

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studie malé vodní elektrárny na Berounce

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jindřich ČEJKA**
Osobní číslo: **E17N0059P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Studie malé vodní elektrárny na Berounce**
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. Uveďte různé možnosti uspořádání MVE a typy vodních turbín pro MVE.
2. Zhodnoťte hydroenergetický potenciál v lokalitě bývalého Dolanského mlýna na Berounce.
3. Zpracujte návrh vhodného řešení MVE (případně i rybího přechodu) a podklady pro projektovou dokumentaci.
4. Zhodnoťte návrh z hlediska energetického, ekologického a ekonomického.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Gabriel P., Čihák F., Kalandra P.: Malé vodní elektrárny, ČVUT 1998,
2. Škorpil J., Kasářík M.: OZE I- vodní elektrárny, ZČU 2009.

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 5. října 2018
Termín odevzdání diplomové práce: 30. května 2019


Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 5. října 2018

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá studií malé vodní elektrárny na Berounce v lokalitě Dolanského mlýna. Cílem této práce je zpracovat návrh na rekonstrukci a úpravu lokality Dolanského mlýna a provedení energetického, ekologického a ekonomického zhodnocení.

Klíčová slova

Vodní elektrárna, malá vodní elektrárna, vodní turbína, generátor, energie vody, tok, řeka, elektrická energie.

Abstract

This master thesis presents the study of small hydropower station at Berounka river in the location of Dolan mill. The object of this thesis is a treatment for reconstruction or modification of location of Dolan mill and making of an overall evaluation (energy, ecological and economical).

Key words

Hydropower station, small hydropower station, water turbine, generator, energy of water, flow, river, electrical energy, electricity.

Prohlášení

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

.....
podpis

V Plzni dne 27.5.2019

Bc. Jindřich Čejka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu této diplomové práce prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. za cenné rady, připomínky a návrhy k tématu mé práce.

Děkuji své rodině za jazykovou korekci mé diplomové práce, za rady a za trpělivost během mé doby studia.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat Bc. Marku Šulcovi za výpomoc s grafickými úpravami obrázků v této práci.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
1 DRUHY USPOŘADÁNÍ MVE A TYPY VODNÍCH TURBÍN	10
1.1 DRUHY USPOŘADÁNÍ MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY	11
1.2 TYPY VODNÍCH TURBÍN.....	12
2 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL V DOLANSKÉM MLÝNĚ	15
2.1 LOKALITA DOLANSKÉHO MLÝNA	15
2.2 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL V LOKALITĚ DOLANSKÉHO MLÝNA	17
3 NÁVRH MOŽNÝCH ŘEŠENÍ MVE DOLANSKÝ MLÝN	21
3.1 REÁLNÝ VÝKON MVE DOLANSKÝ MLÝN	21
3.2 TURBÍNA	22
3.3 GENERÁTOR	24
3.4 PŘEVOD.....	25
3.5 RYBÍ PŘECHOD	26
3.5.1 ŘEŠENÍ RYBÍHO PŘECHODU U DOLANSKÉHO MLÝNA	30
3.6 MALÁ VODNÍ ELEKTRÁRNA DOLANSKÝ MLÝN.....	34
4 ENERGETICKÉ, EKOLOGICKÉ A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	38
4.1 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ	38
4.1.1 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ MVE DOLANSKÝ MLÝN	41
4.2 EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ	43
4.2.1 EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ MVE DOLANSKÝ MLÝN.....	44
4.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	46
4.3.1 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MVE DOLANSKÝ MLÝN.....	46
ZÁVĚR	51
INFORMAČNÍ ZDROJE	52
LITERATURA	52
OBRÁZKY	53
PŘÍLOHY	1

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem malé vodní elektrárny na řece Berounce v lokalitě Dolanského mlýna. Vzhledem k podmínkám dané lokality je možné, že tato práce bude v budoucnu sloužit jako předloha nebo alespoň jako hrubý nástin budoucí realizace díla.

Problémem dnešní doby je stále rostoucí spotřeba elektrické energie, která je převážně vyráběna z fosilních paliv. Nejčastější forma výroby (transformace) je pomocí spalování černého nebo hnědého uhlí, zemního plynu, odpadu a dalších paliv. V dnešní době však již stoupá zájem na výrobě elektrické energie cestou obnovitelných zdrojů, zdrojů, které neznečišťují životní prostředí. Jedná se o energii slunce, větru a vody. Nevýhodou těchto obnovitelných zdrojů je zejména účinnost, která se hlavně u solárních a větrných elektráren pohybuje velmi nízko. Jako další velká nevýhoda je nutnost vhodného umístění, jelikož nemá smysl financovat solární panely v místech s malou průměrnou roční dobou svitu slunce, větrné rotory v místě, kde je průměrná roční rychlost větru pod 4 m/s, nebo vodní elektrárny tam, kde je nízký hydroenergetický potenciál, který ještě nemůžeme navýšit. Energetický potenciál všech obnovitelných zdrojů je vysoký, avšak limitovaný účinností, polohou a mnohdy velkou počáteční investicí.

Malé vodní elektrárny jsou nejlepším řešením pro lokální dodávku elektrické energie. Samozřejmě, je-li v okolí řeka. Tyto elektrárny jsou schopné napájet menší město. Mají výkon do 10 MW a jsou to často rekonstruované vodní mlýny. Malé vodní elektrárny jsou charakteristické svou dlouhou životností a menšími počátečními náklady, proto může být jimi vyrobená energie levnější nebo se investice může vrátit dříve, než je tomu u větších elektráren. V dnešní době vysoké poptávky po elektrické energii a snaze propojit její výrobu s výrobou čistou, pomocí obnovitelných zdrojů, se jeví malé vodní elektrárny jako vhodný kompromis. Vhodnou konstrukcí dané elektrárny se dá mimo jiné i stabilizovat vodní tok v daném místě. Správné nastavení může způsobit jen minimální zásah do ekosystému nebo dokonce jeho zlepšení. Avšak každý zásah do krajiny má za následek změnu ekosystému. Naší povinností je jeho minimální narušení nebo lépe, jeho zlepšení.

1 Druhy uspořádání MVE a typy vodních turbín

Vodní elektrárny pracují s vodním průtokem a spádem. Je to zdroj energie obnovitelný, neboť se využívá koloběhu vody. Vodní elektrárny nevypouštějí do ovzduší žádné škodlivé látky a pomáhají tak ke snižování produkce skleníkových plynů. Podle použité technologie rozlišujeme různé typy vodních elektráren a to průtočné, přečerpávací, akumulární a slapové. Dále podle použitého typu turbíny (Francisova, Kaplanova, Peltonova, Bánkiho, ...), instalovaného výkonu (malé, střední, velké) a využití vodního spádu (nízkotlaké, středotlaké, vysokotlaké). [1 - 3]

Malá vodní elektrárna (MVE) se označuje vodní elektrárna s maximálním výkonem nepřesahujícím 10 MW. Tyto elektrárny se nejčastěji umísťují v lokalitách bývalých vodních mlýnů. Další rozdělení MVE je podle výkonu: průmyslové (od 1 MW), minielektrárny (do 1 MW), mikro zdroje (do 0,1 MW) a domácí (do 35 kW), podle spádu: nízkotlaké (do 20 m), středotlaké (20 – 100 m) a vysokotlaké (nad 100 m) a dle nakládání s vodou: průtočné, akumulární a přečerpávací. [1 - 3]

1.1 Druhy uspořádání malé vodní elektrárny

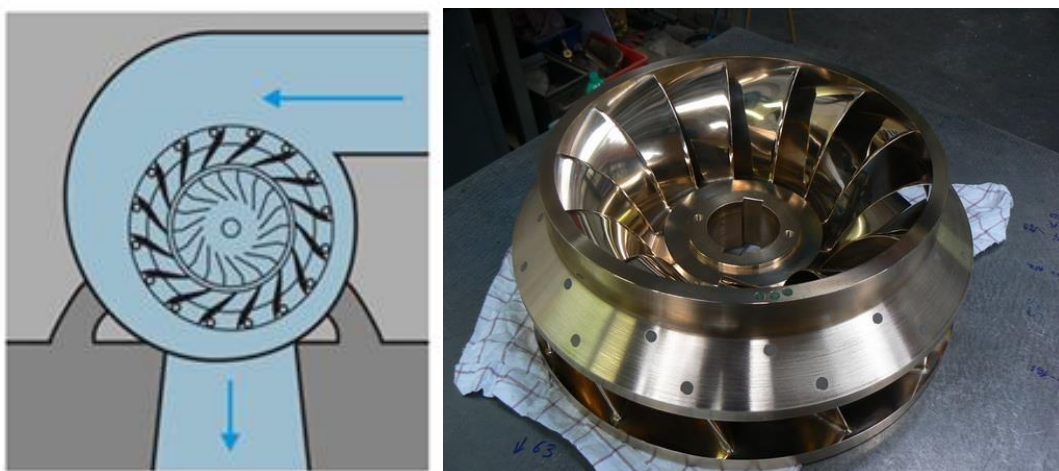
Průtočná vodní elektrárna využívá jen vodního toku, do kterého není stavebně nijak zvláště zasazeno (přehrada, výrazné upravení dna nebo břehů). Jelikož neobsahuje žádný vodní zásobník, její výkon se nedá nijak regulovat. Je silně závislý na počasí a na nadimenzování celé stavby. Elektrárna je nastavena na daný průtok a spád vody. Pokud je vody přebytek, je tato přebytečná voda odvedena bez využití (např. stavidlem). Pokud je vody nedostatek, elektrárna pracuje pouze na malý výkon, který odpovídá množství nedostatku vody. Tento typ vodní elektrárny se dále dělí na Jezové a Derivační elektrárny. Jezové průtočné vodní elektrárny využívají pro soustředění spádu vody jez. Tyto vodní elektrárny nemají velký spád. Ten se pohybuje do 20 m. Derivační průtočné vodní elektrárny využívají k přívodu vody přivaděč, což může být bývalá štola, potrubí nebo kanál. V principu, tento typ vodní elektrárny využívá narovnání koryta a tím zvýšení rychlosti vody. [1, 3]

1.2 Typy vodních turbín

Výkon vodní elektrárny závisí na třech hlavních faktorech. Jde o vodní spád, průtok a účinnosti jednotlivých komponentů. Průtok a spád se dá regulovat polohou a konstrukcí vodní elektrárny. Lokality vodní elektrárny v místě nejlepších přírodních podmínek se vybírá vhodná vodní turbína. [1, 3]

a) Francisova turbína

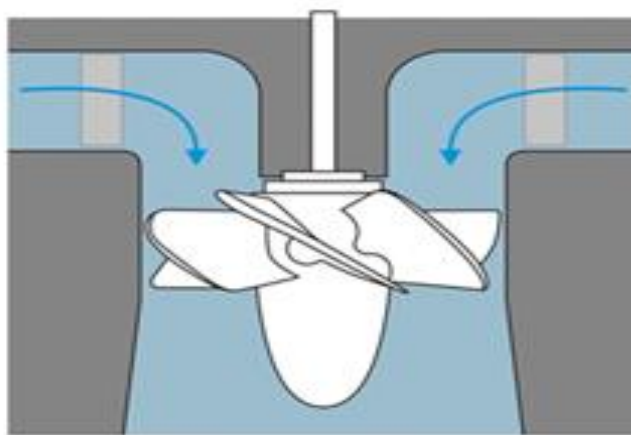
Francisova turbína se využívá v těch největších elektrárnách. Obvykle u těch nad 10 MW, což jsou střední a velké elektrárny, avšak není vyloučeno její použití i pro malé vodní elektrárny. Využívá se pro největší průtoky a spády. Nejčastěji se využívá v přečerpávacích vodních elektrárnách, jelikož se při reverzaci může použít i jako čerpadlo. Další výhodou této turbíny je, že pro navržený průtok má vysokou účinnost, avšak pokud se průtok rapidně změní, tak účinnost klesá. Tato turbína je klasifikována jako turbína přetlaková (tj. že tlak je před turbínou výrazně vyšší, než za ní) s radiálně - axiálním prouděním vody skrze kolo. Její účinnost se dá regulovat polohováním lopatek a to od úplného otevření, kdy voda projde pouze skrz turbínu jen s malým nebo žádným energetickým využitím, až po úplné uzavření, kdy se voda skrz turbínu vůbec nedostane, což by však při stálém přívalu vody mělo za následek její deformaci a tím pádem destrukci. Francisova turbína patří mezi nejrozšířenější vodní turbíny na světě. [1, 3, 4]



Obr. 1.1: Francisova turbína

b) Kaplanova turbína

Kaplanova turbína je vylepšená vrtulová turbína prof. Kaplana a svým tvarem připomíná lodní šroub. Jako u turbíny typu Francis se jedná o přetlakovou turbínu, avšak pro axiální proudění vody. Účinnost této turbíny se dá regulovat natáčením lopatek a díky tomu může Kaplanova turbína dosáhnout vysoké účinnosti pro široké spektrum průtoků, díky čemuž je vhodná pro malé vodní elektrárny. Jediná nevýhoda této turbíny tkví v její výrobní náročnosti. Kaplanova turbína je vysoce náročná na výrobu a náchylná na kavitaci. Její cena se pohybuje ve stovkách tisíc korun. Dále její regulace pomocí natáčení lopatek je také dost riziková, jelikož tyto mechanické části, na které dopadá voda, musí být velice dobře konstrukčně řešeny, aby nedocházelo k častým odstávkám a údržbě. [1, 3, 4]



Obr. 1.2.: Kaplanova turbína

c) Peltonova turbína

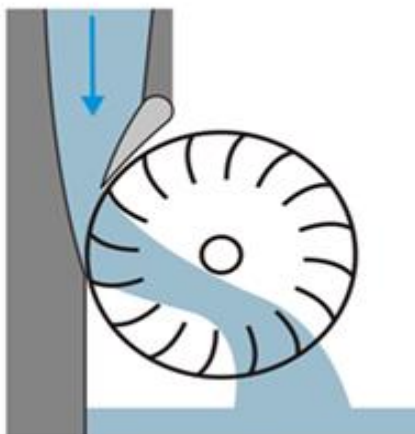
Peltonově turbíně se také může říkat Peltonovo kolo. Jedná se o jednoduchou turbínu a jejím předchůdcem bylo klasické mlýnské vodní kolo. Dá se říci, že mlýnské kolo je jako jedna z prvních turbín, kde docházelo k přeměně potenciální a kinetické energie vody na energii jinou (v tomto konkrétním případě mechanickou). Tato turbína je rovnotlaká a je nutné před ní instalovat škrtící orgán, dýzu. Dýza je škrtící orgán, který prudce zúží průměr potrubí a výrazně zvýší rychlost vstřikování vody na misky lopatek turbíny. Turbína se využívá pro velké spády, ale její nevýhodou je nemožnost polohování lopatek a tak nelze regulovat její účinnost. Účinnost „reguluje“ pouze aktuální množství vody, které však někdy není možné regulovat (pouze u středních a větších vodních elektrárn, ne však u malých) a tak je tento princip regulace nežádoucí. [1, 3, 4]



Obr. 1.3.: Peltonova turbína

d) Bánkiho turbína

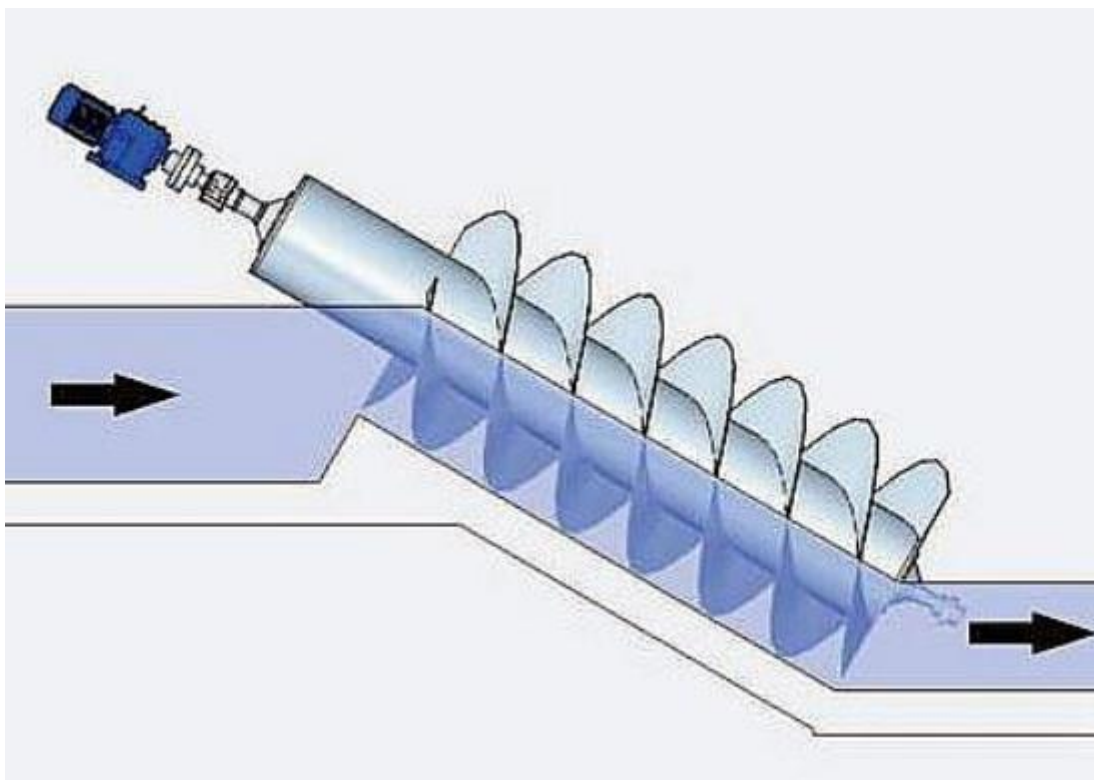
Tato turbína nepotřebuje velké průtoky ani spády. Taktéž se jedná o rovnotlakou turbínu. Nejvhodnější využití je pro malé a středné spády. Používá se na menších tocích a nejlépe se hodí pro malé vodní elektrárny na tocích s menším průtokem a spádem vody. Od již zmíněných turbín se liší tím, že jí doslova voda protéká. Do jisté míry se dá také regulovat a to klapkou umístěnou těsně před turbínou. Kromě regulace klapkou se dá regulovat i vtokem vody do částí turbíny. Tato regulace spočívá v rozdělení turbíny na části, podle velikosti, (poloviny, třetiny, čtvrtiny, ...). [1, 3, 4]



Obr. 1.4.: Bánkiho turbína

e) Archimedův šroub

Archimedův šroub je turbína vhodná pro malé vodní elektrárny, které nemají možnost větší stavební úpravy na toku. Podobně jako Francisova turbína se dá využít i jako čerpadlo a údajně byl tento šroub použit již ve starověku jako zavlažování Visutých zahrad Babylonských. Její šnekové provedení nepotřebuje složitou výrobu a je vhodná i pro silně znečištěnou vodu a tak není třeba jemného síta před vstupem na turbínu. Archimedův šroub nemusí být umístěn uvnitř turbínového domku, protože jeho jednoduchá konstrukce a princip funkce hravě odolává běžným přírodním vlivům. Pro funkci postačí malé nebo i žádné stavební úpravy na toku. To však záleží na vlastnostech lokality. Stačilo by zúžení toku, aby byla voda soustředěna přímo na turbínu a tak došlo k navýšení rychlosti. Při přebytku by voda mohla odtéci kolem turbíny. Tato turbína se však nedá regulovat, jelikož mechanické natáčení lopatek zde není možné. [1, 3, 4]



Obr. 1.5.: Archimedův šroub

2 Hydroenergetický potenciál v Dolanském mlýně

2.1 Lokalita Dolanského mlýna

Dolanský mlýn leží 1 km od obce Dolany a kolem 25 km od centra Plzně v okrese Plzeň – sever. Mlýn je situován na řece Berounce mezi elektrárnami Bukovec (mlýn) a Valentovský mlýn. Do areálu mlýna patří jez na řece, turbínový domek, mlýnice a vila s příjezdovou cestou na pozemek. Na dohled od mlýna je Dolanský most, sloužící k přechodu řeky Berounky. [5]



Obr. 2.1.: Dolanský mlýn a Dolanský most na řece Berounce



Obr. 2.2.: Dolanský mlýn s vilou a jezem

Jak již bylo zmíněno, do areálu mlýna patří jez na řece a turbínový domek, což znamená, že malá vodní elektrárna tu již fungovala, ale byla zrušena. To je dobrá příležitost pro znovuuvedení do provozu a při té příležitosti k modernizaci této bývalé malé vodní elektrárny. Vzhledem ke stavební základně bude ušetřena část investic, jelikož nebude třeba výstavba jezu ani úprava vtoku do turbínového domku. Avšak tyto dvě části musí projít značnou rekonstrukcí.



Obr. 2.3.: Stav objektu Dolanského mlýna náhon vody na turbínu (síta náhonu)

Aby bylo možno postavit malou vodní elektrárnu, tak je nutné postupovat podle několika pravidel, aby bylo získáno stavební povolení.

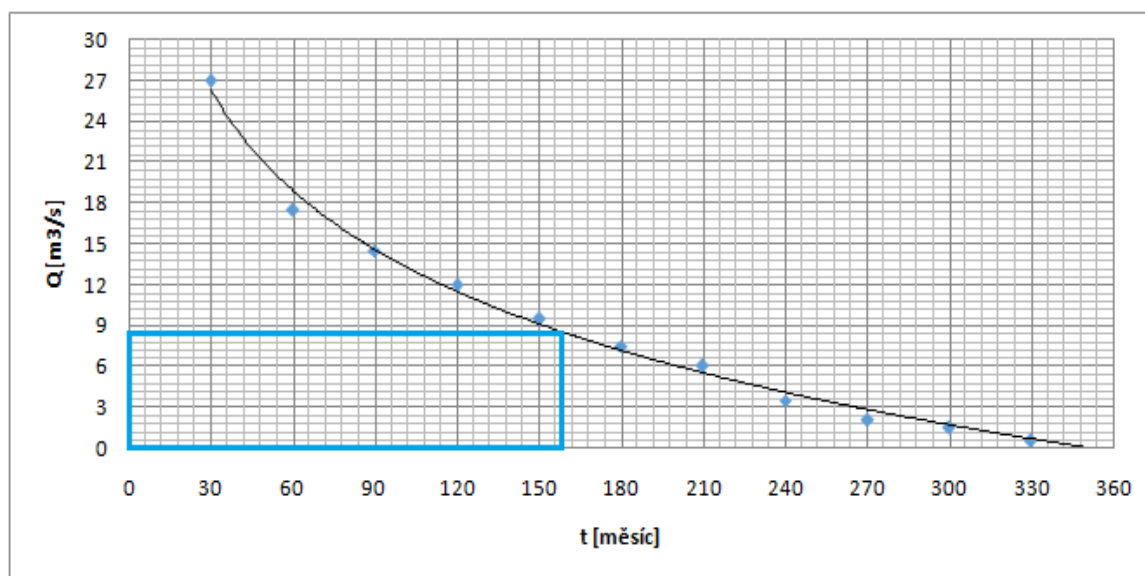
- Zda je lokalita volná a není v ní žádný jiný (vyšší) zájem ze strany nějakého úřadu nebo útvaru pro ŽP
- Zjistit, zda je možné získat do vlastnictví pozemky, které leží v okolí a jsou nutné pro výstavbu
- Technicko – ekonomické posouzení (ČEZ a. s. nebo poradenské středisko EKIS)
- Mapová dokumentace (z Katastrálního úřadu)
- Požádat o souhlas od správce toku
- Požádat o souhlas připojení MVE do sítě
- Vypracování projektové dokumentace a následné vyhotovení
- Objednat technologické zařízení MVE
- Zadat stavební práce

2.2 Hydroenergetický potenciál

Podle údajů z ČHMÚ byla vyhotovena roční odtoková křivka, která byla sestavena z hodnot za posledních 5 let (2014 - 2018). Z důvodu dosažení lepší predikce toku, vyšší autentičnosti a vhodného zvolení použité turbíny (pro představu jsou na další straně odtokové křivky za jednotlivé roky).

Tab. 1.1M-denní průtoky

M [den]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	365
Q _v [m ³ /s]	27	17,5	14,5	12	9,5	7,5	6	3,5	2	1,5	0,5	0



Obr. 2.4.: Odtoková křivka

Z odtokové křivky je vidět, že pro zvolených 160 dní (což je 5,33 měsíců) je průtok $Q = 8,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Jak je zmíněno výše, hrubý vodní spád H je v dané lokalitě zhruba 1,6 m. Pomocí těchto hodnot můžeme spočítat hrubý teoretický výkon podle vzorce:

$$P = H * Q * \rho * g \text{ [W]} \tag{1.1}$$

ρ – hustota vody ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$)

g – tíhové zrychlení ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

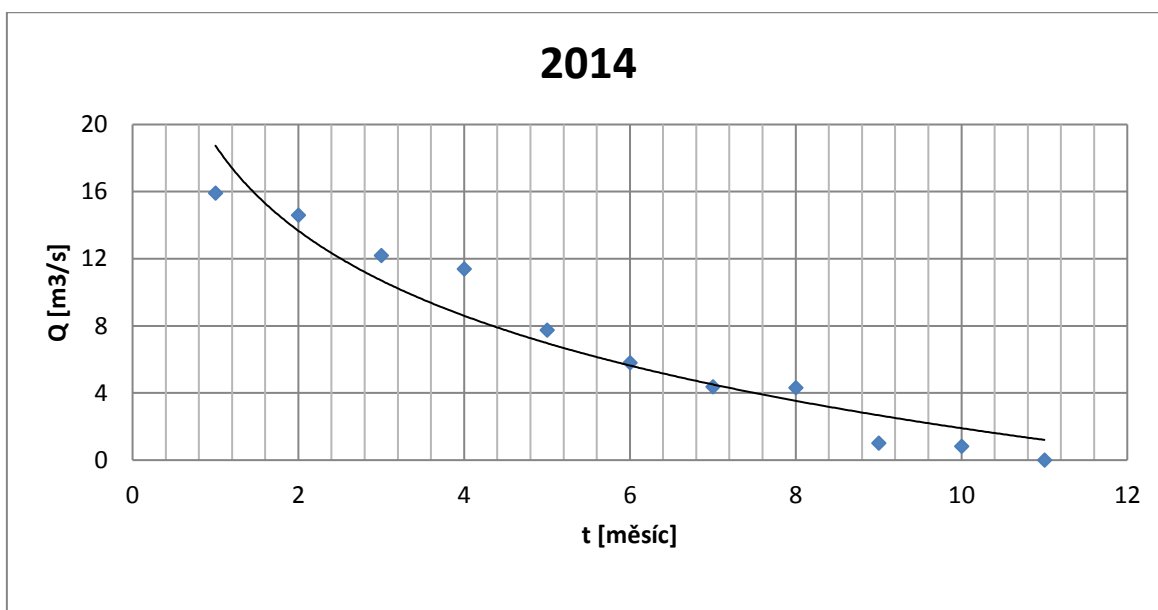
H – spád v místě vodní elektrárny [m]

Q – průtok v místě vodní elektrárny [m³/s]

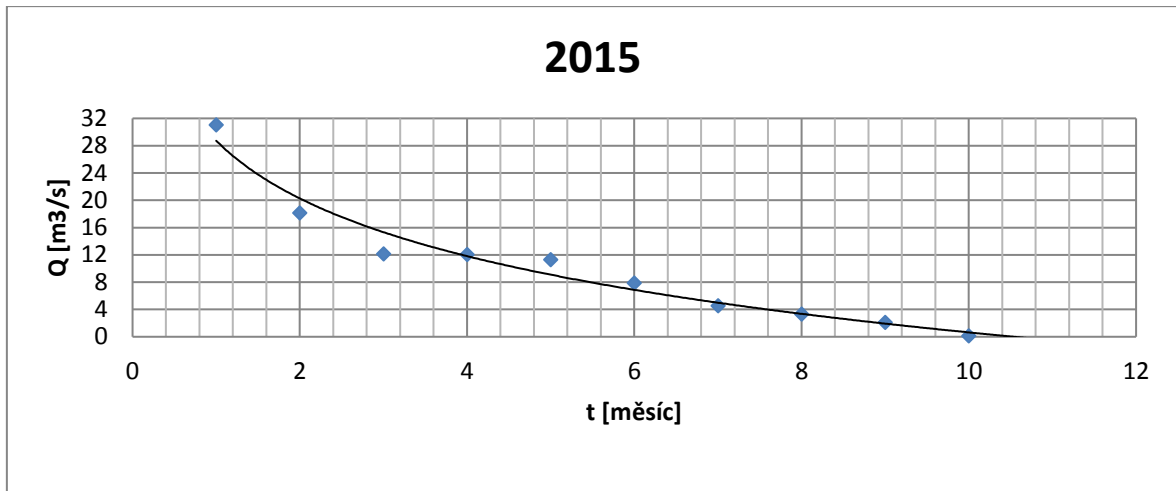
Pro konkrétní teoretický výkon máme průtok, který je $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Po dosazení konkrétních čísel do vzorce (1.1) nám vyjde:

$$P_{teor} = H * Q * \rho * g = 1,6 * 8,5 * 1000 * 9,81 = 133\,416 \text{ W} \doteq 134 \text{ kW} \quad (1.2)$$

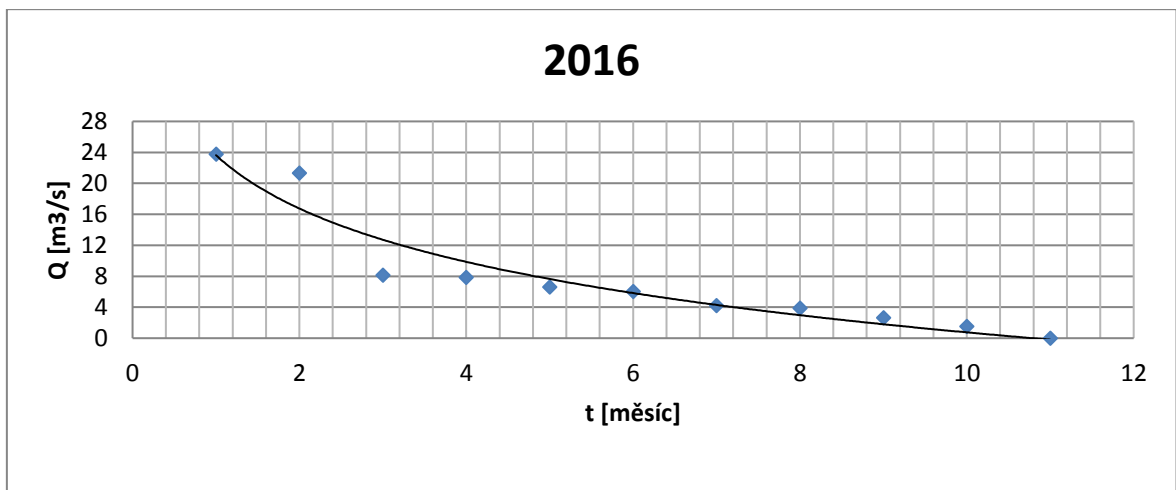
Provoz 160 dní je optimální řešení pro tuto lokalitu. Vyšší počet dní by umožnil delší možný provoz, ale rapidně nižší výkon, který by byl spojen s nižším průměrným průtokem. Další nevýhodou tohoto nastavení by bylo uvažovat nižší průtok a tak by mohla být použita turbína vystavena vyšší rychlosti vody, čímž by mohlo dojít k jejímu poškození až zničení. Zvýšení rychlosti proudění vody by v tomto případě mohlo zapříčinit poškození nebo dokonce zničení turbíny. V opačném případě, provozu při nižším počtu dní v roce (např. pouze 90 dní), by se sice zvýšila hodnota průtoků a vypočítaný výkon by byl vyšší, ale tento nižší denní provoz by v horizontu celého roku tento výkon snížil.



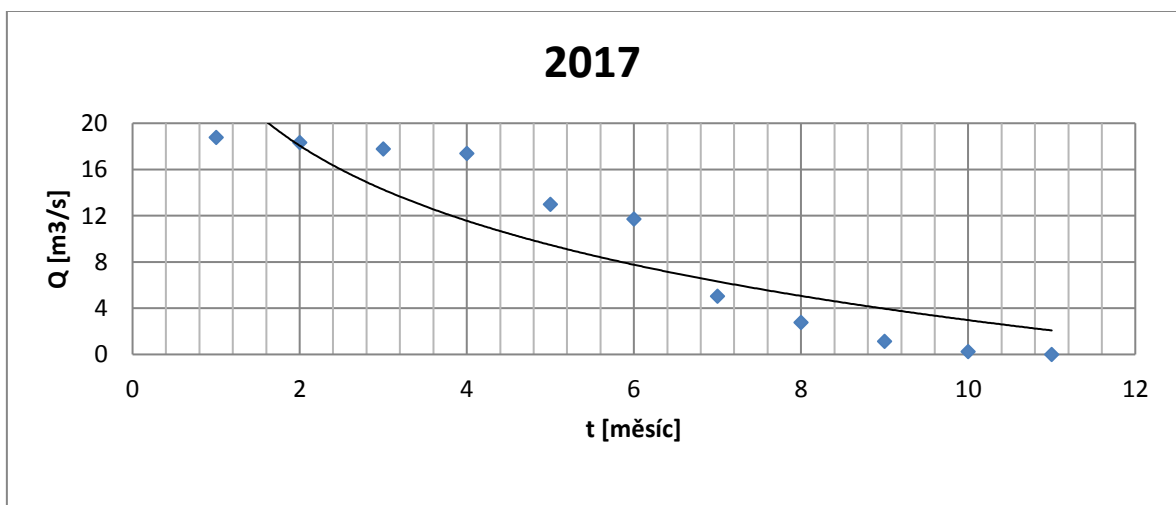
Obr. 2.5.: Odtoková křivka za rok 2014



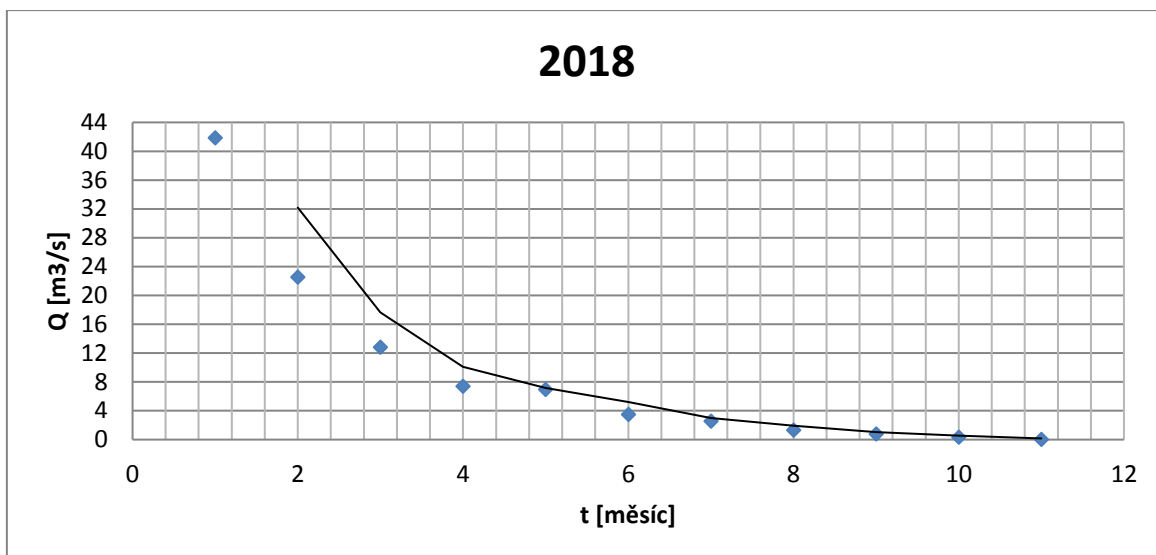
Obr. 2.6.: Odtoková křivka za rok 2015



Obr. 2.7.: Odtoková křivka za rok 2016



Obr. 2.8.: Odtoková křivka za rok 2017



Obr. 2.9.: Odtoková křivka za rok 2018

Z předchozích obrázků je vidět různorodost toku řeky Berounky v oblasti Dolanského mlýna. Můžeme vidět, že kromě roku 2017. Kde jsou body křivky poměrně rozdílné, s pomalými nebo naopak rapidními poklesy. Minimální hodnota průtoku se pohybuje stále mezi 4 – 9 m³/s (viz příloha), ale po započtení sanačního průtoku jsou hodnoty v 11. měsíci nulové. Kromě roku 2017 jsou všechny body krásně proloženy a vychází rovnoměrná odtoková křivka. Když porovnáím mnou zvolený průtok pro 160 dní, který je 8,5 m³/s, tak v roce 2014 by tento průtok byl 7,5 m³/s, pro rok 2015 8 m³/s, pro rok 2016 7,5 m³/s, pro rok 2017 8,5 m³/s a pro rok 2018 by byl tento průtok 7 m³/s.

3 Návrh možných řešení MVE Dolanský mlýn

3.1 Reálný výkon MVE Dolanský mlýn

Výpočtem podle vzorce (1.2) jsme zjistili, že teoretický výkon mírně převyšuje hodnotu 133 kW. Tento výkon je však teoretický, neboť v něm nepočítáme s žádnými účinnostmi, ale jen s parametry toku. Abychom mohli určit reálný výkon, malé vodní elektrárny Dolanský mlýn, musíme nejprve vypočítat její celkovou účinnost. Účinnost celé elektrárny je dána součinem účinností turbíny, generátoru, převodu a instalovaného výkonu, který je do rozvodné sítě dodáván přes transformátor, který má rovněž svoji účinnost.

Pro tuto elektrárnu bude použita Kaplanova turbína. Zvolené hodnotě průtoku odpovídá účinnost turbíny 86 %. Pro výpočet byly použity střední hodnoty uváděné výrobcí a v literatuře pro zde použitou turbínu, převod a generátor. V případě turbíny je uvažována účinnost 86 %, v případě generátoru 87 % a v případě převodu 97 %. [6, 12]

Vynásobením hodnot teoretického výkonu a celkové účinnosti docházíme k hodnotě reálného výkonu malé vodní elektrárny Dolanský mlýn.

$$\eta_c = \eta_t * \eta_g * \eta_{př} = 0,86 * 0,87 * 0,97 = 0,7257 = 72,58 \% \quad (1.3)$$

$$P_{MVE} = P_{teor} * \eta_c = 133\,416 * 0,7257 = 96\,819\,W \doteq 97\,kW \quad (1.4)$$

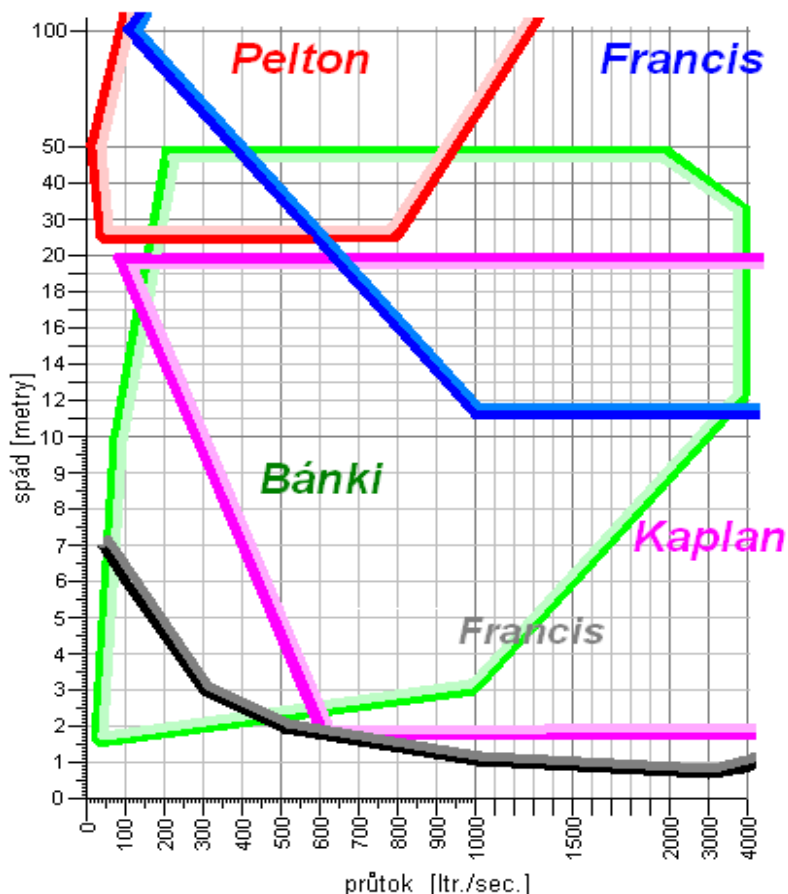
Výpočtem (1.3) byla vypočítána celková účinnost soustrojí η_c ve výši 72,58 % a následným dosazením této celkové účinnosti do vzorce (1.4) byl vypočítán celkový výkon MVE Dolanský mlýn v hodnotě necelých 100 kW, konkrétně 96 819 W.

$$P_{výkupní} = P_{MVE} * \eta_{trafo} = 96\,819 * 0,95 = 91\,979\,W \doteq 92\,kW \quad (1.5)$$

Výkon MVE Dolanský mlýn ($P_{výkupní}$) je dále ovlivňován účinností transformátoru, která bývá v rozmezí 92 – 98 %. I v tomto případě pro výpočet byla použita střední hodnota účinnosti transformátoru 95 %. Tento výkon je vypočítán podle vzorce (1.5), přičemž součinem výsledku ze vzorce (1.4) a účinnosti transformátoru byl vypočítán výkupní výkon ve výši téměř 92 kW. [6, 12]

3.2 Turbína

Turbína se volí podle parametrů toku. Těmito parametry jsou průtok a spád. Tok řeky Berounky dosahuje v lokalitě Dolanského mlýna spádu 1,6 m, což podle grafu na obrázku 3.1 odpovídá turbínám typu Bánki, Francis a Kaplan. Po uvažování průtoku, který je 8,5 m³/s, tj. 8 500 litrů za sekundu, je vidět, že nejvhodnější je Kaplanova turbína, jelikož černo – šedá křivka zobrazující Francisovu turbínu za hodnotou 4000 litrů za sekundu narůstá. A tak pro 8 500 litrů za sekundu bude nejvhodnější Kaplanova turbína.



Obr. 3.1.: Výběr turbíny podle průtoku a spádu

Jako další možnost určení turbíny je prostřednictvím specifických otáček, které charakterizují schopnost turbíny dosáhnout při maximálních otáčkách nejvyššího možného výkonu. Tyto otáčky se vypočítají podle vzorce (1.6).

$$n_s = 3,65 * n * Q^{0,5} * H^{-0,75} * \eta^{0,75} [min^{-1}] \tag{1.6}$$

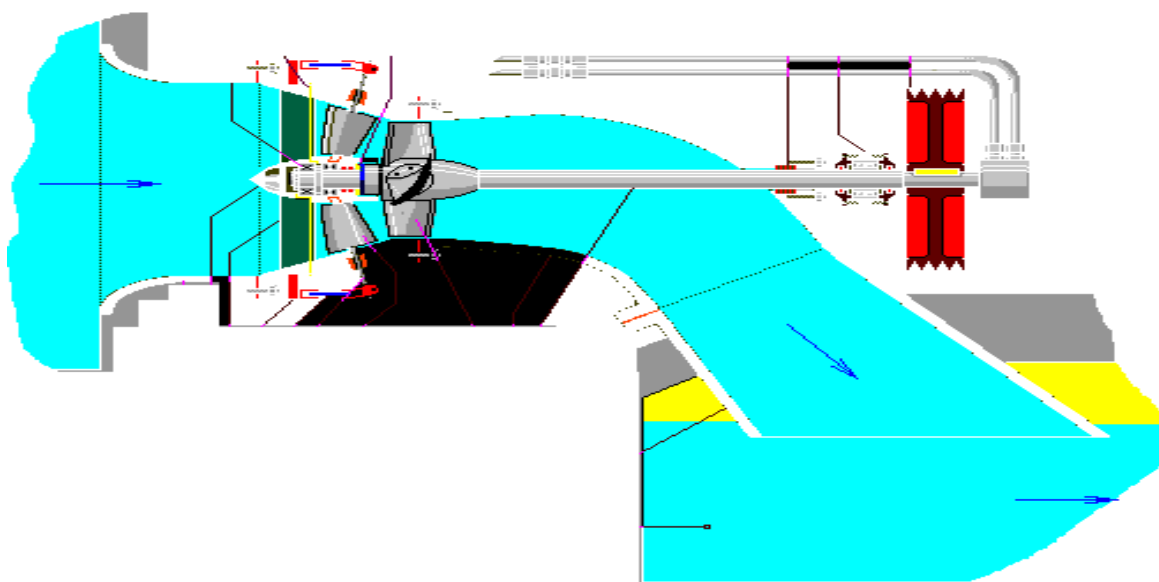
n – otáčky dané turbíny [min⁻¹]

H – spád [m]

Q – průtok [m³/s]

η – účinnost dané turbíny [-]

Jak již bylo zmíněno dříve, pro MVE Dolanský mlýn je, podle parametrů toku, nejvhodnější Kaplanova turbína. V tomto konkrétním případě, z důvodu malého spádu, bude turbína umístěna horizontálně (tzv. Kaplanova S-turbína), protože na její vertikální uložení není prostor, respektive malý spád toku by vyžadoval složité a rozsáhlé stavební práce, které by významně navýšily náklady na výstavbu této MVE.



Obr. 3.2.: Kaplanova S-turbína s vnějším horizontálním generátorem

Výrobou turbín pro malé vodní elektrárny se zabývá mnoho různých firem. Pro představu jsou to například firmy MAVEL a.s., která vyrábí turbíny s průměrem oběžných kol 1 – 2 m, a tak by mohla být použita pro tuto lokalitu. Dále by mohla být konstrukce turbíny zadána firmě HYDROHROM spol. s r.o., která vyrábí turbíny až do průměru 2,2 m s maximálním výkonem 4 MW, což by pro tuto lokalitu bylo též použitelné. Průzkumem mezi výrobci byla jako další vhodná firma pro výrobu turbíny vytipována firma White Energy spol. s r.o., která se zabývá výrobou Kaplanových turbín do průměru 1,2 m. Tato společnost se zároveň zabývá návrhy generátorů k tomuto typu turbíny. [7]

U elektrárny s takovýmto výkonem to není zcela běžné, avšak je možnost k této turbíně nechat navrhnout druhou, která by byla v provozu při poklesu průtoku. Vzhledem k nízkému spádu (1,6 m) a hodnotě průtoku (pod 4 m³/s) by byla vhodná buď menší Kaplanova S-turbína nebo turbína typu Bánki, popřípadě Archimedův šroub. Vzhledem k již vysokým počátečním nákladům je tato možnost nevýhodná, neboť návratnost těchto počátečních nákladů by dosahovala téměř konce doby uvažovaného provozu 30 let.

3.3 Generátor

Pro malé vodní elektrárny se využívá asynchronní generátor připojený na hřídel turbíny. Tento generátor se volí zejména pro jeho dobré vlastnosti, kterými jsou zejména spolehlivost, jednoduchost, minimální a snadná údržba. Další pozitivum asynchronního generátoru je možnost připojení na jakýkoliv typ turbíny. Jako asynchronní generátor můžeme použít v podstatě jakýkoliv asynchronní motor, který má kotvu připojenou nakrátko (tzv. GAK).

Pro tuto malou vodní elektrárnu jsem zvolil asynchronní generátor firmy TES VESTÍN s r.o. Jejich asynchronní generátory se vyznačují robustní konstrukcí s dostatečně nadimenzovanými částmi. Provedení rotoru je konstruováno s ohledem na možný výskyt zvýšených otáček. Asynchronní generátory firmy TES VESTÍN s r.o. mohou pracovat jako ostrovní provoz nebo jako paralelní provoz se sítí. [8]

Technická data pro GAK – asynchronní generátory s kotvou nakrátko od firmy TES VESTÍN s r.o.:

- Výkon 100 – 1500 kW
- Napětí 400 – 6600 V
- Otáčky 200 – 1500 ot/min
- Krytí IP 23 – IP 56
- Tvar horizontální/vertikální

[8]

Z technických dat vyplývá, že firma TES VESTÍN s r.o. vyrábí asynchronní generátory v širokém spektru. Dalším důvodem pro výběr této firmy je, že vyrábějí generátory dle parametrů zadaných zákazníkem, tudíž nebudeme muset přiřazovat parametry těm katalogovým, ale podle přesných údajů bude možné vyrobit asynchronní generátor, který by byl pro tuto malou vodní elektrárnu nejvhodnější. [8]

3.4 Převod

Vzhledem k velkému výkonu bude volen převod ozubenými koly. I když je tento převod hlučný, netlumí rázy a je výrobně složitější, jsou tyto nevýhody převýšeny jeho výhodami. Ozubená kola přenášejí velké točivé momenty, charakterizují se vysokou účinností, spolehlivostí a dlouhou životností. Pro převod ozubenými koly postačí dvě kola - hnací a hnané. Hnací ozubené kolo je připojeno na hřídel turbíny, která se točí v otáčkách závislých na aktuálním stavu vody. Hnané ozubené kolo, připojené na hřídel generátoru, má rozdílný průměr než hnací ozubené kolo a to v závislosti na asynchronním generátoru. Podle parametrů generátoru se volí velikosti hnaného i hnacího ozubeného kola. [9]



Obr. 3.3.: Převod ozubenými koly (kuželové soukolí se spirálovým ozubením) – Ilustrační

V malé vodní elektrárně Dolanský mlýn je uvažováno s horizontálním uložením turbíny a generátoru. Při řešení dispozičního uspořádání je možné uvažovat souosé spojení turbíny a generátoru, popřípadě lze využít lomené spojení v úhlu 90° , jak znázorňuje obrázek.

3.5 Rybí přechod

Rybí přechod (rybovod), slouží rybám i ostatním vodním živočichům k přestupu vodního díla. Buduje se z důvodu zachování migračních tras ryb. Občas není nutné rybí přechod budovat, pouze v případě, že tok má velkou energii (rychlý průtok nebo vysoký spád). Jeho vybudování je nutné pouze v případech velkých hodnot průtoku nebo spádu. Při nízkých hodnotách není nutné přechod budovat. Rybovod slouží hlavně k ochraně ryb před jejich usmrčením a dalším říčním živočichům, ke kterému může dojít, pokud není vstup do potrubí k turbíně nebo derivační kanál řádně zabezpečen proti jejich vstupu. Toto zabezpečení, jako sekundární práci, vykonávají hrubé česle, které bývají umístěny na vstupu do derivačního kanálu nebo na turbínu. Dalším hlavním faktorem pro rybí přechod je jeho funkčnost. Rybí přechod může být esteticky vybudován, ale jeho funkčnost bude nevyhovující. [10]

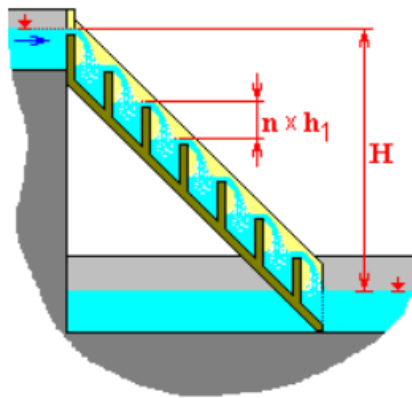
Rozlišujeme několik druhů těchto rybích přechodů:

- Kaskádový rybovod
- Meandrový rybovod
- Biokoridor

[10]

Každý z těchto rybovodů má své specifické vlastnosti, podle vlastností toku (průtok a spád), lokality (můžeme či nemůžeme si dovolit biokoridor vzhledem k velikosti pozemku okolo vodního díla), velikosti vodní elektrárny a také finančních prostředků. [10]

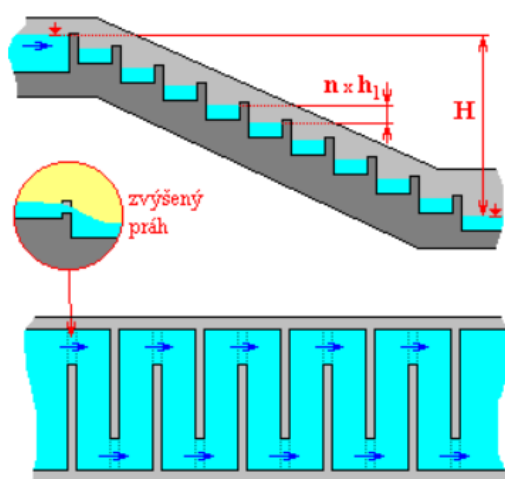
Prvním typem rybiho přechodu je kaskádový přechod. Tento typ přechodu je levný, jednoduchý na realizaci a také vhodný pro překonávání vysokých spádů. V podstatě se jedná o schody, které mají u paty každého schodu tůň, která slouží ke zpomalování rychlosti vody a k „odpočinku“ ryb. Přechod nemusí být nijak dlouhý, na rozdíl od meandrového přechodu nebo biokoridoru. Malé vodopády mezi jednotlivými schody též okysličují vodu. [10]



Obr. 3.4.: Rybovod kaskádový [10]

Dalším typem rybího přechodu je rybovod meandrový využívající se k překonání jezu vodního díla meandry (zákruty). Tento přechod nemůže být využíván pro tak vysoké spády jako ten kaskádový. Volbou vhodné konstrukce tohoto rybího přechodu může dojít ke značnému zpomalení toku v tomto místě. Realizace tohoto rybího přechodu může být v jistých lokalitách nejlevnějším řešením přechodu, jelikož ho lze zasadit přímo do toku řeky, prakticky ve kterékoliv části jezu. To však zaleží na konkrétní lokalitě a také na tom, že doprostřed jezu se rybí přechod obvykle neumísťuje. Jedná se však o jednu z možností realizace, která v některých lokalitách může být jedinou možnou. Další výhodou je malá finanční náročnost, která spočívá v tom, že tento přechod může být až na výjimky prakticky bezúdržbový. Při vhodné konstrukci tohoto přechodu nečistoty (větve, odpad ...) buď pouze proplují, nebo několikrát do roka můžeme provést manuální čištění. [10]

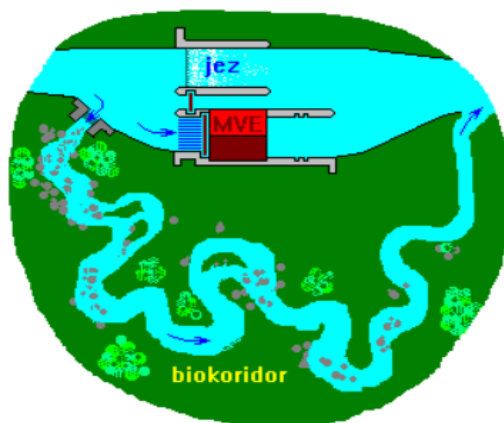
Tento přechod má však i své nevýhody a konstrukční složitosti, které jej mohou udělat naprosto kontraproduktivním. Jednou z hlavních nevýhod je složitost konstrukčního řešení. Při nesprávném návrhu rozestupů meandrů může dojít až k zatavení toku v přechodu, což je nežádoucí. Celkově je konstrukce tohoto rybovodu složitá. Kromě úzkého spektra spádů je důležitá délka tohoto přechodu, která by měla pro správnou funkci dosahovat i několik desítek metrů, což v některých lokalitách rovněž není možné. Další geometrická úprava by měla spočívat v tom, že by zde mělo být minimálně 10 cm vody a jednotlivé překážky by měly být do 5 cm výšky h_1 (viz obr. 3.5). [10]



Obr. 3.5.: Rybovod meandrový [10]

Řadí se mezi rybí přechody, avšak je složitější na realizaci, ale hlavně na adaptaci. Řeč je o biokoridoru. Biokoridor je v podstatě dlouhý obchvat vodního díla na řece s vlastním ekosystémem, ale to záleží na jeho délce, průměrné šířce a umístění, jelikož se jedná o částečně nový říční tok. V jisté míře můžeme mluvit i o tom, že se jedná o částečnou revitalizaci. Biokoridor má, jako všechny rybí přechody, své výhody a nevýhody, avšak tento rybovod má svá pro a proti značně kombinované. Určitě nejdiskutovatelnější budou finance. V případě, že je k dispozici u vodního díla pozemek, který umožňuje vybudování biokoridoru, tak je to nejlepší volba, jelikož výstavba je náklady přibližně srovnatelná s ostatními rybovody a navíc, údržba se zde neprovádí, naopak je nežádoucí z důvodu ekologických pochodů. Biokoridor může také značně pozvednout místní ekosystémy, pokud je dostatečně dlouhý. Pouze několik metrů dlouhý biokoridor těžko pozvedne lokální ekosystém, ale mluvíme zde o realizaci u MVE, takže se s velkou pravděpodobností o nějakou velkou stabilizaci nebo pozvednutí místního ekosystému jednat nebude. Avšak u velkých vodních děl může výrazně pomoci místním ekosystémům. [10]

Jak již bylo zmíněno, biokoridor má své klady a zápory silně spjaté. Ačkoliv je to podle mého názoru nejlepší způsob obklenutí vodního díla, za předpokladu vlastnictví pozemku. V případě nutnosti koupě pozemku by se celkové náklady na realizaci tohoto biokoridoru značně navýšily. Na druhou stranu, pokud by se jednalo o větší vodní dílo a biokoridor by byl většího rázu, tak může sloužit při nárůstu hladiny jako ochrana vodního díla, jelikož se jedná o novou část řeky, může vhodným způsobem regulovat nárůst hladiny. Vybudováním biokoridoru by mohla vzniknout i říční niva. Z tohoto důvodu by případná realizace a umístění biokoridoru bylo nejvíce diskutabilní. [10]



Obr. 3.6.: Biokoridor [10]

3.5.1 Řešení rybího přechodu u Dolanského mlýna

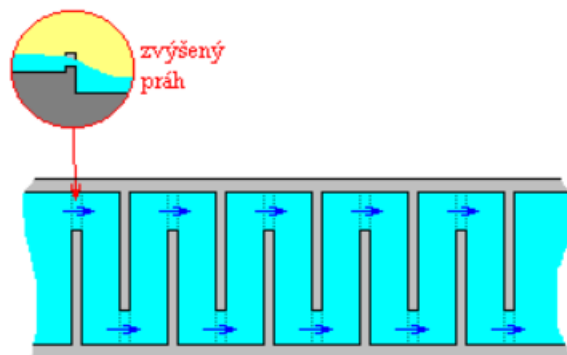


Obr. 3.7.: Možné realizace rybího přechodu

Na obrázku jsem vyznačil dvě místa možné realizace rybího přechodu v lokalitách, která jsou, podle mě, nejvhodnější k jeho výstavbě. V místě blíže mlýnu se na první pohled jeví jako nejvhodnější meandrový přechod, z důvodu dostatečné velikosti plochy pro výstavbu s délkou téměř 100 m. Uvedené parametry jsou vhodné pro meandrový rybí přechod.

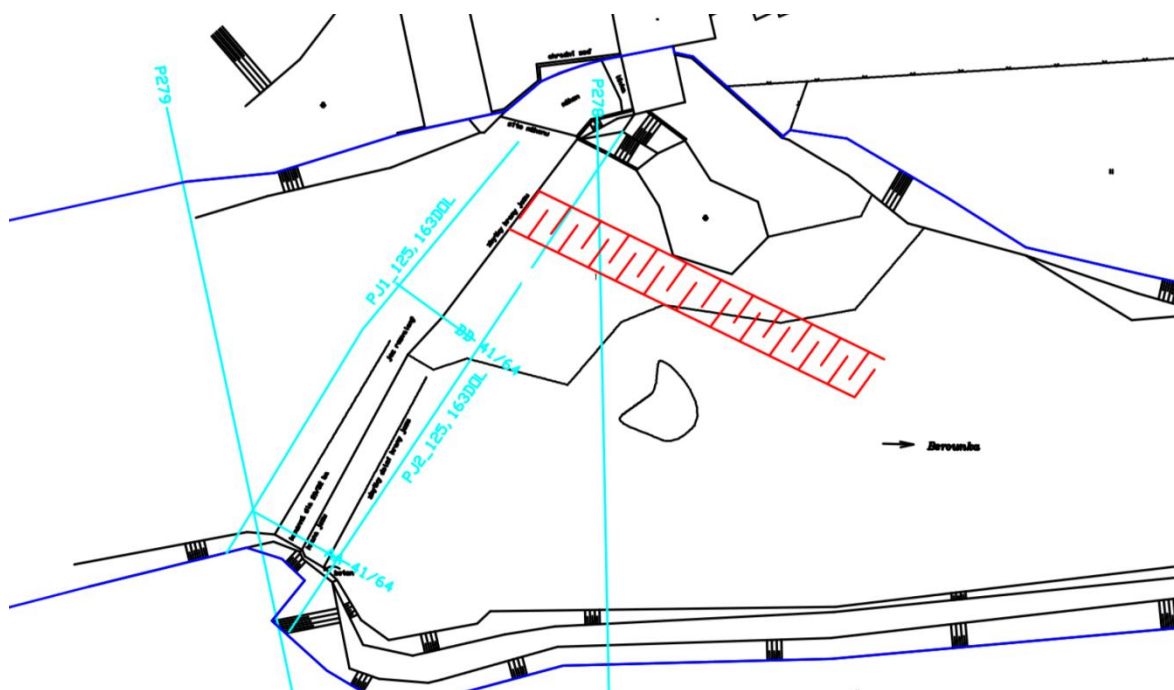
Meandrový přechod

Tento přechod se jeví jako nejlepší možnost z důvodu již vlastnictví pozemku, jelikož oproti druhému návrhu nemusí zasahovat do jezu a ani jej nijak narušovat. Délka přechodu by byla 94 m se spádem 1,6 m. Realizace překážek bývá různá. Kolmo k boční stěně stojící, tak i různě zaoblené. Pro tento konkrétní návrh jsem se rozhodl vzhledem k přímému vtoku vody (tj. její vysoká rychlost) k návrhu klasických kolmých překážek. Dokončený rybovod by mohl vypadat přibližně jako ten na obrázku 3.8.



Obr. 3.8.: Rybovod meandrový [10]

S délkou přechodu 94 m a s požadovaným krokem cca 5 cm na překážku bude 28 překážek s šířkou 0,5 m a délkou mezery 3 m.



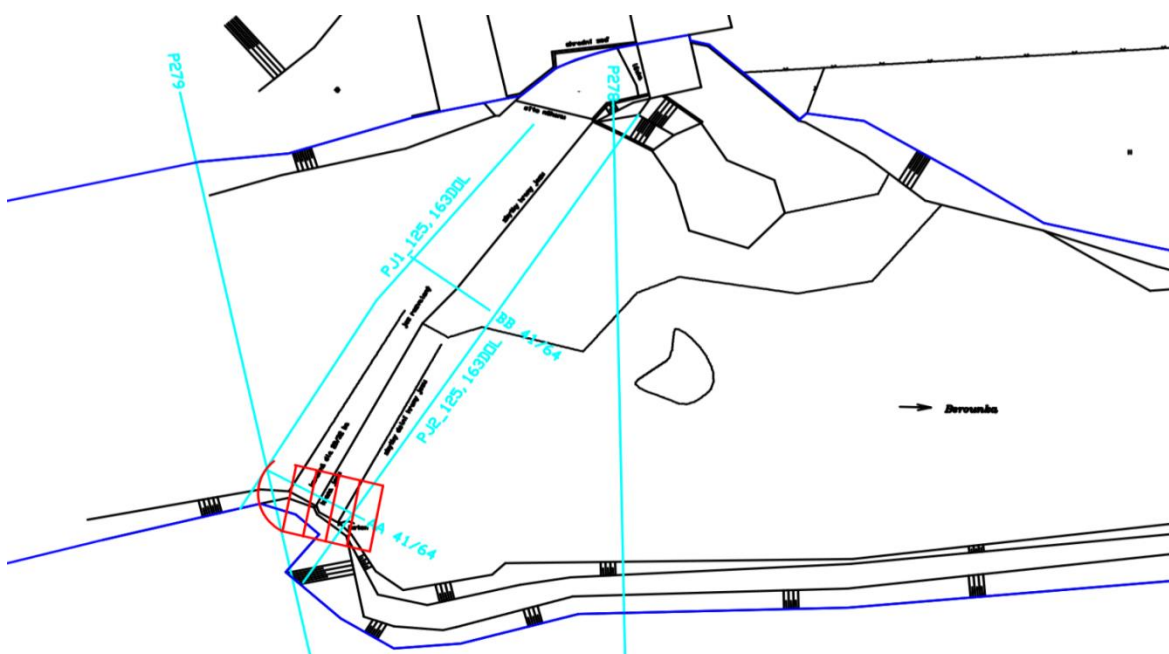
Obr. 3.9.: Návrh meandrového rybího přechodu u MVE Dolanský mlýn

Takto řešený by mohl být realizovaný meandrový rybí přechod u Dolanského mlýna. Poloha je záměrně vybrána takto, aby nebyl přímý vstup vody do přechodu a aby nedocházelo k vymílání stavebního materiálu vlivem silných nárazů vody. Zároveň tato poloha nijak zvlášť neovlivní rychlost a množství vody, jejíž energie bude využívána jako zdroj elektrické energie. Náklady by dosahovaly 2 500 000 Kč.

Druhé místo (červený obdélník) leží hned u jezu. Zde se jeví jako nejlepší volba modifikace kaskádového přechodu (balvanitý skluz). Tento typ rybiho přechodu je vybudován na Břeclavsku, vzhledem k dostupnosti relativně malé plochy pro vybudování rybiho přechodu. Avšak řeka Berounka se zde stáčí, a tím dochází k větší rychlosti vody u zákrutu a tak by mohlo docházet k vyrážení kamenů vlivem vysoké rychlosti vody. Aby k tomuto nežádoucímu jevu nedocházelo, bylo by nutné konstrukčně uspořádat provedení celé stavby. Teoreticky by nežádoucímu uvolňování kamenů mohlo úplně předejít vybudováním „bočního“ vstupu do přechodu, jak je tomu na obrázku. Vybudování takovéto stavby by mohlo dosáhnout až na částku 1 300 000 Kč.



Obr. 3.10.: Rybí přechod na Břeclavsku (možné řešení v lokalitě Dolanského mlýna)



Obr. 3.11.: Návrh kaskádového rybiho přechodu u MVE Dolanský mlýn

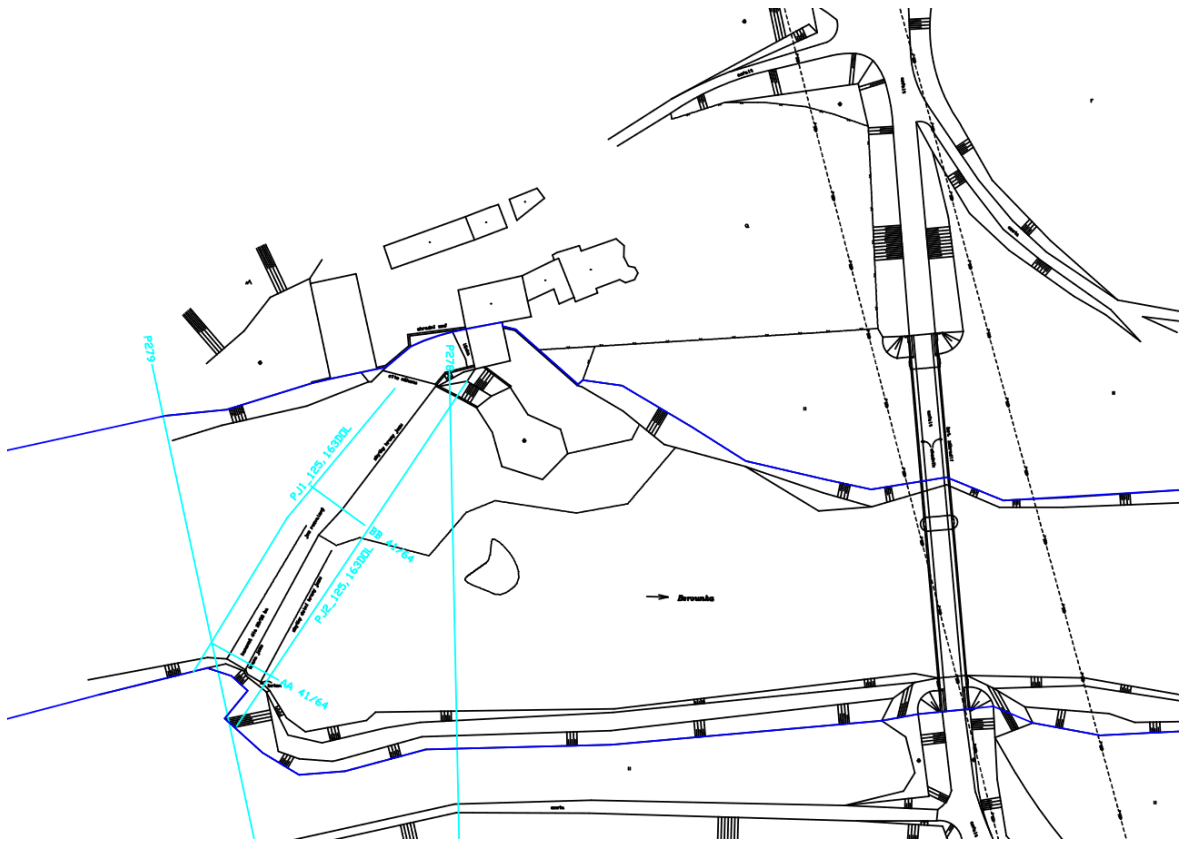
Jako třetí možnost se jeví vybudování biokoridoru místo meandrového přechodu. Jedná se spíše o teoretický návrh z důvodu nedostatečně velké plochy pro jeho realizaci. Velikost plochy zde dosahuje zhruba 350 m². Vstup do rybího přechodu by bylo nutné vybudovat přesně ve směru řeky, takže rychlost vtoku vody do biokoridoru by byla příliš vysoká. Avšak prostor za jezem je pokryt hlavně ostrůvky a rákosem, takže se dá říci, že biokoridor je zde nepatrně přírodně vytvořený, ale problém by byla složitější přestavba a úprava jezu. Takže tento příklad je spíše jen modelový, nicméně při splnění výše uvedených požadovaných podmínek by bylo možné biokoridor prakticky realizovat.



Obr. 3.12.: Za jezem

3.6 Malá vodní elektrárna Dolanský mlýn

V předchozích kapitolách bylo naznačeno několik možných řešení jednotlivých částí malé vodní elektrárny v areálu Dolanského mlýna. Vzal jsem v potaz možná řešení, která by se v lokalitě Dolanského mlýna dala realizovat. V této kapitole zpracuji konkrétní návrh elektrárny. Budu pracovat s tím, že česle, síto náhonu a náhon jsou po asanaci a jez opraven.



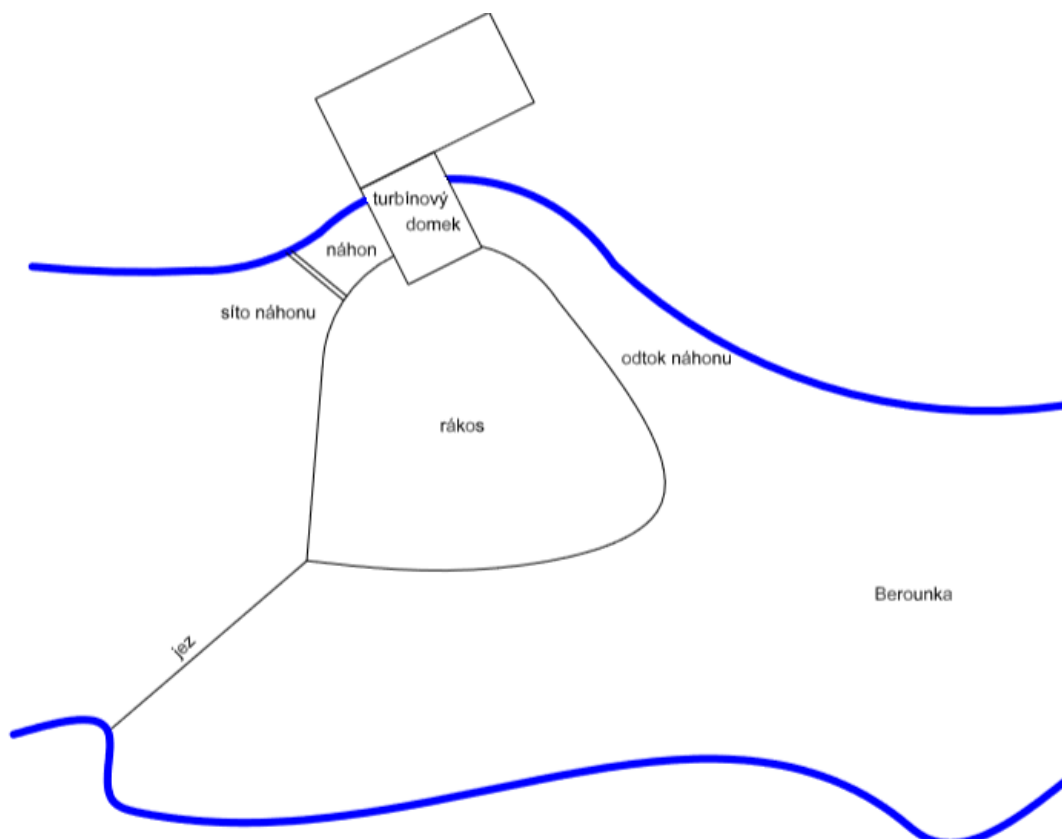
Obr. 3.13.: CAD nákres objektu Dolanského mlýna

Na obrázku je vidět kompletní nákres lokality Dolanského mlýna. Je zde zakreslen kompletní objekt Dolanského mlýna bez technického stavu, který však vyžaduje rozsáhlé úpravy, vyklizení, vyčištění okolí toku, náhonu a odtoku.

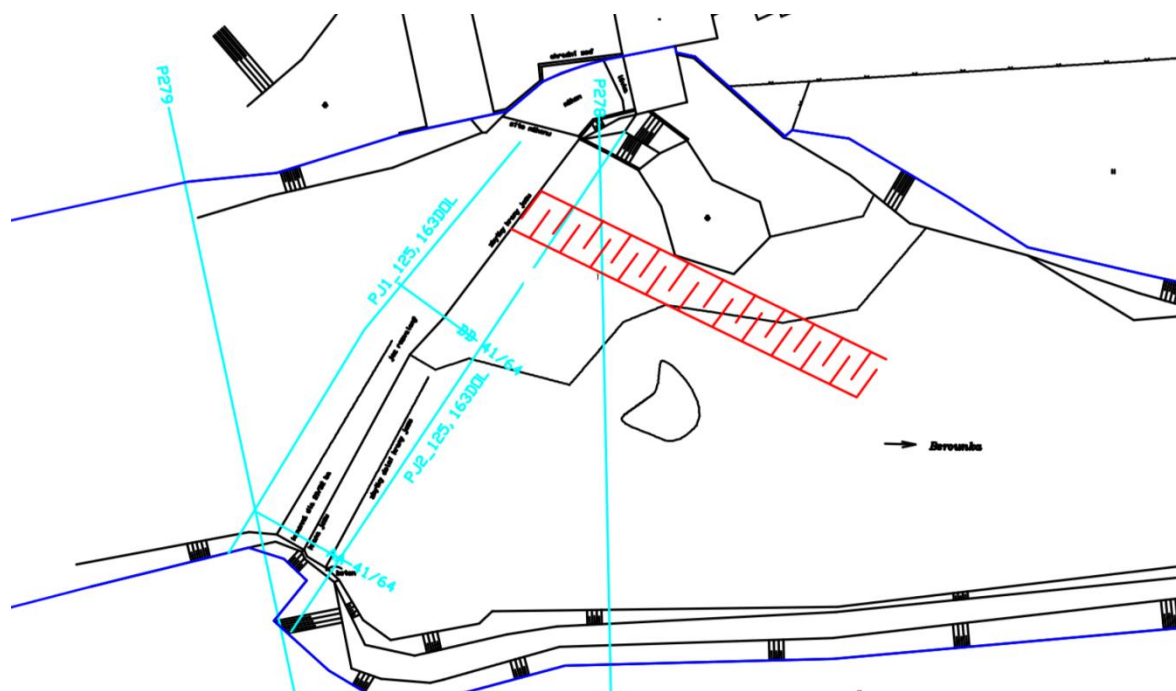
Před uvedením malé vodní elektrárny Dolanský mlýn do provozu bude zapotřebí provést rozsáhlé úpravy jezu. Ty jsou odhadovány na částku 10 milionů korun. Před stavebními pracemi však bude nutné vyčištění jezu od naplavenin a to samé se týká náhonu a jeho síta. Současně s úpravou jezu bude budován úplně nový rybí přechod, který jsem zvolil jako meandrový. Po této úpravě jezu a výstavby rybovodu bude nutná i rozsáhlá rekonstrukce turbínového domku. Tato rekonstrukce zahrnuje kompletní modernizaci vnitřních prostor domku. Zejména se jedná o novou turbínu, generátor a stavební úpravy. Po uložení turbíny a generátoru bude dokončena elektroinstalace.

Jak již bylo řečeno, celý objekt bude vyžadovat celkovou adaptaci, turbínový domek rekonstrukci a jez rozsáhlou opravu.

Na obrázku 3.14. je zjednodušený detail jezu s náhonem na turbínový domek. Takto by mohla vypadat lokalita po stavební úpravě bez rybiho přechodu.



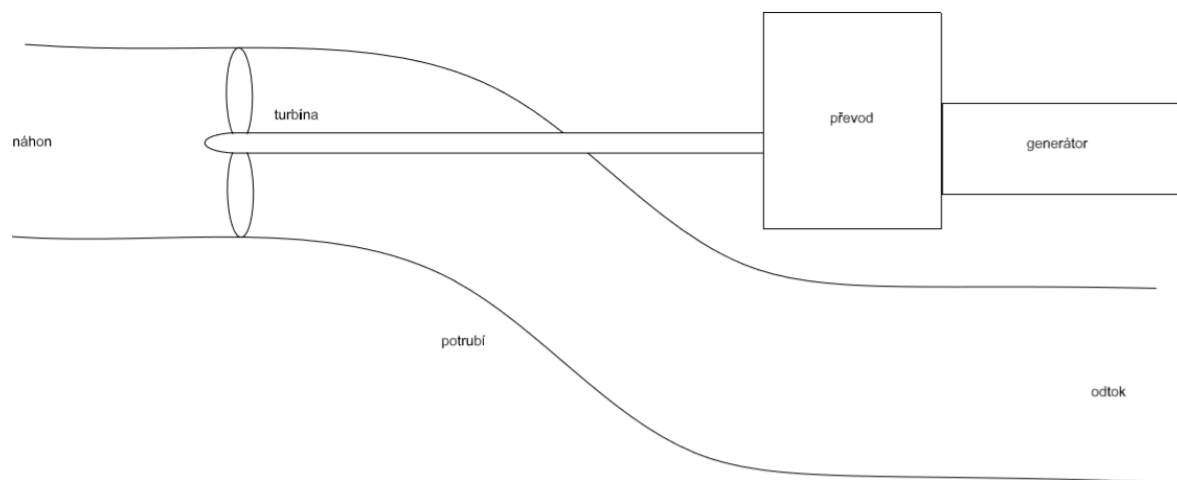
Obr. 3.14.: Jez a vtok do turbínového domku



Obr. 3.15.: Rybí přechod u MVE Dolanský mlýn

Rybí přechod bude řešený pomocí betonových meandrů. Délka přechodu bude 94 m s požadovaným krokem cca 5 cm na překážku. V přechodu bude vybudováno 28 překážek se šířkou 0,5 m a délkou mezery 3 m. Tyto parametry by měly dostatečným způsobem zajistit požadovanou bezpečnost přechodu. Tento přechod se jeví jako lepší možnost pro tuto lokalitu. Na obrázku je vyobrazena poloha tohoto rybího přechodu, který bude nově vybudován současně s opravou jezu.

Na následujícím obrázku je zjednodušený návrh uložení turbíny. Bude použita již zmíněná Kaplanova S-turbína. Spád v lokalitě 1,6 m postačí pro uložení této turbíny v horizontální poloze. Uložení turbíny bude proti směru toku. Potrubí bude ve směru toku klesat, aby bylo možné nad něj uložit převod s generátorem.



Obr. 3.16.: Uložení turbíny v turbínovém domku

Turbínový domek může obsahovat Kaplanovu S-turbínu vyrobenou firmou HYDROHROM spol. s r.o. a ta je přes převod připojena na generátor vyrobený firmou TES VESTÍN s r.o.

4 Energetické, ekologické a ekonomické zhodnocení

4.1 Energetické zhodnocení

Každá elektrárna, která vyrábí elektrickou energii, respektive přeměňuje mechanickou na elektrickou, má určitý instalovaný výkon, který se odvíjí od parametrů dané elektrárny, použité technologie, účinností a ztrát jednotlivých použitých komponentů a případně typu paliva. Elektrárny na fosilní paliva a obnovitelné zdroje se liší jen z části. Elektrárny na fosilní paliva využívají spalování paliva, které má různou účinnost přeměny. U elektráren na obnovitelné zdroje je to v podstatě podobné, až na to, že se nevyužívá spalování paliva, ale přírodních obnovitelných zdrojů jako je vítr, voda a slunce. Ještě se sem řadí biomasa, ale u té jde také o spalování.

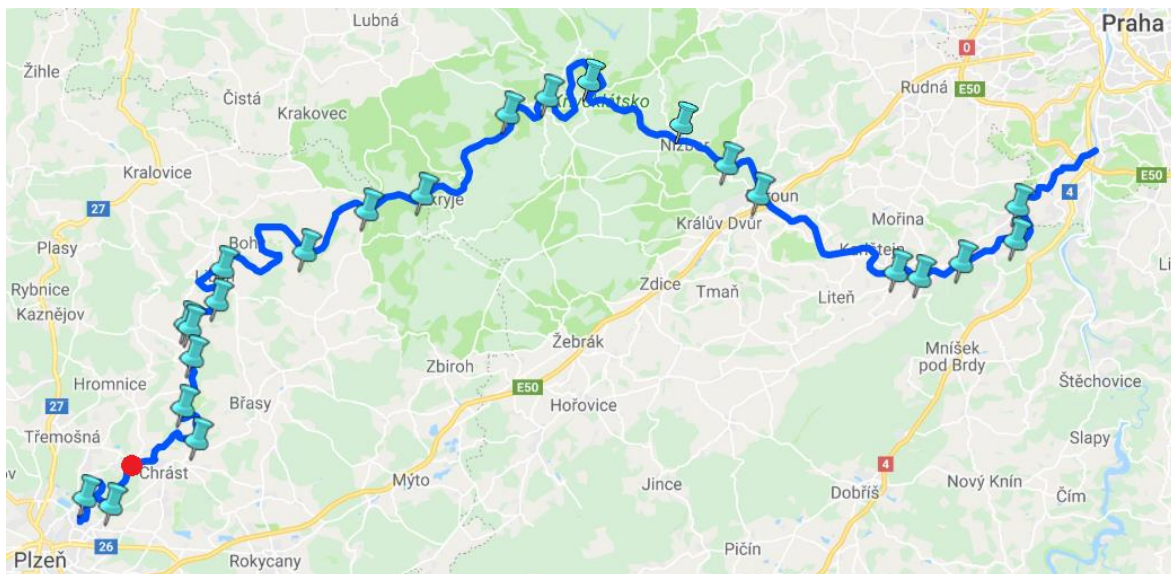
Na Berounce je celkem 23 malých vodních elektráren. Jejich výkon se pohybuje od desítek až po téměř osm set kilowatt. Z veřejně dostupných zdrojů jsou tyto malé vodní elektrárny s celkovým výkonem 5 827 kW a roční výroba se pohybuje okolo 40 GWh. [11]

Řeka Berounka se obecně vyznačuje vyšší rychlostí vody, ale malým spádem, což limituje použití širší škály turbín. Není tomu tak na celém toku, ale většinu lokalit malých vodních elektráren na Berounce lze takto definovat. Avšak jsou zde i výjimky. Když vezmeme v potaz ty větší MVE na tomto toku, tak jsou zde použity ty nejběžnější turbíny, které lze pro vyšší rychlost proudění vody a malý spád použít. Nejrozšířenější je zde Kaplanova turbína, jejíž použití je typické pro vyšší rychlost a malý spád. Ale jak již bylo řečeno, tak tok je místy rozmanitý a vzhledem k občas i menší rychlosti toku se lze zde použít i Bánkiho turbínu, která má nejlepší použití pro malé průtoky a spády. Typickým příkladem je MVE Valentovský mlýn, který leží za mnou navrhovanou MVE Dolanský mlýn. Zde je tok pomalejší tudíž, zde byla Bánkiho turbína použita. Jak již bylo uvedeno, na tok řeky Berounky je nejvhodnější použít Kaplanovu turbínu. V některých lokalitách řeky Berounky jsou však i místa s větším spádem, proto jsou v některých malých elektrárnách na toku instalovány i turbíny typu Francis. Jak znázorňuje následující tabulka 1.2, tak turbíny tohoto typu jsou po turbínách typu Kaplan nejvíce používány. [11]

Tabulka 1.2 obsahuje seznam malých vodních elektráren na řece Berounce s jejich parametry (výkon, typ a počet turbín). Tato tabulka demonstruje to, co je uvedeno v předchozím odstavci a ukazuje energetickou rozmanitost toku Berounky, která má i přes velké osazení MVE, stále spoustu míst, kde se vyplatí malou vodní elektrárnu postavit nebo rekonstruovat a provozovat.

Tab. 1.2 Seznam MVE na Berounce [11]

Vodní elektrárna	Výkon [kW]	Počet turbín (případně typ)
Bukovec (papírna)	630	2x Kaplan
Bukovec (mlýn)	540	2x Kaplan
Valentovský mlýn	137	2x vrtulová, 1x Bánki
Darová	525	2x Francis
Kačerovský mlýn	220	4x Archimédův šroub
Olešná I	70	2x Kaplan
Olešná II	180	2x Kaplan
Libštejnský mlýn	140	2
Liblín	50	1
Lejskův mlýn	90	2x Francis
Zvíkovec	150	2x Francis
Šlovice	340	1x Francis, 1x Kaplan
Nezabudice	220	1x Francis
Roztoky	400	2x Kaplan
Sýkořice	22	1
Nižbor	280	2x S-Kaplan
Hýskov	259	3x Kaplan
Beroun	720	4x Kaplan
Zadní Třebáň	120	1
Řevnice	200	2
Dobřichovice	84	2
Dolní Mokropsy	90	1
Černošice	360	2x Francis, 2x S-Kaplan



Obr. 4.1.: Poloha MVE na Berounce s polohou Dolanského mlýna

Obrázek identifikuje polohu již zmíněných malých vodních elektráren na Berounce, která jsou uvedeny v tabulce 1.2. Seznam malých vodních elektráren obsažený v tabulce je v pořadí, v jakém leží za sebou po směru toku. Červený bod vyznačuje polohu Dolanského mlýna, kde se nachází mnou navrhovaná malá vodní elektrárna.

4.1.1 Energetické zhodnocení MVE Dolanský mlýn

Malá vodní elektrárna Dolanský mlýn je vybavena Kaplanovou S-turbínou pro spád 1,6 m a s průtokem 8,5 m³/s pro 160 denní provoz v kalendářním roce. Při respektování účinností turbíny, převodu a generátoru lze dosáhnout výkonu necelých 97 kW (viz bod 2.2 Hydroenergetický potenciál). Tento výkon je instalovaný a pro již zmíněný 160 denní provoz, tj. 3 840 hodin.

$$P_{160} = P_{MVE} * t = 96\,819 * 3\,840 = 371\,784\,960 \text{ Wh} \doteq 0,372 \text{ GWh} \quad (4.1)$$

Vzorec (4.1) obsahuje výpočet vyrobené energie pro nastavený provoz 160 dní. Avšak turbína bude v provozu i mimo tento nastavený provoz, neboť Kaplanova turbína může efektivně pracovat již s polovičním průtokem, na který je nadimenzována. To znamená, že ke vzorci (4.1) musíme připočítat ještě výrobu za období, po které průtok řeky dosahuje poloviny průtoku, na který je turbína dimenzována. Vzorec (4.2) vyjadřuje, jak se změní vyrobená energie, pokud bude uvažován i již poloviční průtok. Tento průtok uvažujeme od 160. dne provozu. Například pro 215. den provozu hodnota průtoku dosahuje 5,6 m³/s. Tímto způsobem budu počítat průtoky po pěti dnech, než se dostanu na hodnotu polovičního průtoku, který je 4,25 m³/s. Nejblíže je této hodnotě 230. den, kde je průtok 4,4 m³/s (viz tab. 1.1 M – denní průtoky).

$$P_{mimo\ 160\ dní} = H * Q_{215} * \rho * g * \eta_c * t = 1,6 * 5,6 * 1000 * 9,81 * 0,72 * 30 * 24 = 45\,556\,116 \text{ Wh} \doteq 45,56 \text{ MWh} \quad (4.2)$$

Při postupu, jako je vzorec (4.2), bude po těchto výpočtech hodnota vyrobené energie 0,163 GWh. Tu ještě připočtu k vyrobené energii P_{160} a budu tak mít celkovou výrobu 0,535 GWh ročně (viz vzorec 4.3).

$$P_{rok} = P_{160} + P_{mimo\ 160\ dní} = 0,372 + 0,163 = 0,535 \text{ GWh} \quad (4.3)$$

Ze vzorců (4.1 – 4.3) je vidět, že když tento výkon malé vodní elektrárny Dolanský mlýn přepočteme na výrobu ve Wh, dostaneme roční výrobu, která činí téměř 0,535 GWh, což ve srovnání s ostatními malými vodními elektrárnami na Berounce není nijak málo. Pro představu, nejvýkonnější a zároveň největší malá vodní elektrárna na Berounce MVE Beroun má instalovaný výkon na čtyřech Kaplanových turbínách dohromady 720 kW

s roční výrobou 3 418 GWh. Jak již bylo zmíněno, jedná se o největší a nejvýkonnější malou vodní elektrárnu na Berounce. Vzhledem k vhodné lokalitě zde bylo možné navrhnout 4 turbíny, které umožňují tento instalovaný výkon. [10]

Zeměpisná poloha Dolanského mlýna je mezi MVE Bukovec mlýn a Valentovský mlýn. Instalovaný výkon malé vodní elektrárny Bukovec mlýn je 540 kW a instalovaný výkon Valentovského mlýna je 137 kW. Již zmíněný výkon Dolanského mlýna je 97 kW. To znamená, že na rozmezí 12 km mezi mlýny Bukovec a Valentovský tok řeky zpomaluje a spád se také snižuje.

4.2 Ekologické zhodnocení

Pro výstavbu vodní elektrárny je nejdůležitější její energetické využití. Avšak můžeme mít vhodnou lokalitu na toku, kde bude vysoký spád a velký průtok, ale pokud se bude nacházet v chráněné krajinné oblasti nebo národním parku, tak zde výstavba být provedena sice může, ale za přísných legislativních podmínek. Obecně jde o to, že v dané lokalitě může být vysoký energetický potenciál, ale legislativa tuto výstavbu nemusí vždy povolit. V dnešní době je nejdůležitější poměr cena – výkon. Elektrárny, a nejen ty vodní, jsou konstruovány a dimenzovány v co nejlepším tomto poměru. Nemá smysl investovat například miliony korun do malé elektrárny, která bude mít výkon jednotky kW. Ale pokud najdeme vhodnou lokalitu, pro kterou budou vhodné i finanční náklady, tak je zde prostor pro vybudování dané elektrárny.

Z ekologického i energetického hlediska je výběr lokality důležitý. Z energetického hlediska jde o co nejlepší využití energie vody, avšak z ekologického hlediska jde o to, aby elektrárna nenarušila krajinný ráz a místní ekosystém.

Vezmeme-li v úvahu všechny aspekty, je stavba vodní elektrárny nejlepším řešením. Vodní elektrárna může posloužit ke stabilizaci vodního toku v dané oblasti a pozvednout tak místní ekosystém. Dále vzhledem k tomu, že vodní elektrárna funguje na principu přeměny energie vody a nedochází zde k žádnému spalování, jedná se o bezemisní provoz, který je největším kladem vodních elektráren. Lokalita také může být blízko obydlí, jelikož její provoz není zdrojem nadměrného hluku a co se týče rizika úniku chemikálií, k tomu také dojít nemůže už jen z důvodu konstrukce elektrárny. Pokud by se ale tak stalo, tak se dnes používají vhodné mazací oleje, šetrné k životnímu prostředí a tak by, i když je únik nepravděpodobný, neznamenal ekologickou katastrofu na toku. Jez u malé vodní elektrárny také slouží k čištění toku, jelikož zachycené naplaveniny se podle zákona nesmí navracet do toku za jezem. Teoreticky se dá mluvit o tom, že vodní elektrárny, zejména ty malé, nemají žádné konstrukční nevýhody. Pokud by vodní tok a počasí nebyly proměnlivé, pak toto tvrzení můžeme považovat za pravdivé, ale jelikož tyto dva aspekty jsou silně subjektivní a v České republice hodně proměnné, tak je jasné, že vodní elektrárny své nevýhody mají. Počasí má silný vliv na parametry toku, proto při stavbě vodní elektrárny musíme počítat s průměrnými hodnotami, podle kterých jednak můžeme dimenzovat parametry vodní elektrárny, ale také díky těmto hodnotám můžeme do jisté

míry vývoj predikovat. Avšak malá vodní elektrárna nebude v provozu s maximálním výkonem po celou dobu svého provozu.

Elektrárny fungující na principu obnovitelných zdrojů nevypouštějí do ovzduší žádné emise a neprodukují odpad. Obnovitelné zdroje energie však nedisponují tak vysokou účinností jako elektrárny na fosilní paliva. Elektrárny na fosilní paliva však produkují nežádoucí odpad. Je to například popel, který zbývá po spalování nebo jiný odpad, který vzniká například odsiřováním. Dalším typem je jaderná elektrárna, která produkuje jaderný odpad, který je člověku životu nebezpečný a musí se neúměrně dlouhou dobu skladovat.

4.2.1 Ekologické zhodnocení MVE Dolanský mlýn

Mnou navržená rekonstrukce malé vodní elektrárny Dolanský mlýn a i další vodní elektrárny přispívají ke snižování množství emisí vypouštěných do ovzduší. A právě i malá vodní elektrárna nevelkého výkonu může ročně zamezit nežádoucí produkci velkého množství odpadu. Proto jsem se rozhodl demonstrovat toto tvrzení v následujících výpočtech.

Tab. 1.2 Průměrné hodnoty množství vyprodukovaných emisí v elektrárnách spalujících fosilní paliva

Emise	TZL [kg/GJ]	SO ₂ [kg/GJ]	NO _x [kg/GJ]	CO [kg/GJ]	CO ₂ [kg/GJ]	org. látky [kg/GJ]
Množství	0,025	0,489	0,415	0,039	325	0,030

Tabulka ukazuje průměrné hodnoty množství vyprodukovaných emisí v elektrárnách na fosilní paliva.

$$P_{rok} = P_{160} + P_{mimo\ 160\ dní} = 0,372 + 0,163 = 0,535\ GWh \quad (4.3)$$

$$P_{Joule} = P_{rok} * 3\ 600 = 535\ 000\ 000 * 3600 = 1\ 930\ 000\ 000\ J \doteq 1\ 930\ GJ \quad (4.4)$$

Podle vzorce (4.3) jsem vypočítal hodnotu vyrobené energie za rok, která vyšla 0,535 GWh. Podle druhého vzorce (4.4) jsem si tento výkon přepočel na GJ. Výkon v gigajoulech vyšel po přepočtu rovných 1 930 GJ. Tento přepočet jsem provedl z důvodu lepší interpretace a k usnadnění následujících výpočtů, které znázorní, jakému množství

odpadu se touto konkrétní malou vodní elektrárnou zamezí, oproti spalování fosilních paliv.

Ušetřené, respektive nevypuštěné škodlivé látky do ovzduší:

$$TZL_{ušetřené} = 1\,930 * 0,025 = 48,25 \text{ kg}$$

$$SO_{2ušetřené} = 1\,930 * 0,489 = 943,77 \text{ kg}$$

$$NO_{x_{ušetřené}} = 1\,930 * 0,415 = 800,95 \text{ kg}$$

$$CO_{ušetřené} = 1\,930 * 0,039 = 75,27 \text{ kg}$$

$$CO_{2ušetřené} = 1\,930 * 325 = 627\,250 \text{ kg} \doteq 628 \text{ tun}$$

$$org.\text{látky}_{ušetřené} = 1\,930 * 0,030 = 57,90 \text{ kg}$$

Když vezmeme v potaz ty nejběžnější škodlivé plyny a látky společně s jejich průměrnými hodnotami emisí, které vyprodukuje elektrárny spalující fosilní paliva, tak můžeme vidět průměrné množství, které tato elektrárna může životnímu prostředí ušetřit.

Uvedené výpočty znázorňují průměrné hodnoty ušetřených emisí tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého, oxidů dusíku, oxidu uhelného a uhlíčitého a organických látek.

Z vypočítaných hodnot je potvrzeno, že malá vodní elektrárna s instalovaným výkonem necelých 97 kW a roční výrobou 0,535 GWh je schopna významným způsobem ušetřit životnímu prostředí. Nejvýznamnější je hodnota oxidu uhlíčitého, jehož hodnota je 628 tun ročně. Hodnoty oxidů síry a oxidů dusíku se pohybují ve stovkách kilogramů. A v neposlední řadě jsou to tuhé znečišťující látky, organické látky a oxid uhelnatý, jejichž hodnoty dosahují desítky kilogramů ročně. Z těchto údajů je vidět, že elektrárna nemusí mít instalovaný výkon v jednotkách gigawatt, aby ušetřila životní prostředí před velkým množstvím vypuštěných skleníkových plynů, tuhých a organických látek.

4.3 Ekonomické zhodnocení

V ekonomické zhodnocení jsem se zabýval výpočtem nákladů na rekonstrukci a nákup jednotlivých komponentů týkajících se elektrárny, dále na výstavbu rybího přechodu, opravu jezu, náhonu, turbínového domku, na nákup nové turbíny, generátoru a ostatních komponentů, jako je kabeláž, měřící přístroje apod.

4.3.1 Ekonomické zhodnocení MVE Dolanský mlýn

Počáteční investice je investice, kde se sečte cena všech úkonů nutných pro rekonstrukci a dále součet všech komponentů, které budou v elektrárně instalovány. Jedná se o především o opravu jezu, turbínového domku, nákup soustrojí, kabeláže a vlastní náklady na chod malé vodní elektrárny. Ačkoliv je elektrárna schopna samostatného provozu, musí se do nákladů na provoz započítat cena maziva, mzda personálu, který bude provádět kontrolu čistoty česlí a údržbu objektu. V těchto nákladech je dále započítán vlastní provoz, tedy spotřeba elektrické energie potřebná k provozu elektrárny. Jako provozní náklady se obvykle počítá 0,5 % z celkových nákladů, v tomto případě 99 075 Kč. Další částka 100 035 Kč se předpokládá použít na financování vlastního provozu MVE.

Uvedené částky jsou pouze orientační, neboť do uvedených nákladů byly zakomponovány i stavební práce, jejichž hodnota se do zadání projektu nedá konkrétně určit. V tabulce jsou uvedeny tyto částky zaokrouhlené na celé desetitisíce. Lze tedy předpokládat, že v konečném součtu dojde k finanční rezervě.

Tab. 1.3 Počáteční investice

Položka	Cena
Turbína	500 000 Kč
Generátor	60 000 Kč
Převod	10 000 Kč
Rekonstrukce turbínového domku + úpravy náhonu a oprava česlí	5 000 000 Kč
Úprava přilehlého terénu	600 000 Kč
Vyčištění přívodního a odvodního kanálu	200 000 Kč
Vyčištění jezu	120 000 Kč
Rekonstrukce jezu	10 000 000 Kč
Instalace	100 000 Kč
Elektrotechnické vybavení (kabeláž, ochrany, instalace ...)	400 000 Kč
Cena projektu	100 000 Kč
Poplatky	25 000 Kč
Roční náklady (mazivo, mzdy, údržba ...)	200 000 Kč
Rybí přechod	2 500 000 Kč
Cena celkem	19 815 000 Kč

ř./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	2 195	1 105	1 380	973
101		1. 1. 2005	31. 12. 2013	2 814	1 724	2 150	1 516
102		1. 1. 2014	31. 12. 2014	2 759	1 669	-	-
103		1. 1. 2015	31. 12. 2015	2 705	1 615	-	-
104		1. 1. 2016	31. 12. 2016	2 652	1 562	-	-
105		1. 1. 2017	31. 12. 2017	2 303	1 213	-	-
106		1. 1. 2018	31. 12. 2018	2 258	1 168	-	-
107		1. 1. 2019	31. 12. 2019	2 214	1 124	-	-
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31. 12. 2013	2 814	1 724	2 150	1 516
111		1. 1. 2014	31. 12. 2014	2 759	1 669	-	-
112		1. 1. 2015	31. 12. 2015	2 705	1 615	-	-
113		1. 1. 2016	31. 12. 2016	2 652	1 562	-	-
114		1. 1. 2017	31. 12. 2017	2 303	1 213	-	-
115		1. 1. 2018	31. 12. 2018	2 258	1 168	-	-
116		1. 1. 2019	31. 12. 2019	2 214	1 124	-	-
120		Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1. 1. 2006	31. 12. 2007	3 126	2 036	2 480
121	1. 1. 2008		31. 12. 2009	3 309	2 219	-	-
122	1. 1. 2010		31. 12. 2010	3 596	2 506	-	-
123	1. 1. 2011		31. 12. 2011	3 516	2 426	2 480	2 404
124	1. 1. 2012		31. 12. 2012	3 664	2 574	-	-
125	1. 1. 2013		31. 12. 2013	3 638	2 548	-	-
126	1. 1. 2014		31. 12. 2014	3 567	2 477	-	-
127	1. 1. 2015		31. 12. 2015	3 497	2 407	-	-
128	1. 1. 2016		31. 12. 2016	3 257	2 167	-	-
129	1. 1. 2017		31. 12. 2017	2 852	1 762	-	-
130	1. 1. 2018		31. 12. 2018	2 796	1 706	-	-
131	1. 1. 2019	31. 12. 2019	2 741	1 651	-	-	

Obr. 4.2.: Výkupní ceny elektrické energie pro MVE podle ERÚ

Budeme předpokládat, že k uvedení elektrárny do provozu dojde ještě v tomto roce 2019. Aktuální výkupní cena je 2 741 Kč za každou MWh dodanou do rozvodné sítě. K této částce je možné připočítat ještě zelený bonus, který činí 1 651 Kč. Celková výkupní cena tedy může dosáhnout až 4 392 Kč/MWh. Pokud by však ke zprovoznění v roce 2019 nedošlo, tak za předpokladu trendu stálého poklesu výkupních cen, podle posledních let, budu počítat 3 roky, můžeme predikovat, že výkupní cena bude 2 685 Kč/MWh a zelený bonus 1 596 Kč/MWh. Tím pádem by celková výkupní cena pro rok 2020 činila 4 281 Kč/MWh. Dále předpokládám, že v roce 2021 by tyto ceny mohly být 2 630 a 1 541 Kč/MWh, což je celková výkupní cena 4 171 Kč/MWh. Z těchto čísel je vidět, že pokles výkupní ceny, za předpokladu stálého klesání, je řádově v desetikorunách a to pro elektrárnu s výkonem té v Dolanském mlýně by to nemělo velké dopady. Pro představu, za

těchto cen, ale stálých nákladů 200 000 Kč, by byl čistý výnos 1 274 031 Kč a to by prodloužilo návratnost o necelý rok.

Abychom zjistili, jak dlouho bude trvat, než se nám investice vrátí a elektrárna začne vydělávat, tak použijeme *výpočet prosté návratnosti*. Prostá výnosnost se počítá na celé roky a tak výsledek zaokrouhlíme nahoru, jelikož tímto modelem není možné tuto dobu uspíšit a za předpokládaných konstantních podmínek by k tomu ani nemohlo nikdy dojít. Je to nejjednodušší, ale velice často používaný ekonomický model, který nám pomáhá určit dobu návratnosti. Tento model však nepočítá s případnými změnami. Například dlouhodobé sucho nebo naopak větší množství srážek. V podstatě se jedná o stálý provoz za těchto konstantní podmínek.

$$T_p = \frac{IN}{V_{rok} - N_{rok}} = \frac{19\,815\,000}{1\,552\,133 - 200\,000} = 14,65 \doteq 15 \text{ let} \quad (4.4)$$

T_p – doba návratnosti [rok]

IN – investiční náklady [Kč]

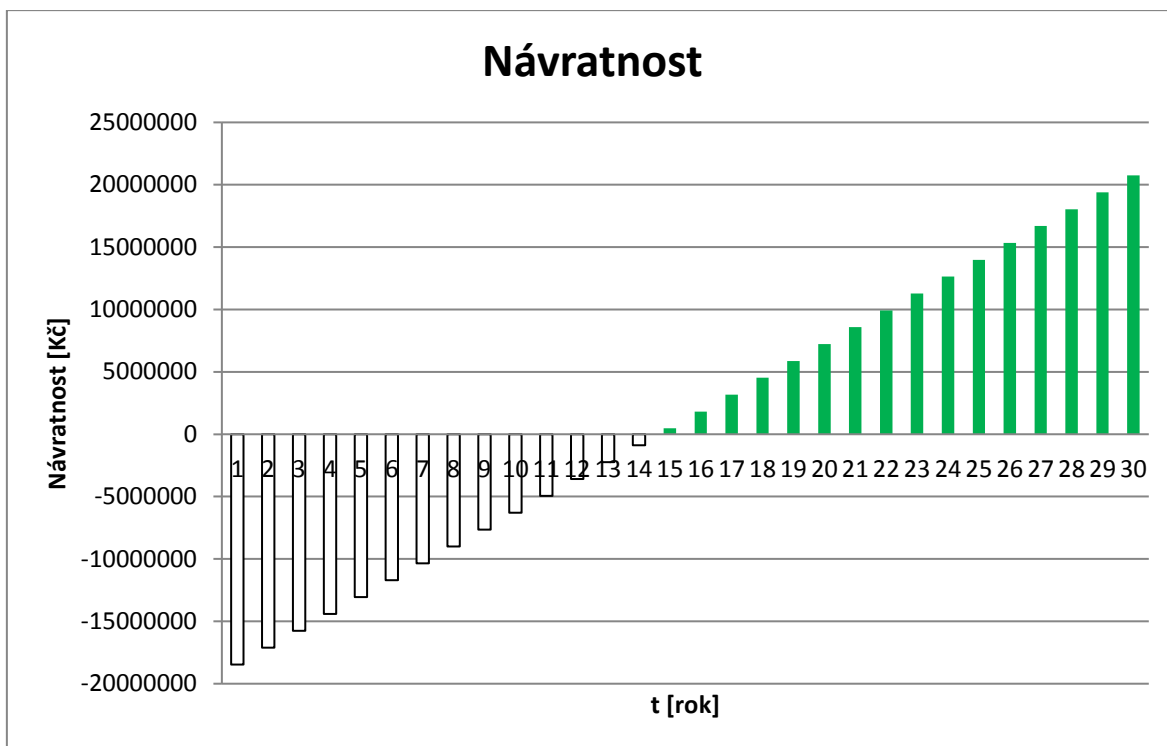
V_{rok} – roční výnos [Kč]

N_{rok} – roční náklady [Kč]

Tabulka 1.5 popisuje návratnost projektu. Pokud by se počítalo pouze s výkonem samotné elektrárny, byl by výnos 1 352 133 Kč s náklady, ale počítáme s výkupní cenou, která se bude počítat až za transformátorem, který nemá 100% účinnost a jak již bylo uvedeno ve vzorci (1.5), tak počítám s jeho účinností 0,95. Veškeré výpočty v této kapitole mají tuto účinnost již zahrnutou. Za první rok provozu bude návratnost záporná a to -18 246 286 Kč. Jsou to příjmy odečtené od nákladů. Podle výpočtu prosté návratnosti, který udává, že by mělo dojít k celkovému pokrytí počáteční investice mezi 14. a 15. rokem provozu. Z tabulky vidíme, že 14. rok provozu bude ztráta ještě necelý jeden milion korun, ale 15. rok provozu bude již čistý zisk 466 992 Kč. Poslední, 30. rok provozu, by měla být návratnost necelých 21 milionů Kč, a pokud by byl počáteční kapitál nulový, tak tato malá vodní elektrárna za těchto podmínek by generovala příjem přes 40 milionů korun.

Tab. 1.5 Návratnost

Rok provozu	Náklady	Příjmy	Návratnost
1	19 815 000 Kč	1 352 133 Kč	-18 462 867 Kč
2	-	2 704 266 Kč	-17 110 734 Kč
3	-	4 056 398 Kč	-15 758 602 Kč
4	-	5 408 531 Kč	-14 406 469 Kč
5	-	6 760 664 Kč	-13 054 336 Kč
6	-	8 112 797 Kč	-11 702 203 Kč
7	-	9 464 930 Kč	-10 350 070 Kč
8	-	10 817 062 Kč	-8 997 938 Kč
9	-	12 169 195 Kč	-7 645 805 Kč
10	-	13 521 328 Kč	-6 293 672 Kč
11	-	14 873 461 Kč	-4 941 539 Kč
12	-	16 225 594 Kč	-3 589 406 Kč
13	-	17 577 726 Kč	-2 237 274 Kč
14	-	18 929 859 Kč	-885 141 Kč
15	-	20 281 992 Kč	466 992 Kč
16	-	21 634 125 Kč	1 819 125 Kč
17	-	22 986 258 Kč	3 171 258 Kč
18	-	24 338 390 Kč	4 523 390 Kč
19	-	25 690 523 Kč	5 875 523 Kč
20	-	27 042 656 Kč	7 227 656 Kč
21	-	28 394 789 Kč	8 579 789 Kč
22	-	29 746 922 Kč	9 931 922 Kč
23	-	31 099 054 Kč	11 284 054 Kč
24	-	32 451 187 Kč	12 636 187 Kč
25	-	33 803 320 Kč	13 988 320 Kč
26	-	35 155 453 Kč	15 340 453 Kč
27	-	36 507 586 Kč	16 692 586 Kč
28	-	37 859 718 Kč	18 044 718 Kč
29	-	39 211 851 Kč	19 396 851 Kč
30	-	40 563 984 Kč	20 748 984 Kč



Obr. 4.3.: Návratnost projektu

Obrázek 4.3 demonstruje návratnost projektu. Z předchozích výpočtů můžeme vidět, že k prvnímu výdělků a plnému splacení počáteční investice dojde po osmi letech provozu. Pro určení procentuální návratnosti za rok, použijeme jednoduchou trojčlenku. Návratnost prvního roku je - 18 462 867 Kč s čistými příjmy 1 352 133 Kč. A tímto výpočtem můžeme dojít k závěru a to, že roční návratnost malé vodní elektrárny Dolanský mlýn je 7,3 %.

Závěr

V České republice jsou ty nejvhodnější lokality k výstavbě velkých vodních elektráren již obsazené, avšak hydroenergetický potenciál na českých řekách je stále dostatečný. Vzhledem k rozmanitosti vodních turbín pro malé vodní elektrárny je možné využívat k výrobě elektrické energie i malé průtoky a spády.

V této diplomové práci jsem se zabýval návrhem rekonstrukce malé vodní elektrárny v lokalitě Dolanského mlýna. V úvodní části práce jsem uvedl různé možnosti uspořádání malých vodních elektráren a následně nepoužívanější typy vodních turbín v nich používaných.

Podle dalšího bodu zadání jsem zhodnotil hydroenergetický potenciál v lokalitě Dolanského mlýna. Z ČHMÚ byla získána data potřebná k sestrojení roční odtokové křivky. Na základě této odtokové křivky a podle parametrů řeky Berounky v lokalitě Dolanského mlýna jsem určil výkon toku na 134 kW. K určení skutečného výkonu je však nutné počítat s účinností jednotlivých použitých komponentů (turbína, převod, generátor). Při respektování těchto účinností dochází ke snížení výkonu na necelých 97 kW.

Jako třetí bod zadání bylo zpracování návrhu vhodného řešení této malé vodní elektrárny. Podle průtoku a spádu jsem došel k závěru, že pro MVE Dolanský mlýn bude nejvhodnější použít Kaplanovu S-turbínu. Podle parametrů turbíny jsem provedl výběr firmy, která by mohla vyrobit tuto turbínu a firmy, která by pro tuto turbínu navrhla generátor. Součástí třetího bodu zadání bylo navrhnout i rybí přechod. Pro přehlednost jsem nejdříve uvedl hlavní druhy těchto přechodů, následně jsem je možné situoval v dané lokalitě. V další části jsem se zabýval vlastním návrhem, včetně popisu průběhu realizace MVE Dolanský mlýn.

Jako poslední, čtvrtý, bod zadání bylo zhodnocení projektu. Po energetické stránce byla vypočítána roční výroba, která dosahuje hodnoty 0,535 GWh. Z hlediska ekologického aspektu jsem zhodnotil, jakému množství škodlivých látek je provozem této MVE zabráněno. V závěru jsem se zabýval ekonomickým přínosem. Počáteční investice je předpokládána na necelých 20 milionů korun. Podle objemu roční výroby této malé vodní elektrárny a výkupní ceny, včetně uvažovaného zeleného bonusu za výrobu je vypočítán čistý příjem přes 1,3 milionu korun ročně. Při dosažení tohoto příjmu je vypočítáno, že ke splacení počáteční investice dojde za necelých 15 let provozu. Vyjádření této návratnosti v procentech dostaneme hodnotu 7,3 %.

Informační zdroje

Literatura

MELICHAR, Jan, VOJTEK, Jan, BLÁHA, Jaroslav. Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz, Praha 1998, ISBN 80-01-01808-0.

GABRIEL, Pavel, ČIHÁK, František, KALANDRA, Petr. Malé vodní elektrárny, Praha 1998, ISBN 80-01-01812-1

- [1] VOBOŘIL, David. Vodní elektrárny – princip, rozdělení – dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/vodni-elektrarnyprincip-a-rozdeleni/> [Cit. 26.10.2018]
- [2] VÍTKOVÁ, Eva. Malé vodní elektrárny přibývají, ale pomalu – dostupné z: <http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6662402> [Cit. 26.10.2018]
- [3] Energie vody – dostupné z: http://ok1zed.sweb.cz/s/el_vodniel.htm [Cit. 26.10.2018]
- [4] Slovník energetických pojmů – dostupné z: <http://uef.fe.i.stuba.sk/moodleopen/mod/glossary/view.php> [Cit. 26.10.2018]
- [5] Dolanský mlýn / Vodnimlyny.cz – dostupné z: <http://vodnimlyny.cz/mlyny/objekty/detail/468-dolansky-mlyn> [Cit. 12.11.2018]
- [6] Typy turbín – dostupné z: <https://publi.cz/books/90/12.html> [Cit. 13.4.2019]
- [7] Největší výrobci vodních turbín v ČR – dostupné z: <http://www.enviweb.cz/47251> [Cit. 7.5.2019]
- [8] Vodní energie TES VESTÍN s r.o. – dostupné z: <https://www.tes.cz/cz/product/vodni-energie/> [Cit. 23.4.2019]
- [9] Převody ozubenými koly ELUC – dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1904> [Cit. 23.4.2019]
- [10] Rybovod – dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnidilo/rybi-prechody.htm> [Cit. 20.4.2019]
- [11] Seznam MVE na Berounce – dostupné z: <http://www.tv-adams.wz.cz/berounka-mve.html> [Cit. 1.5.2019]
- [12] Abeceda malých vodních pohonů – dostupné z: <http://mve.energetika.cz/> [Cit. 24.5.2019]

Obrázky

Obr. 1.1 Francisova turbína – převzato z:

<http://uef.fe.i.stuba.sk/moodleopen/mod/glossary/view.php>

<http://www.omos.cz/novinky/detail/model-francisovy-turbiny.htm>

Obr. 1.2 Kaplanova turbína – převzato z:

<http://uef.fe.i.stuba.sk/moodleopen/mod/glossary/view.php>

Obr. 1.3 Peltonova turbína – převzato z:

<http://uef.fe.i.stuba.sk/moodleopen/mod/glossary/view.php>

Obr. 1.4 Bánkiho turbína – převzato z:

<http://uef.fe.i.stuba.sk/moodleopen/mod/glossary/view.php>

Obr. 1.5 Archimedův šroub – převzato z:

https://benesovsky.denik.cz/galerie/foto.html?mm=_nek&back=3784045591-58-2&photo=1

Obr. 2.1 Dolanský mlýn a Dolanský most na řece Berounce:

KODLOVSKÝ, Petr. Dolanský mlýn.

Obr. 2.2 Dolanský mlýn s vilou a jezem:

ČECHOVÁ, Olga. Dolanský mlýn.

Obr. 2.3 Stav objektu Dolanského mlýna náhon vody na turbínu (síta náhonu) – vlastní

Obr. 2.4 Odtoková křivka (graf Microsoft office Excel) – vlastní

Obr. 2.5 Odtoková křivka za rok 2014 (graf Microsoft office Excel) – vlastní

Obr. 2.6 Odtoková křivka za rok 2015 (graf Microsoft office Excel) – vlastní

Obr. 2.7 Odtoková křivka za rok 2016 (graf Microsoft office Excel) – vlastní

Obr. 2.8 Odtoková křivka za rok 2017 (graf Microsoft office Excel) – vlastní

Obr. 2.9 Odtoková křivka za rok 2018 (graf Microsoft office Excel) – vlastní

Obr. 3.1 Výběr turbíny podle průtoku a spádu – převzato z:

<http://mve.energetika.cz/vodnimotory/turbiny-obecne.htm>

Obr. 3.2 Kaplanova S-turbína s vnějším horizontálním generátorem – převzato z:

<http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.htm>

Obr. 3.3 Převod ozubenými koly – převzato z:

<http://eshop.ameco.cz/produkty/Kuzelove-sukolesia-z-acetalu-prevod-11---51>

Obr. 3.4 Rybovod kaskádový – převzato z:
<http://mve.energetika.cz/vodnidilo/rybi-prechody.htm>

Obr. 3.5 Rybovod meandrový – převzato z:
<http://mve.energetika.cz/vodnidilo/rybi-prechody.htm>

Obr. 3.6 Biokoridor – převzato z:
<http://mve.energetika.cz/vodnidilo/rybi-prechody.htm>

Obr. 3.7 Možné řešení rybího přechodu - vlastní

Obr. 3.8 Rybovod meandrový – převzato z:
<http://mve.energetika.cz/vodnidilo/rybi-prechody.htm>

Obr. 3.9 Návrh meandrového rybího přechodu u MVE Dolanský mlýn – vlastní

Obr. 3.10 Rybí přechod na Břeclavsku (možné řešení v lokalitě Dolanského mlýna) – převzato z:
<https://breclavsky.denik.cz/galerie/rybi-prechod-v-breclavi.html?photo=3>

Obr. 3.11 Návrh kaskádového rybího přechodu u MVE Dolanský mlýn – vlastní

Obr. 3.12 Za jezem – vlastní

Obr. 3.13 CAD nákres objektu Dolanského mlýna – vlastní

Obr. 3.14 Jez a vtok do turbínového domku – vlastní

Obr. 3.15 Rybí přechod u MVE Dolanský mlýn – vlastní

Obr. 3.16 Uložení turbíny v turbínovém domku – vlastní

Obr. 4.1 Poloha MVE na Berounce s polohou Dolanského mlýna – převzato z:
<https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1v0Ncmb0ccGPVb8-Gp3vChgou92g&hl=cs&ll=49.907003754026576%2C13.907198499999936&z=10>

Obr. 4.2 Výkupní ceny elektrické energie pro MVE podle ERÚ – převzato z:
<https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/91-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>

Obr. 4.3 Návratnost projektu (graf Microsoft office Excel) – vlastní

Přílohy

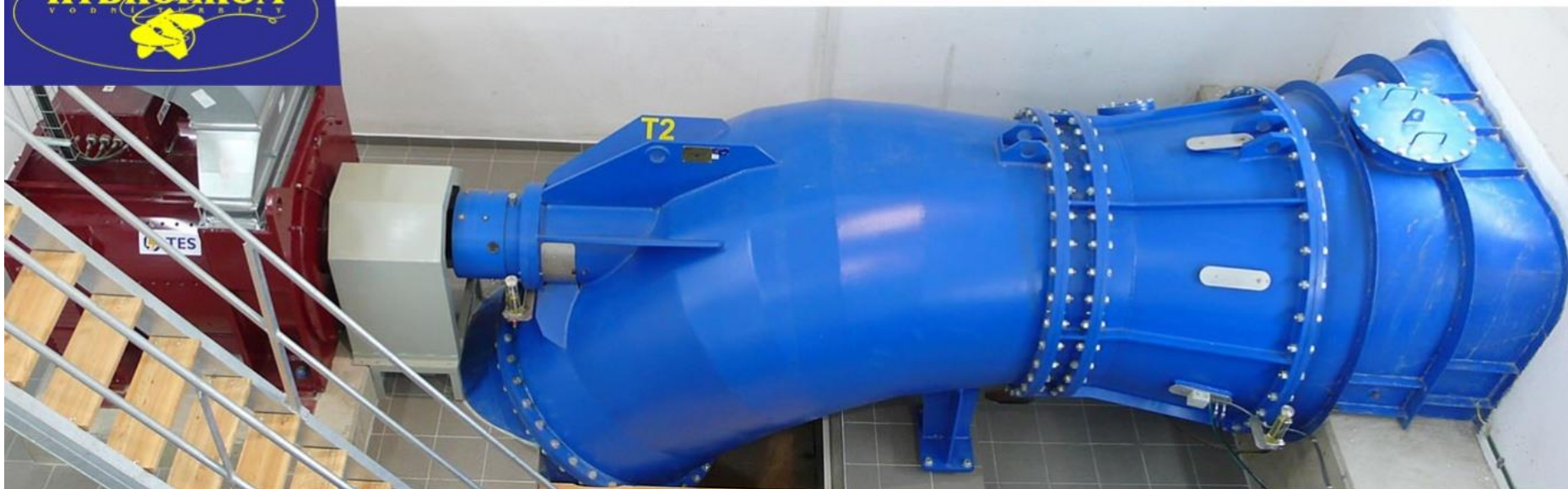


[HOME](#) | [COMPANY](#) | [TURBINES](#) | [PRODUCTION](#) | [PROJECTS](#) | [NEWS + EVENTS](#) | [CONTACT](#) | [DOWNLOADS](#)



MAVEL TURBINES FOR HYDROELECTRIC POWER

M a v e l, a.s. is a global leader in the provision of water-to-wire equipment for hydroelectric power plants utilizing turbines with installed capacity of 30 kW to 30 MW. Founded in 1990, this Czech-American engineering and manufacturing company has over 100 proprietary designs for Kaplan, Francis, Pelton and micro turbines. Mavel turbines are installed in 43 countries on five continents.



Horizontální S-turbína typu Semi-Kaplan

Regulace oběžného kola, rozváděcí lopatky pevné. Patří mezi nejčastěji používané stroje na nově budovaných malospádových vodních elektrárnách. Bývá použita i při přestavbě starších vodních děl původně osazených vertikální Francisovou turbínou, kde často dosahuje lepšího využití toku. Výhodou jsou malé náklady na stavební část. Instalace je buď s řemenovým převodem nebo s přímým spojením na generátor. Pro odstavení turbíny je použit gravitační deskový uzávěr na vstupní části.



WHITEENERGY O NÁS SLUŽBY POPTÁVKA / KONTAKT

Vyrábíme technologie pro **malé vodní elektrárny**. Opravujeme **vodní turbíny**. Modernizujeme regulace. Vadné součásti odlijeme a nahradíme, opravíme kluzná ložiska či převody. Dodáváme i **starší použité turbíny** od zahraničních výrobců. Poptávkou získáte **nezávaznou informaci o ceně a parametrech poptávaného stroje**.

PRODEJ POUŽITÝCH TURBÍN

Nabízíme prodej starších použitých turbín od zahraničních výrobců. Na základě požadavku zašleme informaci o ceně a parametrech poptávaného stroje.

[více informací](#)

KAPLANOVA TURBÍNA
Kaplanovy turbíny od průměru oběžného kola 300 mm do 1200 mm.

FRANCISOVA TURBÍNA
Francisovy turbíny od průměru oběžného kola 180 mm do 800 mm.

PELTONOVA TURBÍNA
Peltonovy turbíny horizontální a vertikální do průměru oběžného kola 1400 mm.

TES

O nás | Výrobky a služby | Certifikace | Reference | Kariéra | Novinky | Kontakty

EN CZ DE   

100 let zkušeností s výrobou elektrických strojů

O nás

Servis a služby

Široká nabídka servisních služeb včetně testování, instalace, údržby, opravy, obnovení a zvýšení výkonu.

Ukázat více

Stroje a řešení

Plně integrovaná výroba elektrických strojů do 30 MW, od designu po konečnou montáž a testování.

Ukázat více

Systémové komponenty

Integrovaná výroba komponentů pro elektrické stroje používané pro širokou škálu odvětví.

Ukázat více