompenzace jalového výkonu

Kompenzaci jalového výkonu MVE budu provádět pomocí regulátoru jalového výkonu NOVAR 5. Jedná se o plně automatický pětistupňový regulátor. Jalový výkon generátor kompenzujeme v rozmezí $\cos \varphi = 0,98 - 0,85$.

Výpočet potřebného jalového výkonu pro kompenzaci asynchronního generátoru jsem provedl pro celé spektrum výkonů MVE podle vzorce:

$$Q_c = P \times [tg(\arccos(\cos \varphi_1)) - tg(\arccos(\cos \varphi_2))] \quad (3.8)$$

Q_c - jalový výkon požadovaného kompenzačního kondenzátoru

P - činný výkon generátoru

$\cos \varphi_1$ - aktuální účinník

$\cos \varphi_2$ - účinník, kterého chci dosáhnout ($\cos \varphi = 0,98$ a $0,85$)

P_G [kW]	14,33	14,33	13,41	10,57	8,47	6,96	5,39	4,35	3,45	2,41	1,58
Účinník [-]	0,87	0,87	0,87	0,84	0,84	0,72	0,69	0,58	0,50	0,39	0,34
$Q_{c,0,98}$ [kVAr]	5,21	5,21	4,87	4,68	3,75	5,30	4,56	5,22	5,28	5,20	4,04
$Q_{c,0,85}$ [kVAr]	-0,76	-0,76	-0,35	0,28	0,44	2,40	2,31	3,41	3,84	4,19	3,39
Q_{komp} [kVAr]	5	5	4	4	3	5	4	5	5	5	4

Tabulka č. 4: přehled vypočítaných stupňů kompenzace

Q_{komp} je skutečný jalový výkon, kterým bude prováděna kompenzace v daném rozmezí.

Z výpočtů jalového výkonu pro kompenzaci MVE plyne, že budu potřebovat tři kompenzační kondenzátory. Dva o výkonu $Q = 2$ [kVAr] a jeden o výkonu $Q = 1$ [kVAr]. Tyto kondenzátory budou zapojeny tak, aby tvořily tři kompenzační stupně:

$$Q_1 = 3 \text{ [kVAr]}$$

$$Q_2 = 4 \text{ [kVAr]}$$

$$Q_3 = 5 \text{ [kVAr]}$$

3.3.2 Elektrické schéma

Na Obr. č. 20 je znázorněno základní elektrické schéma MVE, v níž je instalován asynchronní generátor nn, pracující přímo do distribuční sítě nn. Toto zapojení zajistí spolehlivé vyvedení výkonu a napájení vlastní spotřeby jak z generátoru MVE tak i z distribuční sítě nn. Proto jsem se rozhodl pro zapojení na Obr. č. 20.

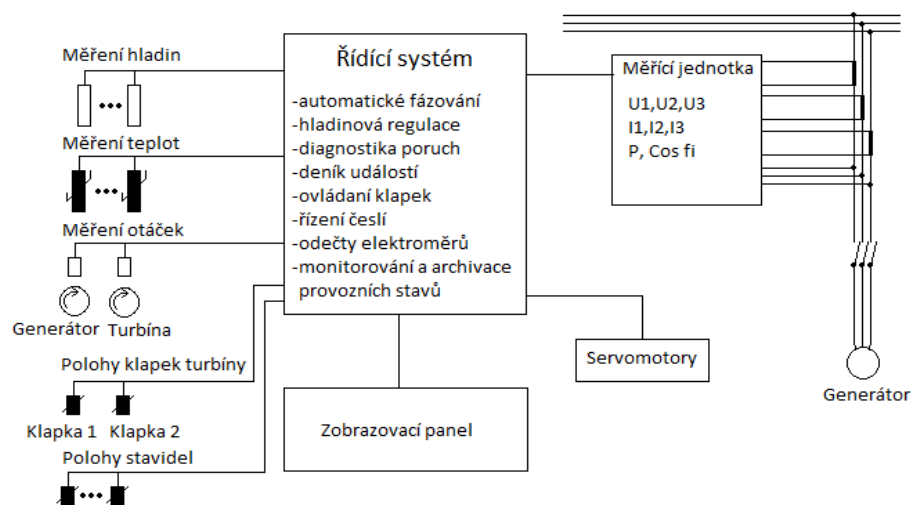
- 4) *Větev vyvedení výkonu* – Zde je instalováno měření vyrobené a spotřebované elektrické energie a hlavní jističe celé MVE FU3. Dále je elektrická energie přivedena na hlavní rozvaděč 0,4kV.

Připojení MVE do distribuční soustavy:

Dle katastrální mapy na Obr. č. 14 je patrné vyvedení výkonu MVE pomocí stávajícího venkovního vedení 0,4kV do distribučního transformátoru 0,4/22kV společnosti ČEZ Distribuce a.s. Toto vedení má délku 100 metrů a dostatečnou kapacitu na přenesení potřebného výkonu MVE.

3.3.3 Řídicí systém MVE

O řízení MVE se bude starat řídicí systém SIMATIC S7 v konfiguraci 1/0 od firmy SIEMENS. Tento systém je součástí dodávky od firmy CINK Hydro – Energy k.s.. Jedná se o plně automatický systém řízení MVE s občasným dozorem a možností manuální regulace. Regulace průtoku vody turbínou bude zajištěna pomocí regulačních klapek, které jsou součástí dvoukomorové turbíny. Komory jsou rozděleny v poměru 1/3 ku 2/3 pro maximální regulaci průtoku od 12% do 100%. Regulační klapky jsou na sobě nezávislé a budou automaticky ovládány pomocí servopohonů na základě neměřené hladiny. O nouzové odstavení v případě ztráty napětí či jiných závad se stará nouzové gravitační závaží umístěné na ocelových ramenech klapek, kde jsou rovněž umístěny ovládací servopohony. O najetí soustrojí MVE a připojení na síť či případné odstavení soustrojí v případě identifikace poruchy se stará automatický řídicí systém. Tento systém se také stará o automatické ovládání stavidel na základě naměřené hladiny a stavu MVE. Orientační schéma automatického řídicího systému je znázorněno na Obr. č. 21.



Obr. č. 21: Obecné schéma řídicího systému MVE

4 Zhodnocení návrhu MVE

4.1 Náklady na stavbu MVE.

Dle vypracovaných projektů jsem stanovil přibližné množství prací potřebných k výstavbě MVE a podle zdroje [7], jsem určil přibližné ceny prací, které zahrnují jak práci, tak i materiál. (Ceny jsou uvedeny včetně DPH.)

Stavební práce	Výkopové práce [m3]	Betonáž včetně železa [m3]	Opravy současné výstavby [m2]	Kamenná navážka [m3]
Cena za jednotku	600,00 Kč	6 000,00 Kč	1 500,00 Kč	500,00 Kč
Odlehčovací objekt	8	10	15	0
Rybí přechod	2	3	0	0
Náhon	10	8	50	20
Objekt MVE	5	41	29	0
Odtok	130	3	0	32
Cena	93 000,00 Kč	390 000,00 Kč	141 000,00 Kč	26 000,00 Kč
Cena celkem	650 000,00 Kč			

Tabulka č. 5: Cena stavebních úprav

Dále jsem určil celkové náklady na realizaci MVE, které jsem přibližně určil podle zdroje [5] a [7]. (Ceny jsou uvedeny včetně DPH.)

položka	cena
Stavební práce	650 000,00 Kč
Česle	20 000,00 Kč
Odpuzovač ryb	10 000,00 Kč
Stavidla s el. pohonem - 4 kusy	40 000,00 Kč
Kabeláž a vyvedení výkonu	100 000,00 Kč
Turbína na klíč + veškeré vybavení MVE (turbína s příslušenstvím, spojka, řemenový převod, generátor, řídicí systém, rozvaděč, dokumentace)	1 620 000,00 Kč
Instalace zařízení	100 000,00 Kč
Geodetické zaměření	10 000,00 Kč
Cena projektu	50 000,00 Kč
Cena MVE celkem	2 600 000,00 Kč

Tabulka č. 6: Celkové náklady

4.2 Zhodnocení režimu výkupních cen a zeleného bonusu na elektřinu

Výkupní ceny jsou stanoveny jako minimální ceny pro každý rok. Roční a hodinové zelené bonusy na elektřinu jsou stanoveny pro dané časové období jako pevné hodnoty. V rámci jedné výroby elektřiny nelze kombinovat režim výkupních cen a režim zelených bonusů za elektřinu.

V případě režimu výkupních cen se prodá vyrobená elektřina po odečtu elektřiny do vlastní spotřeby distributorovi, který je povinen ji odebrat a to za cenu platnou v době připojení MVE.

V případě zeleného bonusu je zaplácena veškerá vyrobená elektřina a to za cenu platnou v době připojení MVE. Vyrobená elektřina může být buď celá spotřebována, nebo nespoteřbované přebytky volně prodány distributorovi elektrické energie, kdy nad rámec zeleného bonusu je obdržena smluvená tržní cena cca 0,65 Kč/kWh. Tato částka je přičtena k zelenému bonusu a není zde přítom stanovena hranice, kolik energie musí být spotřebováno a kolik jí může být prodáno distributorovi.

Přehled výkupních cen a zelených bonusů je uveden na Obr. č. 22.

ř./sl.	Druh podporovaného zdroje (výroby)	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování			
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Výkupní ceny [Kč/MWh]		Zelené bonusy [Kč/MWh]	
						VT	NT	VT	NT
a	b	c	j	k	l	m	n	o	
100	Malá vodní elektrárna	-	31.12.2004	1 949	949	2 700	1 574	1 290	779
101		1.1.2005	31.12.2013	2 499	1 499	3 470	2 014	2 060	1 219
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31.12.2013	2 499	1 499	3 470	2 014	2 060	1 219
120	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	2 775	1 775	3 800	2 263	2 390	1 468
121		1.1.2008	31.12.2009	2 938	1 938	3 800	2 507	2 390	1 712
122		1.1.2010	31.12.2010	3 193	2 193	3 800	2 890	2 390	2 095
123		1.1.2011	31.12.2011	3 122	2 122	3 800	2 783	2 390	1 988
124		1.1.2012	31.12.2012	3 254	2 254	3 800	2 981	2 390	2 186
125		1.1.2013	31.12.2013	3 230	2 230	3 800	2 945	2 390	2 150

Obr. č. 22: Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro malé vodní elektrárny

Ceny uvedené na Obr. č. 22 nezahrnují daň z přidané hodnoty. K uvedeným cenám je připočítávána daň z přidané hodnoty podle Zákon č. 235/2004 Sb., o dani z přidané hodnoty. Z tabulky výkupních cen a z vypočtené průměrné roční výroby MVE jsem určil následující Tabulku č.7.

	Režim výkupní ceny	Režim zeleného bonusu
Vlastní spotřeba za rok [MWh]	0,91	0,91
Vyrobená energie za rok [MWh]	61,37	61,37
Cena za [MWh] bez DPH	3 230,00 Kč	2 230,00 Kč
Daň z přidané hodnoty	21,00 %	21,00 %
Cena za [MWh] s DPH	3 908,30 Kč	2 698,30 Kč
Tržní cena nespoteřbované energie [MWh]		650,00 Kč
Hrubý roční příjem MVE	236 301,43 Kč	204 898,48 Kč

Tabulka č. 7: Hrubý roční příjem v porovnání režimu výkupních cen a zeleného bonusu

Z Tabulky č. 7 je patrné, že pro MVE se vyplatí režim výkupních cen.

4.3 Ekonomické zhodnocení návrhu MVE

Pro účely ekonomického zhodnocení návrhu MVE jsem se po zhodnocení možných alternativ podnikání v ČR rozhodl podle zákona č. 455/1991 Sb. O živnostenském podnikání být OSVČ vedlejší podnikající podle zvláštních předpisů, která je plátcem DPH a tím i plátcem daně z příjmů fyzických osob. To znamená, že hlavním zdrojem příjmů je zaměstnání a příjem z MVE je příjmem vedlejším. Díky tomu v daňovém přiznání k dani z přidané hodnoty uplatním nárok na vrácení DPH z celkových nákladů na výstavbu MVE. Výstavbu MVE budu financovat z vlastních zdrojů bez použití úvěru. Díky těmto poznatkům jsem vytvořil Tabulku č. 8 se vstupními údaji.

Náklady na výstavbu MVE s daní	2 600 000,00 Kč
Náklady na výstavbu MVE bez daně	2 054 000,00 Kč
Sazba DPH	21,00 %
DPH	546 000,00 Kč
Sazba daně z příjmu fyzických osob	15,00 %
Hrubý roční příjem MVE	238 099,24 Kč
Čistý roční příjem MVE po odvedení DPH	196 776,24 Kč
Roční náklady na provoz MVE	5 000,00 Kč
Roční zvyšování nákladů na provoz MVE	2,00 %

Tabulka č. 8: Vstupní údaje pro zhodnocení návrhu

Podle zákona č. 586/1992 Sb. O dani z příjmu MVE spadá do páté odpisové skupiny, která se odepisuje po dobu 30 let, přičemž si mohu zvolit režim rovnoměrného nebo zrychleného odpisování nákladů spojeného s výstavbou MVE. Z důvodu rychlejší návratnosti jsem zvolil režim zrychlených odpisů, který mi umožní v prvních letech placení nižší daně z příjmu.

Příklady výpočtů:

1) Odpisy

$$\text{v prvním roce: } O = \frac{VC}{S_1} \text{ [Kč/rok]} \quad (4.1)$$

$$\text{v dalších letech: } O = \frac{2 \cdot ZC}{S-n} \text{ [Kč/rok]} \quad (4.2)$$

VC – vstupní cena, ZC – zůstatková cena

S_1 – koeficient v prvním roce odepisování $S_1 = 30$ [-]

S – koeficient v dalších letech odepisování $S = 31$ [-]

n – počet let, po které byl již majetek odepisován

2) Hrubý zisk je základ pro výpočet daně z příjmu.

$$Z_h = P_\xi - N - O \text{ [Kč/rok]} \quad (4.3)$$

P_ξ – čistý příjem, N – roční náklady

3) Daň z příjmu

$$D = \frac{z_h \cdot d}{100} \text{ [Kč/rok]} \quad (4.4)$$

d – daň z příjmu fyzických osob d = 15 [%]

4) Tok hotovosti vyjadřuje hotovostní příjem po odpočtu daně a výdajů na údržbu

$$T_h = P_{\check{c}} - N - D \text{ [Kč/rok]} \quad (4.5)$$

5) Kumulativní tok hotovosti vyjadřuje umořování dluhu v jednotlivých letech

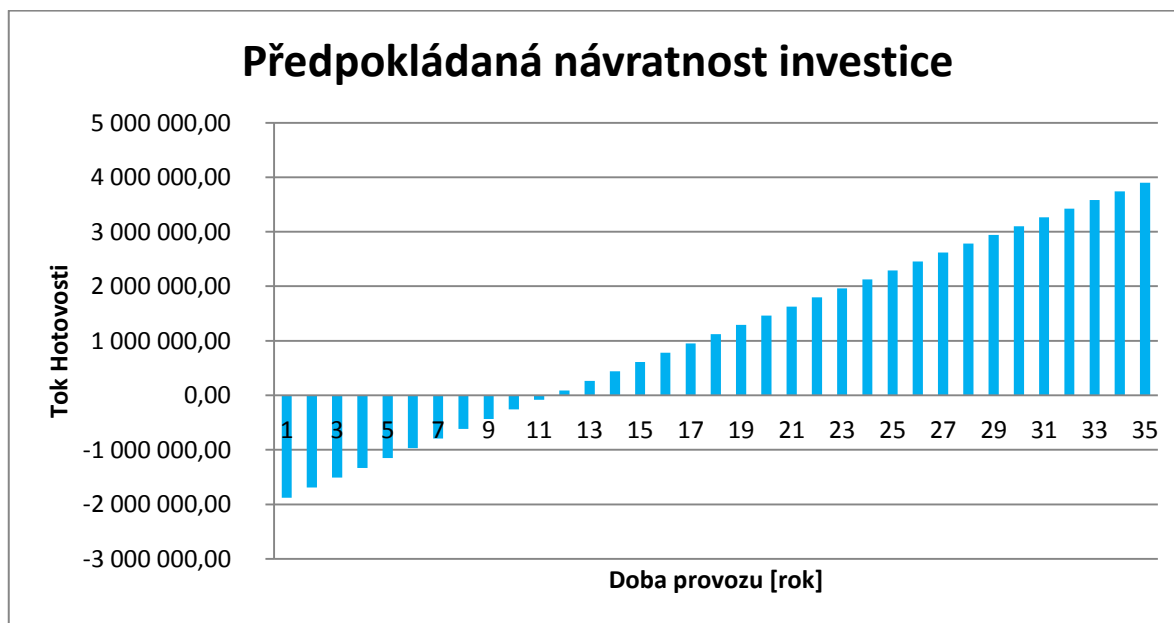
$$KT_{h1} = -VC + T_{h1} \text{ [Kč/rok]} \quad (4.6)$$

Z Tabulky č. 9 jsou patrné veškeré příjmy a výdaje za každý rok provozu MVE.

Rok	Čistý příjem MVE [Kč/rok]	Náklady na údržbu MVE [Kč/rok]	Zrychlené odpisy [Kč/rok]	Hrubý zisk [Kč/rok]	Daň z příjmu [Kč/rok]	Tok hotovosti [Kč/rok]	Kumulativní tok hotovosti [Kč/rok]
1	196 776,24	5 000,00	68 466,67	123 309,57	18 496,44	173 279,80	-1 880 720,20
2	196 776,24	5 100,00	132 368,89	59 307,35	8 896,10	182 780,13	-1 697 940,07
3	196 776,24	5 202,00	127 804,44	63 769,79	9 565,47	182 008,77	-1 515 931,30
4	196 776,24	5 306,04	123 240,00	68 230,20	10 234,53	181 235,67	-1 334 695,63
5	196 776,24	5 412,16	118 675,56	72 688,52	10 903,28	180 460,80	-1 154 234,84
6	196 776,24	5 520,40	114 111,11	77 144,72	11 571,71	179 684,12	-974 550,71
7	196 776,24	5 630,81	109 546,67	81 598,76	12 239,81	178 905,61	-795 645,10
8	196 776,24	5 743,43	104 982,22	86 050,58	12 907,59	178 125,22	-617 519,88
9	196 776,24	5 858,30	100 417,78	90 500,16	13 575,02	177 342,91	-440 176,97
10	196 776,24	5 975,46	95 853,33	94 947,44	14 242,12	176 558,66	-263 618,31
11	196 776,24	6 094,97	91 288,89	99 392,37	14 908,86	175 772,41	-87 845,91
12	196 776,24	6 216,87	86 724,44	103 834,92	15 575,24	174 984,13	87 138,22
13	196 776,24	6 341,21	82 160,00	108 275,03	16 241,25	174 193,77	261 331,99
14	196 776,24	6 468,03	77 595,56	112 712,65	16 906,90	173 401,31	434 733,30
15	196 776,24	6 597,39	73 031,11	117 147,73	17 572,16	172 606,68	607 339,98
16	196 776,24	6 729,34	68 466,67	121 580,23	18 237,03	171 809,86	779 149,84
17	196 776,24	6 863,93	63 902,22	126 010,08	18 901,51	171 010,79	950 160,63
18	196 776,24	7 001,21	59 337,78	130 437,25	19 565,59	170 209,44	1 120 370,07
19	196 776,24	7 141,23	54 773,33	134 861,67	20 229,25	169 405,75	1 289 775,83
20	196 776,24	7 284,06	50 208,89	139 283,29	20 892,49	168 599,69	1 458 375,51
21	196 776,24	7 429,74	45 644,44	143 702,05	21 555,31	167 791,19	1 626 166,70
22	196 776,24	7 578,33	41 080,00	148 117,90	22 217,69	166 980,22	1 793 146,92
23	196 776,24	7 729,90	36 515,56	152 530,78	22 879,62	166 166,72	1 959 313,64
24	196 776,24	7 884,50	31 951,11	156 940,63	23 541,09	165 350,64	2 124 664,29
25	196 776,24	8 042,19	27 386,67	161 347,38	24 202,11	164 531,94	2 289 196,23
26	196 776,24	8 203,03	22 822,22	165 750,98	24 862,65	163 710,56	2 452 906,79
27	196 776,24	8 367,09	18 257,78	170 151,37	25 522,71	162 886,44	2 615 793,22
28	196 776,24	8 534,43	13 693,33	174 548,47	26 182,27	162 059,53	2 777 852,76
29	196 776,24	8 705,12	9 128,89	178 942,23	26 841,33	161 229,78	2 939 082,54
30	196 776,24	8 879,22	4 564,44	183 332,57	27 499,89	160 397,13	3 099 479,66
31	196 776,24	9 056,81	0,00	187 719,43	28 157,91	159 561,51	3 259 041,18
32	196 776,24	9 237,94	0,00	187 538,29	28 130,74	159 407,55	3 418 448,73
33	196 776,24	9 422,70	0,00	187 353,53	28 103,03	159 250,50	3 577 699,23
34	196 776,24	9 611,16	0,00	187 165,08	28 074,76	159 090,32	3 736 789,54
35	196 776,24	9 803,38	0,00	186 972,86	28 045,93	158 926,93	3 895 716,47

Tabulka č. 9: Hodnocení efektivnosti investice

Z kumulativního toku hotovosti jsem zjistil předpokládanou návratnost investice . Pro lepší přehlednost jsem sestrojil graf předpokládané návratnosti, ze kterého je patrna návratnost cca 12 let. (viz. Obr. č. 23)



Obr. č. 23: Předpokládaná návratnost investice

4.4 Environmentální posouzení návrhu MVE

Výrazným zásahem do lokality bude prohloubení spodního koryta náhonu od paty jezu po soutok řeky Zubřiny se Zahořanským potokem. Tento zásah však trvale nepoškodí ekosystém lokality. Po dostavbě MVE nebude nic bránit vrácení vodních živočichů do spodní části náhonu. Při zpevnění této části bude použito pouze kamenné navážky a to jak na dno tak i částečně na břehy. Po obvodu náhonu budou vysazeny stromy pro zpevnění břehů. Dalším zásahem bude zpevnění horní části náhonu a instalace elektrického odpuzovače ryb před vstupem do náhonu, aby nedocházelo k vplutí menších ryb přes jemné česle do turbíny. Zpevnění břehu bude opět částečně prováděno pomocí kamenné navážky. Dno však bude zpevněno desetimetrovou vrstvou betonu, aby nedocházelo k usazování nečistot.

Při výstavbě MVE dojde i k výstavbě rybího přechodu před náhonem do turbíny. Tento rybí přechod umožní migraci ryb přes odlehčovací stoku do Zahořanského potoka a poté dále zpět do řeky Zubřiny. Migrace ryb dosud v lokalitě nebyla možná kvůli absenci rybího přechodu a vysokým jezům.

Při výstavbě dojde k vyčištění lokality od nanesených usazenin a k zušlechtění lokality, která je doposud v neudržovaném stavu. Z environmentálního hlediska bude mít výstavba MVE příznivý vliv na lokalitu radonického mlýna.

5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout řešení MVE na řece Zubřině v lokalitě radonického mlýna. Výhodou této lokality je, že v minulosti tu byla provozována Francisova turbína pro pohon mlýna a pily. Bohužel strojovna ani turbína se do dnešní doby nezachovaly, ale jsou zde vybudované jezy a upravené řečiště, které budou po rekonstrukci vhodné pro umístění MVE. Lokalita je tudíž velmi perspektivní pro výstavbu vodního díla.

V návrhu MVE jsem se zaměřil především na stavební úpravy lokality, pro co nejlepší využití hydroenergetického potenciálu toku a na návrh konkrétního řešení strojní a elektrické části. Po zhodnocení energetického potenciálu lokality jsem navrhl použití Bánkiho turbíny a asynchronního generátoru o nominálním výkonu $P_N = 15$ [kW]. Elektrárna bude osazena automatickým řídicím systémem, který zajistí bezobslužný provoz s občasným dozorem. Dále bude v lokalitě postaven rybí přechod pro bezproblémovou migraci ryb a před vtokem do náhonu bude instalován elektrický odpuzovač ryb, aby nedocházelo k vplutí menších ryb do turbíny.

Pro zjištění investičních nákladů na výstavbu jsem si nechal zhotovit cenovou nabídku od firmy CINK Hydro-Energy k.s., která zahrnuje cenu turbíny s příslušenstvím, řemenového převodu, generátoru, řídicího systému, doprovodné dokumentace a supervize při montáži. Cena za tuto dodávku včetně DPH je 1 620 000 Kč. Dále jsem určil z vypracovaných projektů potřebné množství prací při výstavbě a pomocí ceníku prací jsem přibližně vyčíslil cenu stavebních prací včetně materiálu a DPH na 650 000 Kč. Po připočtení dalších nákladů spojených s výstavbou, instalováním zařízení a vybavením lokality jsem se dostal na částku 2 600 000 Kč včetně DPH. Celková návratnost projektu podle ekonomické analýzy je 12 let. V ekonomické návratnosti a v určování výkonu elektrárny za kalendářní rok jsem počítal se zprůměrovanými hodnotami průtoků za předchozích 49 let, které mi na žádost poskytl ČHMÚ. V ekonomické návratnosti je předpokládáno, že za dobu 12 let nedojde k žádné větší poruše zařízení. Při nepříznivém stavu by se návratnost vlivem poruch nebo menších říčních průtoků mohla prodloužit o 2 až 3 roky.

Výkupní ceny energie z vodních elektráren navíc stále zaostávají za výkupními cenami ze slunečních elektráren a z jiných obnovitelných zdrojů. Energie z MVE je stabilní zdroj s jistými příjmy v dlouhém časovém horizontu. Stále se navíc jedná o nejefektivnější obnovitelný zdroj energie disponující takřka bezporuchovým provozem a šetrností k životnímu prostředí.

Použitá literatura

- [1] GABRIEL Pavel, ČIHÁK František a KALANDRA Petr. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. Praha: ČVUT, 1998. Str. 321. ISBN 80-01-01812-1
- [2] MELICHAR Jan, VOJTEK Jan a BLÁHA Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. Praha: ČVUT, 1998. Str.299. ISBN 80-01-01808-0
- [3] ŠKROPIL Jan a KASÁRNÍK Milan. *Obnovitelné zdroje energie I. Vodní elektrárny*. Vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009. Str. 126. ISBN 978-80-7082-675-1
- [4] Na žádost poskytnutá data od Českého hydrometeorologického ústavu
- [5] Na žádost poskytnutá data od *CINK Hydro – Energy k.s.*

Internetové zdroje

- [6] *Abeceda malých vodních pohonů*. [online] [cit. 2013-1-22] Dostupný z WWW: <<http://mve.energetika.cz>>
- [7] *Ceník prací*. [online] [cit. 2013-3-24] Dostupný z WWW: <<http://www.cenik-praci.cz>>
- [8] *CINK Hydro – Energy k.s.*. [online] [cit. 2012-11-25] Dostupný z WWW: <<http://www.cink-hydro-energy.com/cz/turbiny-ossberger>>
- [9] *Energetický regulační úřad*. [online] [cit. 2012-11-20] Dostupný z WWW: <http://eru.cz/user_data/files/licence/info_o_drzitelich/OZE/12_01_VE.pdf>
- [10] *Energetický regulační věstník*. [online] [cit. 2013-3-27] Dostupný z WWW: <http://www.spvez.cz/pages/CR_c.4-2012_pro_2013_2012.pdf>
- [11] *Vlastimil Moravec Elektromotory*. [online] [cit. 2013-3-15] Dostupný z WWW: <<http://www.elektromotory.net/siemens/1le1-1000-otacek/1lg6-183-2ma60-1-2.html>>

Seznam Obrázků

OBR. Č. 1: POTENCIÁLNÍ VÝKON ELEMENTÁRNÍHO ÚSEKU VODNÍHO TOKU	10
<i>Zdroj: [1]</i>	
OBR. Č. 2: VODNÍ KOLA NA VRCHNÍ A SPODNÍ VODU.....	13
<i>Zdroj: Lesopark Příbram [online] [cit. 2013-2-10] Dostupný z WWW:</i>	
<i><http://www.lesopark.pribram.eu/images/lado/velke/lopatnik-korecnik.jpg></i>	
OBR. Č. 3: PŘÍKLADY PRŮTOKU VODY OBĚŽNÝM KOLEM	14
<i>Zdroj: [2] strana: 51</i>	
OBR. Č. 4: FRANCISOVA TURBÍNA	15
<i>Zdroj: wikipedie [online] [cit. 2013-2-10] Dostupný z WWW:</i>	
<i><http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5f/M_vs_francis_schnitt_1_zoom.jpg></i>	
OBR. Č. 5: KAPLANOVA TURBÍNA	16
<i>Zdroj: vodní turbíny [online] [cit. 2013-2-10] Dostupný z WWW:</i>	
<i><http://www.vodniturbiny.cz/index.php?linkid=08></i>	
OBR. Č. 6: PELTONOVA TURBÍNA	17
<i>Zdroj: hydroelectric [online] [cit. 2013-2-15] Dostupný z WWW:</i>	
<i><http://www.hydroelectric.cz/hy-peltonova-cz.php></i>	
OBR. Č. 7: BÁNKIHO TURBÍNA.....	18
<i>Zdroj: CINK Hydro – Energy k.s [online] [cit. 2013-2-15] Dostupný z WWW:</i>	
<i><http://www.cink-hydro-energy.com/cz/turbiny-ossberger></i>	
OBR. Č. 8: ROZDĚLENÍ PRŮTOKU BÁNKIHO TURBÍNOU	18
<i>Zdroj: CINK Hydro – Energy k.s [online] [cit. 2013-2-15] Dostupný z WWW:</i>	
<i><http://www.cink-hydro-energy.com/cz/turbiny-ossberger></i>	
OBR. Č. 9: ROZSAH POUŽITÍ ZÁKLADNÍCH DRUHŮ TURBÍN	19
<i>Zdroj: Abeceda malých vodních pohonů [online] [cit. 2013-3-27] Dostupný z WWW:</i>	
<i><http://mve.energetika.cz/vodnimotory/turbiny-obecne.htm></i>	
OBR. Č. 10: DISPOZICE LOKALITY RADONICKÝ MLÝN	20
<i>Zdroj: <www.mapy.cz> a vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 11: HLAVNÍ JEZ SOUČASNÝ STAV	21
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 12: ODLEHČOVACÍ JEZ SOUČASNÝ STAV	21
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 13: PRŮMĚRNÉ DENNÍ PRŮTOKY.....	22
<i>Zdroj: [4]</i>	
OBR. Č. 14: NÁKRES DO KATASTRÁLNÍ MAPY	23
<i>Zdroj:< www.ikatastr.cz> + vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 15: PŮDORYS ODLEHČOVACÍHO OBJEKTU	24
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	

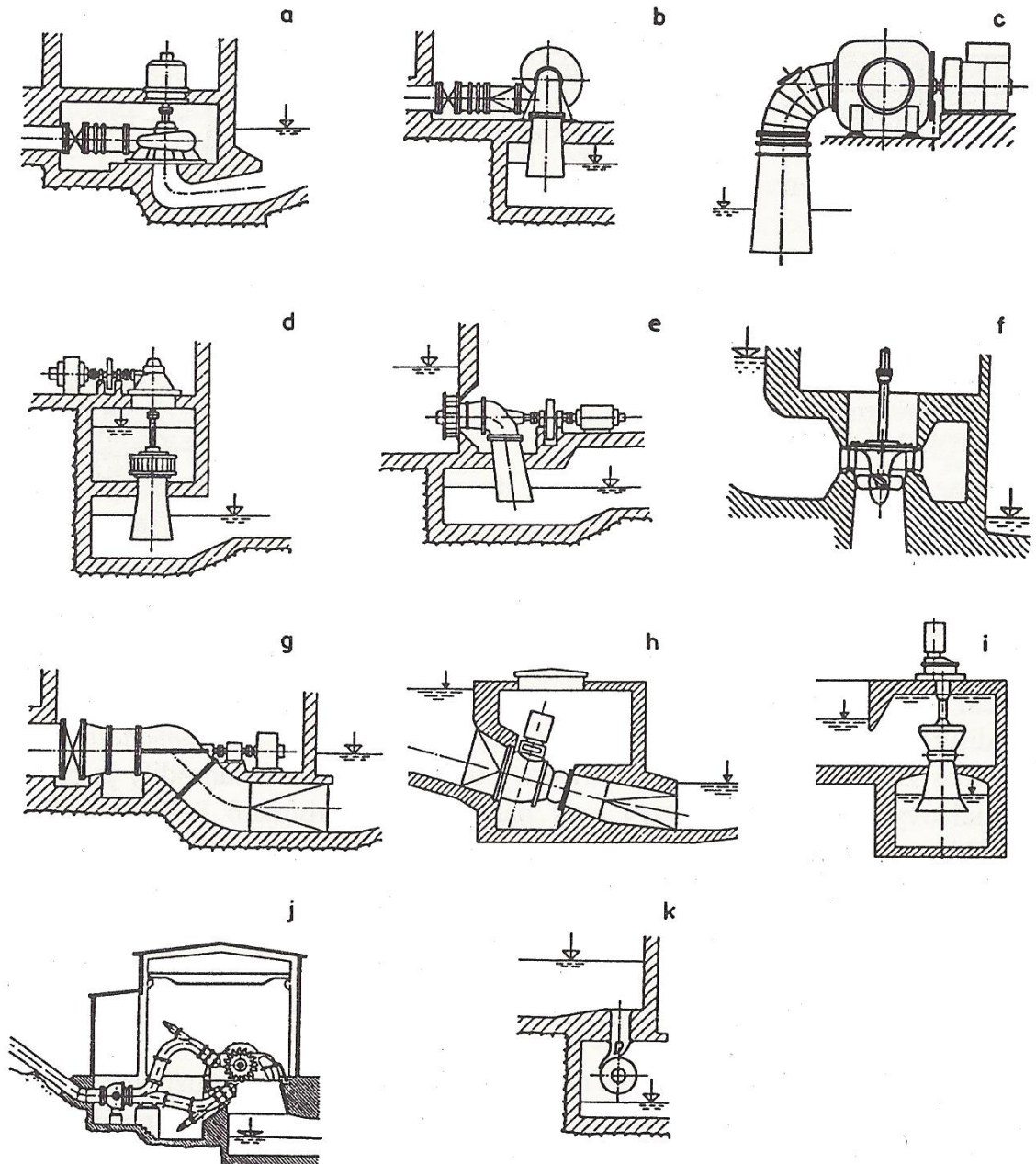
OBR. Č. 16: ŘEZ ODLEHČOVACÍHO OBJEKTU	25
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 17: ŘEZ RYBÍHO PŘECHODU	25
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 18: PŮDORYS MVE.....	26
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 19: ŘEZ MVE.....	26
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 20 : JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA MVE	30
<i>Zdroj: [1]</i>	
OBR. Č. 21: OBECNÉ SCHÉMA ŘÍDÍCÍHO SYSTÉMU MVE	31
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 22: VÝKUPNÍ CENY A ROČNÍ ZELENÉ BONUSY NA ELEKTRINU PRO MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY	33
<i>Zdroj: [10]</i>	
OBR. Č. 23: PŘEDPOKLÁDANÁ NÁVRATNOST INVESTICE.....	36
<i>Zdroj: vlastní zpracování</i>	
OBR. Č. 24: ZPŮSOBY ULOŽENÍ TURBÍN A DRUHY PŘÍVODU VODY K TURBÍNÁM.....	41
<i>Zdroj: [2] strana: 188.</i>	
OBR. Č. 25:ZNÁZORNĚNÍ ODBAGROVÁNÍ SPODNÍHO KORYTA ŘEKY	42
<i>Zdroj: Vlastní měření</i>	

Seznam Tabulek

TABULKA Č. 1 : HRUBÁ VÝROBA ELEKTRINY A CELKOVÝ INSTALOVANÝ VÝKON VE ZA ROK 2010	20
<i>Zdroj: ERÚ (upraveno MPO)</i>	
TABULKA Č. 2: ÚČINNOST A ÚČINÍK GENERÁTORU PŘI DANÉM ZATÍŽENÍ	28
<i>Zdroj: [11]</i>	
TABULKA Č. 3: VYPOČTENÉ HODNOTY PRO DANOU LOKALITU	28
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
TABULKA Č. 4: PŘEHLED VYPOČÍTANÝCH STUPŇŮ KOMPENZACE	29
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
TABULKA Č. 5: CENA STAVEBNÍCH ÚPRAV	32
<i>Zdroj: [7] a vlastní zpracování</i>	
TABULKA Č. 6: CELKOVÉ NÁKLADY	32
<i>Zdroj: [5],[7] a vlastní zpracování</i>	
TABULKA Č. 7: HRUBÝ ROČNÍ PŘÍJEM V POROVNÁNÍ REŽIMU VÝKUPNÍCH CEN A ZELENÉHO BONUSU	33
<i>Zdroj: Vlastní zpracování a [10]</i>	
TABULKA Č. 8: VSTUPNÍ ÚDAJE PRO ZHODNOCENÍ NÁVRHU	34
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	
TABULKA Č. 9: HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE	35
<i>Zdroj: Vlastní zpracování</i>	

Přílohy

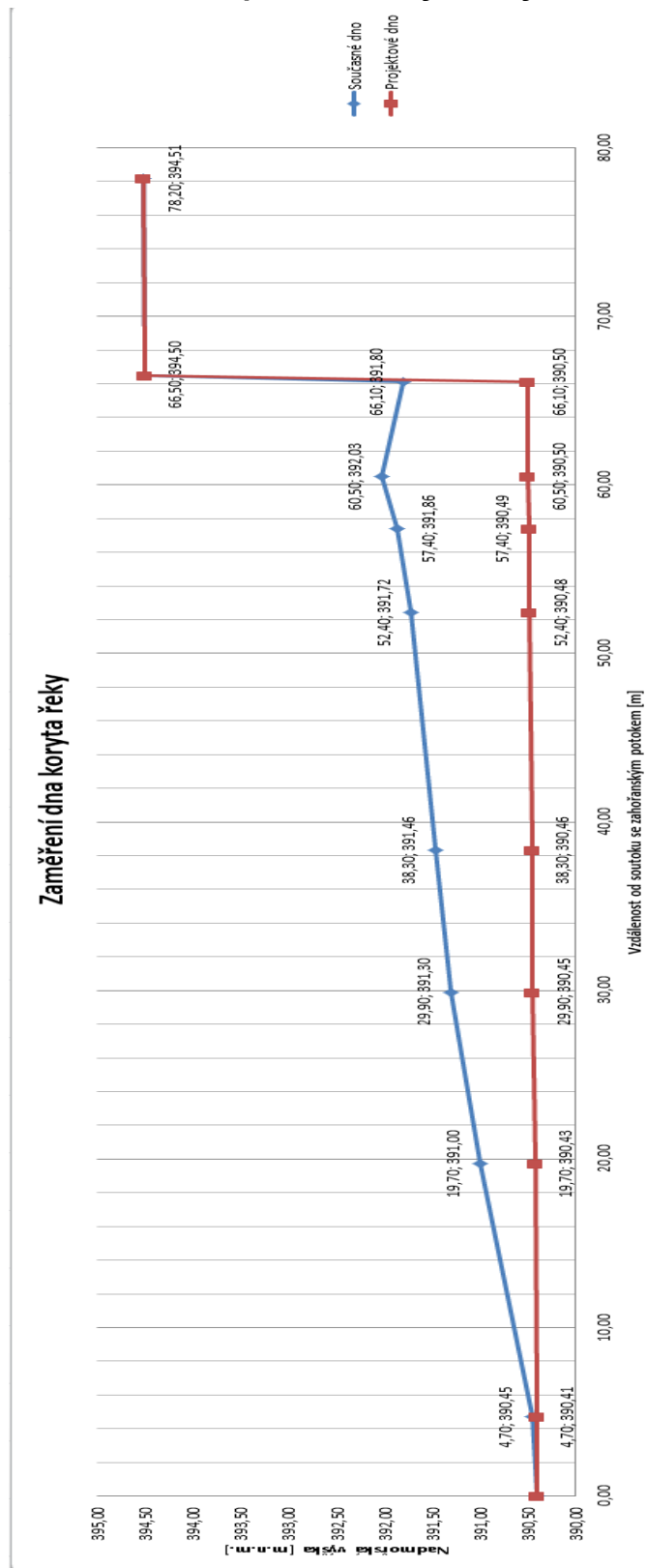
Příloha č. 1 – Způsoby uložení vodních turbín a přívod vody k turbínám.



a - vertikální spirálová, b - horizontální spirálová, c - horizontální kotlová, d - vertikální kašnová,
 e - horizontální kašnová, f - vertikální s betonovou spirálou, g, h, i - přímotoká,
 j - horizontální se dvěma dýzami, k - s dvojnásobným průtokem

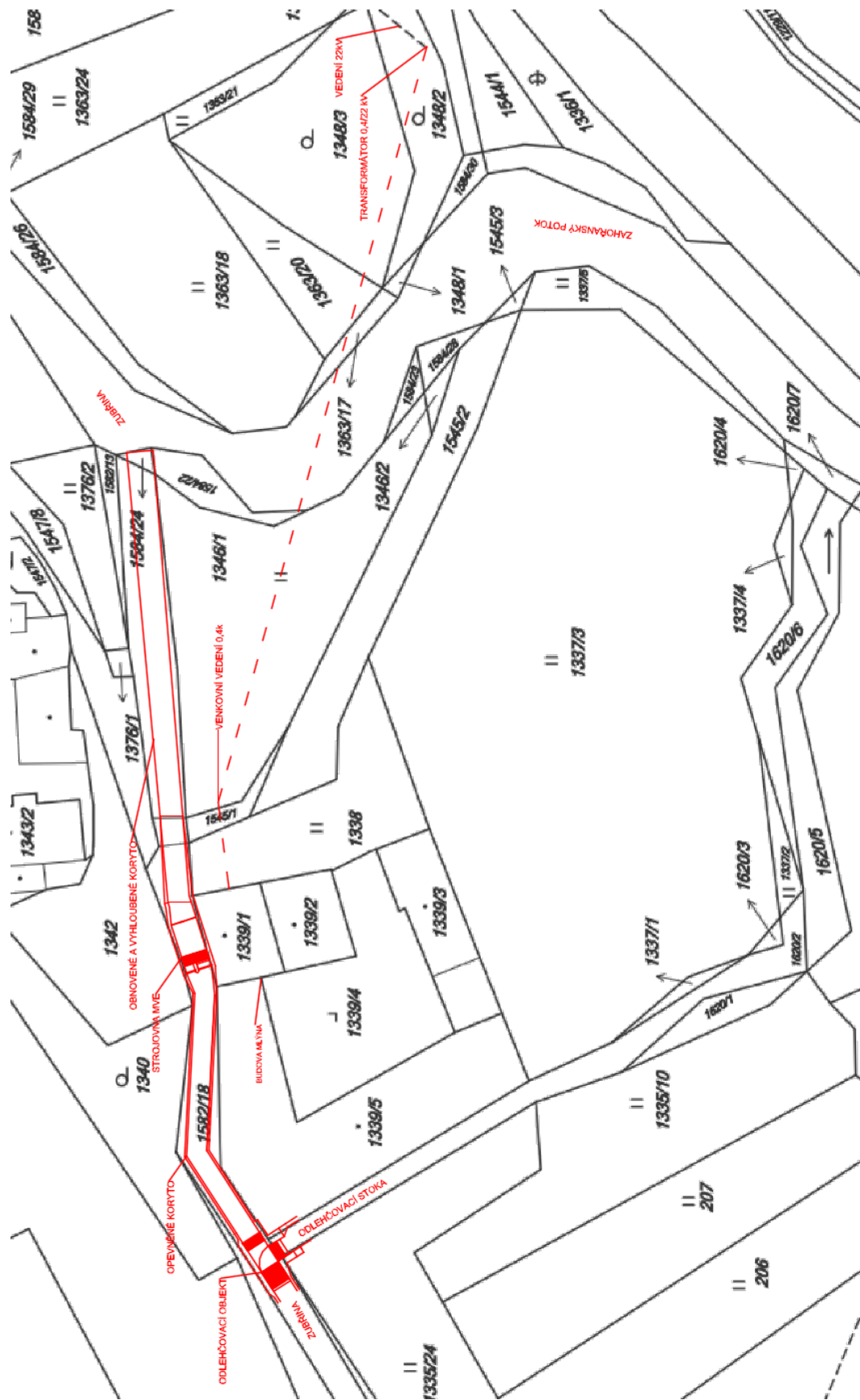
Obr. č. 24: Způsoby uložení turbín a druhy přívodu vody k turbínám

Příloha č. 2 – Výškové zaměření spodního koryta řeky

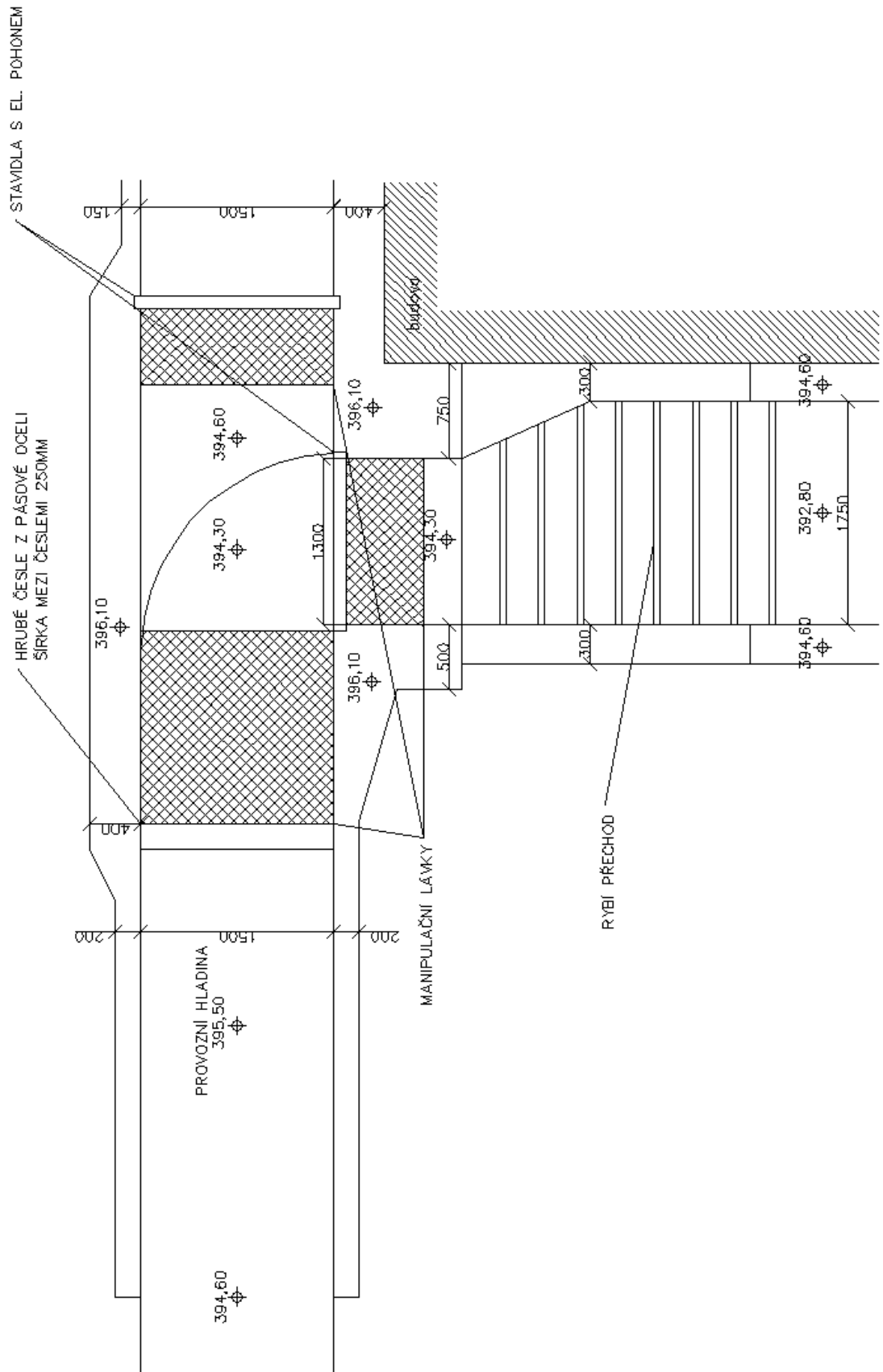


Obr. č. 25: Znárodnění odbagrování spodního koryta řeky

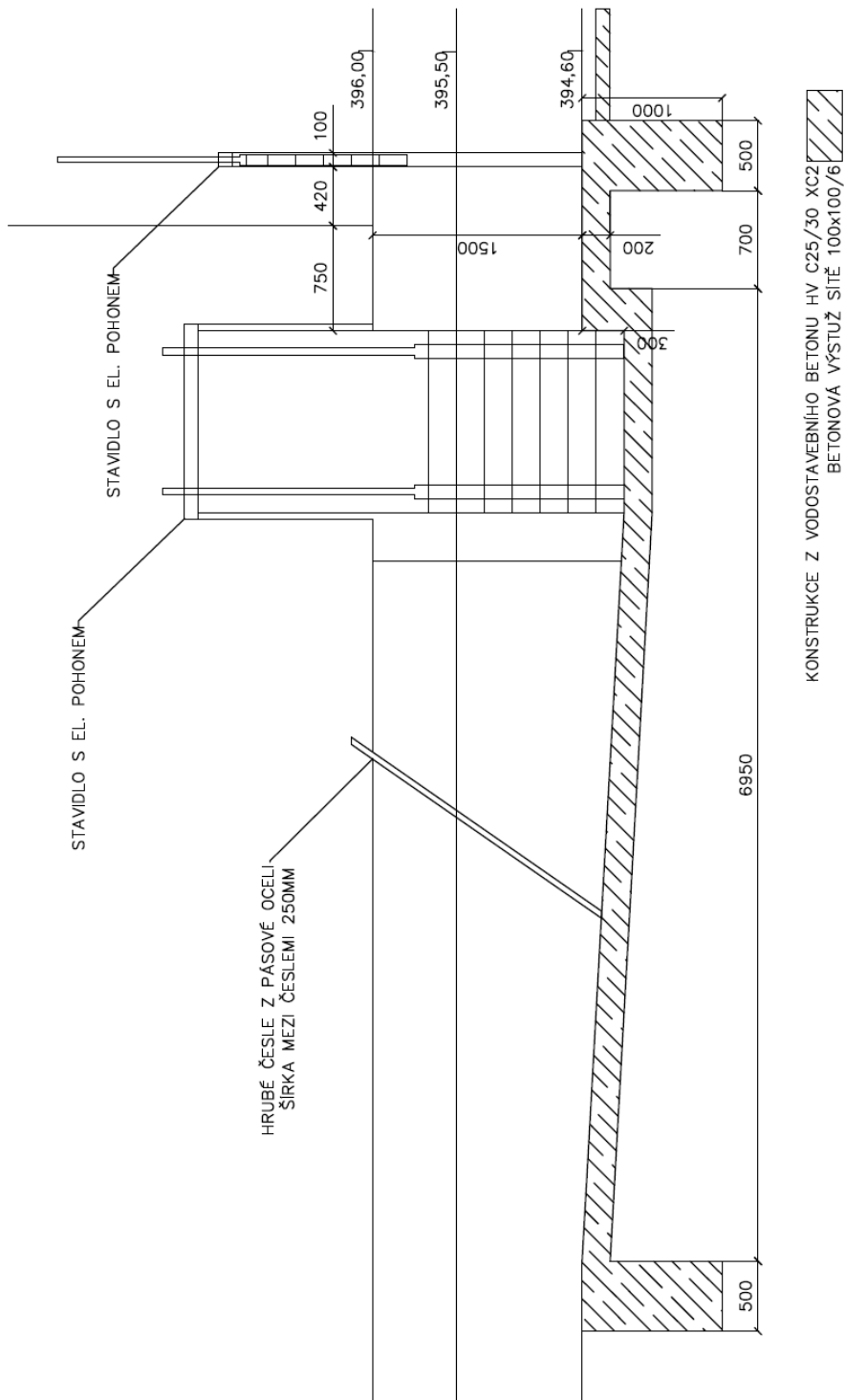
Příloha č. 3 – Obr. č. 14 - 19



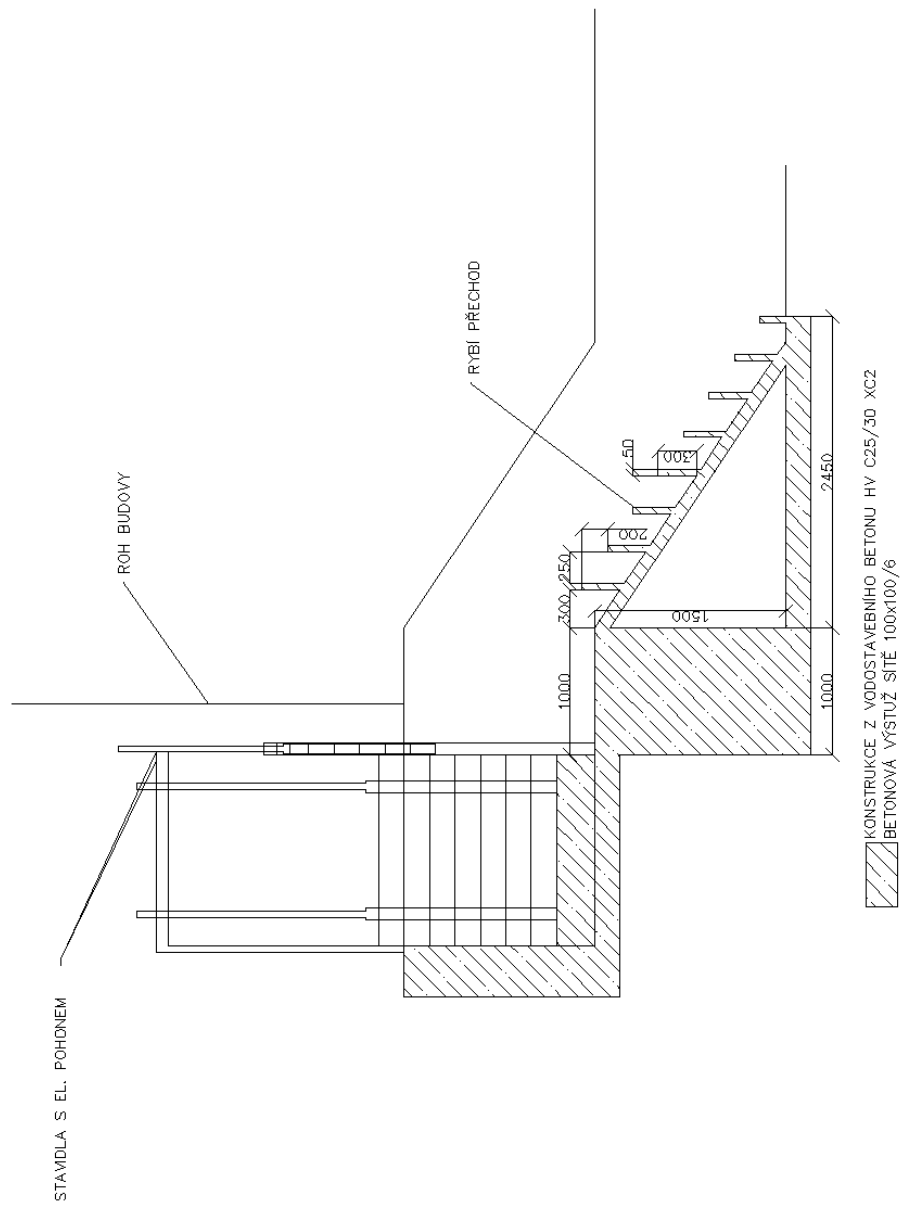
Obr. č. 14: Nákres do katastrální mapy



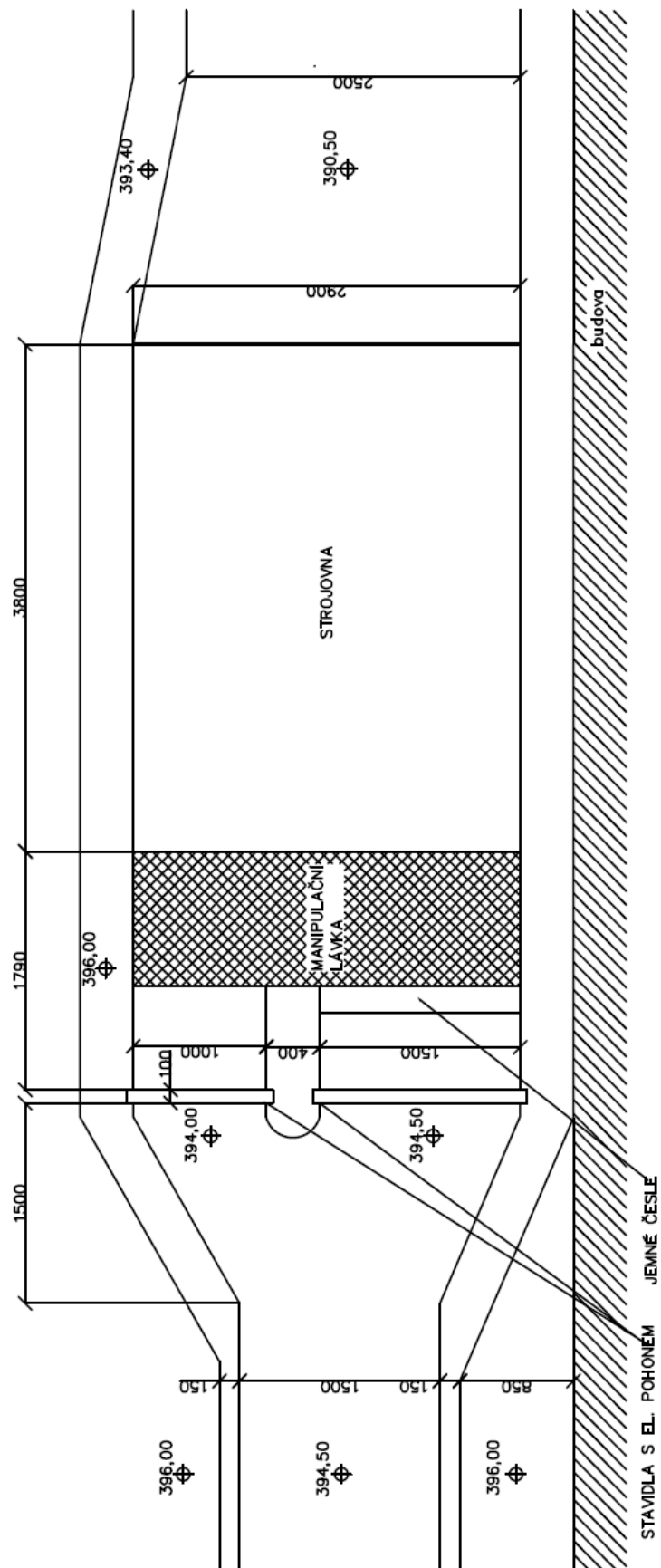
Obr. č. 15: Půdorys odlehčovacího objektu



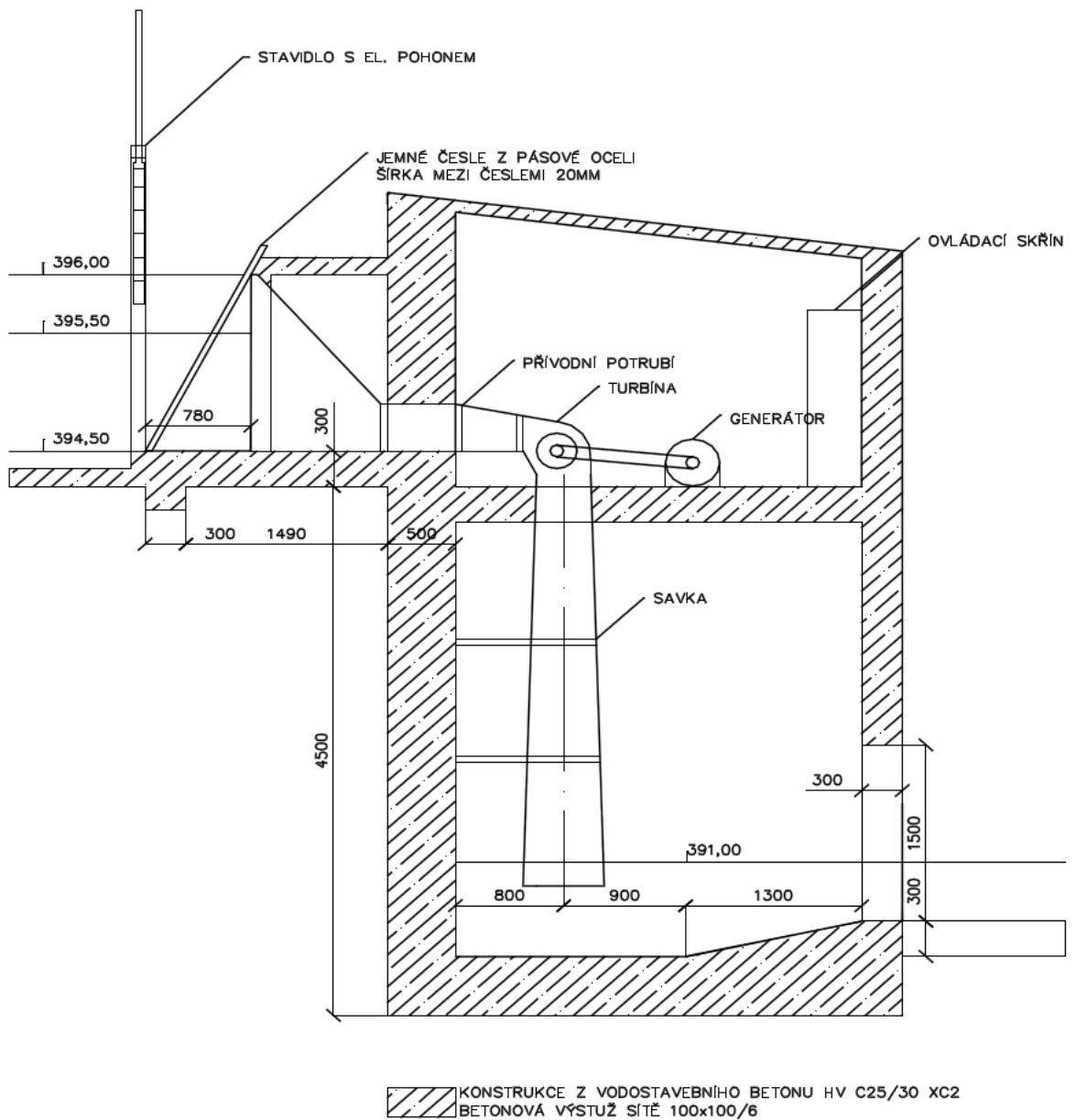
Obr. č. 16: Řez odlehčovacího objektu



Obr. č. 17: Řez rybiho přechodu



Obr. č. 18: Půdorys MVE



Obr. č. 19 : Řez MVE