

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**STUDIE VYUŽITÍ VODNÍHO TOKU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

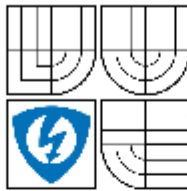
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**MICHAL GÖRIG**

**BRNO 2008**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Michal Görig  
**Ročník:** 3

**ID:** 78188  
**Akademický rok:** 2008/2009

**NÁZEV TÉMATU:**

**Studie využití vodního toku**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Stručný úvod a volba vhodné lokality
2. Návrh strojní části
3. Technické řešení vyvedení výkonu
4. Ekonomické zhodnocení

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Dle doporučení vedoucího.

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 1.6.2009

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

**doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.**

*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

**LICENČNÍ SMLOUVA**  
**POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO**

uzavřená mezi smluvními stranami:

**1. Pan/paní**

Jméno a příjmení: Michal Görig

Bytem: Veřovice 468, 74273

Narozen/a (datum a místo): 10.5.1985, Čeladná

(dále jen „autor“)

a

**2. Vysoké učení technické v Brně**

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc

(dále jen „nabyvatel“)

**Čl. 1**

**Specifikace školního díla**

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: ..... Studie využití vodního toku

Vedoucí/ školitel VŠKP: ..... doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Ústav: ..... Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

- tištěné formě      –      počet exemplářů .....
- elektronické formě      –      počet exemplářů .....

---

\* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## Článek 2

### Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## Článek 3

### Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

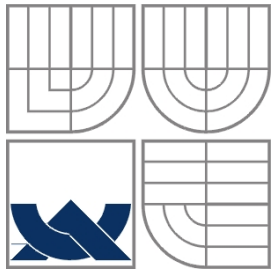
Bibliografická citace práce:

GÖRIG, M. *Studie využití vodního toku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.

Prohlašuji, že jsem svou **bakalářskou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Zároveň bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Antonínu Matouškovi, CSc. Za připomínky a cenné rady k mé práci.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**  
**Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

# **Studie využití vodního toku**

**Michal Görig**

**vedoucí: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.**

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**Faculty of Electrical Engineering and Communication  
Department of Electrical Power Engineering**

**Bachelor's Thesis**

# **Usage rate Watercourse**

**by**

**Michal Görig**

**Supervisor: doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc.**

**Brno University of Technology, 2009**

**Brno**

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na návrh malé vodní elektrárny. V prvním kroku je soustředěna na teoretický úvod do oblasti obnovitelných zdrojů elektrické energie, popisuje různé typy vodních elektráren a jejich turbín. Dále se soustředí na výběr vhodné lokality pro stavbu MVE. Návrh strojního zařízení obsahuje především vhodnou turbínu a generátor. V elektrické části, která je dalším krokem, se zabývá vyvedením výkonu z elektrárny a napojením na veřejnou distribuční síť. V poslední části je hodnocena výše investic na realizaci malé vodní elektrárny.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Malá vodní elektrárna, energie vody, turbína, generátor

**ABSTRACT**

The Bachelor's project deals with a design of the small water power plant. In the first part of project there is a theoretic introduction about renewable energy sources and possibilities to electric energy produce from them, it describes possible types of water-power plants and their turbines. Next part is specialized for the choice of suitable area for building of mentioned small power plant. The design of machinery contains suitable turbine and generator. The electric part of water-power plant and connection to electric grid is also described. The last part values the investment to realization of this power plant.

**KEY WORDS:** Small water power plant, water energy, turbine, generator

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>13</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>14</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>15</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>16</b>
<b>2 TEORETICKÝ ÚVOD.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 HISTORIE VODNÍCH ELEKTRÁREN .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 NEOBNOVITELNÉ A OBNOVITELNÉ ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN PODLE PRINCIPU AKUMULACE VODNÍ ENERGIE.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 VODNÍ ELEKTRÁRNY PŘEHRADNÍ .....	18
2.3.2 VODNÍ ELEKTRÁRNY PŘEČERPÁVACÍ .....	18
2.3.3 VODNÍ ELEKTRÁRNY DERIVAČNÍ.....	19
<b>2.4 ROZDĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN PODLE SPÁDU.....</b>	<b>20</b>
2.4.1 NÍZKOTLAKÉ.....	20
2.4.2 STŘEDOTLAKÉ .....	20
2.4.3 VYSOKOTLAKÉ .....	21
<b>2.5 ZÁKLADNÍ DRUHY TURBÍN.....</b>	<b>21</b>
2.5.1 BÁNKIHO TURBÍNA .....	21
2.5.2 PELTONOVA TURBÍNA .....	21
2.5.3 FRANCISOVA TURBÍNA.....	22
2.5.4 KAPLANOVA TURBÍNA .....	22
2.5.5 REIFFESTEINOVA TURBÍNA .....	22
<b>2.6 HLAVNÍ ČÁSTI MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY (MVE).....</b>	<b>23</b>
2.6.1 VTOKOVÝ OBJEKT.....	23
2.6.2 STROJOVNA.....	23
2.6.3 TURBÍNA .....	24
2.6.4 PŘEVODOVKA .....	24
2.6.5 GENERÁTOR.....	24
2.6.6 ROZVODNA .....	24
2.6.7 VÝTOKOVÝ OBJEKT .....	25
<b>3 POPIS LOKALITY MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY .....</b>	<b>26</b>
<b>4 TECHNICKÝ NÁVRH STROJNÍ ČÁSTI MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY .....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 NÁVRH TURBÍNY.....</b>	<b>30</b>
<b>4.2 NÁVRH GENERÁTORU .....</b>	<b>32</b>
<b>4.3 NÁVRH PŘEVODU .....</b>	<b>32</b>
<b>5 ELEKTRICKÁ ČÁST MVE VČETNĚ VYVEDENÍ VÝKONU .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ MVE.....</b>	<b>33</b>
5.1.1 LICENCE PRO PROVOZOVÁNÍ MVE.....	33
5.1.2 PLNĚNÍ PŘIPOJOVACÍCH PODMÍNEK K DISTRIBUČNÍ SÍTI. ....	33
<b>5.2 NÁVRH KOMPENZAČNÍHO KONDENZÁTORU .....</b>	<b>36</b>

---

5.3 BLOKOVÉ SCHÉMA SILOVÝCH ČÁSTÍ MVE.....	37
5.4 VYVEDENÍ VÝKONU Z MVE .....	39
<b>6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU.....</b>	<b>41</b>
6.1 POZEMKY.....	41
6.2 CENA STAVEBNÍCH PRACÍ.....	41
6.3 CENA STROJNÍ ČÁSTI MVE .....	41
6.4 CENA ELEKTROINSTALAČNÍ ČÁSTI MVE.....	41
6.5 CELKOVÁ CENA STAVBY MVE.....	41
6.6 CENOVÉ ROZHODNUTÍ ENERGETICKÉHO REGULAČNÍHO ÚŘADU .....	42
6.7 VYPOČTENÝ ROČNÍ ZISK MVE .....	43
6.8 ČASOVÁ NÁVRATNOST INVESTIC .....	44
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>45</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>46</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obrázek 1: Podíl elektráren podle typu na instalovaném výkonu k 31. 12. 2007 (v %)</i> .....	16
<i>Obrázek 2: Přehradní vodní elektrárna LIPNO I</i> .....	18
<i>Obrázek 3: Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně</i> .....	19
<i>Obrázek 4: Schéma derivační vodní elektrárny</i> .....	19
<i>Obrázek 5: Schéma provedení nízkotlaké vodní elektrárny</i> .....	20
<i>Obrázek 6: Schéma provedení středotlaké vodní elektrárny</i> .....	20
<i>Obrázek 7: Schéma provedení vysokotlaké vodní elektrárny</i> .....	21
<i>Obrázek 8: Rozsah použití základních druhů turbín</i> .....	23
<i>Obrázek 9: Místo stavby MVE</i> .....	26
<i>Obrázek 10: Detailní pohled na místo stavby MVE</i> .....	26
<i>Obrázek 11: Pohled na budoucí umístění MVE</i> .....	27
<i>Obrázek 12: Pohled na hráz a vodní nádrž</i> .....	28
<i>Obrázek 13: Průměrný roční průtok</i> .....	29
<i>Obrázek 14: Oblasti použití a dosahované parametry turbín</i> .....	30
<i>Obrázek 15: Způsob uložení turbíny</i> .....	31
<i>Obrázek 16: Kompenzační kondenzátory firmy KBH Energy s.r.o.</i> .....	37
<i>Obrázek 17: Blokové schéma silové části MVE</i> .....	38
<i>Obrázek 18: Násuvný měřicí transformátor proudu ASR21,5 firmy GHV Trading s.r.o.</i> .....	39

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1:Průměrný roční průtok.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabulka 2:Parametry asynchronního motoru .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 3:udávající aktuální výkupní ceny elektrické energie během nepřetržitého provozu.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 4:udávající aktuální výkupní ceny elektrické energie během pološpičkového provozu....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 5:udávající aktuální výkupní ceny elektrické energie během pološpičkového provozu....</i>	<i>43</i>

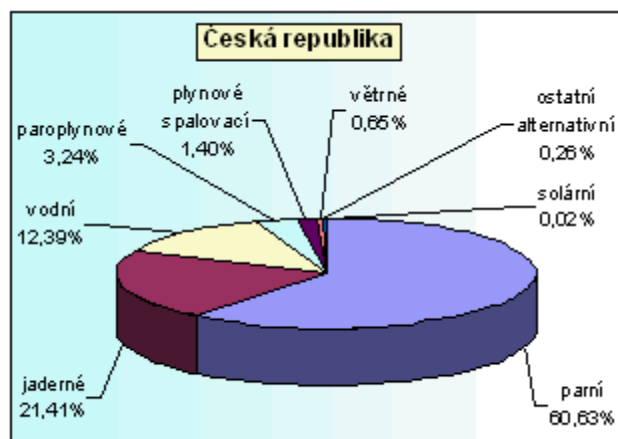
**SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\cos\varphi$	účinník, úhel posunutí časového průběhu proudu a napětí
$d$	průměr turbíny
$DS$	distribuční soustava
$ERÚ$	Energetický regulační úřad
$g$	gravitační zrychlení
$h$	spád
$MVE$	malá vodní elektrárna
$n$	skutečné otáčky turbíny
$n_1$	jednotkové otáčky
$n_{gen}$	otáčky generátoru
$n_{skut}$	otáčky skutečné
$n_{syn}$	otáčky synchronní
$n_{turbíny}$	otáčky turbíny
$P$	celkový výkon elektrárny
$p$	převod
$P_d$	Vyrobený výkon
$Q$	průtok turbínou
$Q_d$	dlouhodobý průměrný průtok
$Q_k$	kompenzační výkon
$S$	průřez vodiče
$t$	24 hodinový provoz MVE
$Un$	jmenovité napětí
$Vc$	výrobní cena
$Vr$	celkový roční výnos
$x$	počet dní, ve kterých MVE bude pracovat
$\Delta$	zapojení do trojúhelníku
$\eta$	účinnost turbíny

# 1 ÚVOD

Obsahem této bakalářské práce je seznámení s využíváním vodní energie v České republice a konkrétně návrh malé vodní elektrárny na vodním toku Jičínka.

Česká republika patří mezi hlavní evropské rozvodí s využitelným elektrickým potenciálem 3,4 TWh/rok. Vodní elektrárny v České republice mají přibližně 13% podíl na celkovém instalovaném elektrickém výkonu a přibližně 4% podíl na celkové výrobě elektřiny.



Obrázek 1: Podíl elektráren podle typu na instalovaném výkonu k 31. 12. 2007 (v %)

Vodní energie by měla být do budoucna jedním z hlavních zdrojů elektrické energie, která je šetrná k životnímu prostředí. Její hlavní výhodou je úplná nebo částečná energetická nezávislost. Proti větrným a slunečním elektrárnám je nejstabilnějším zdrojem energie a dodává větší výkon. Její podíl na celkové výrobě elektrické energie v České republice by měl do budoucna stoupat.

## 2 TEORETICKÝ ÚVOD

### 2.1 Historie vodních elektráren

Co to vlastně je vodní elektrárna? Je to technologický celek měnící kinetickou energii vody na energii elektrickou. Vodní elektrárny patří k obnovitelným zdrojům, protože je nelze vyčerpát a minimálně znečišťují životní prostředí.

Historie vodních elektráren je stará několik století. Za průkopníka vodních elektráren je považován Thomas Alva Edison, který postavil jednu z prvních v Appletonu. V Českých zemích se datuje první elektrárna ještě před koncem 19. století.

### 2.2 Neobnovitelné a obnovitelné zdroje elektrické energie

Mezi neobnovitelné zdroje v České republice patří zejména výroba elektřiny z černého a hnědého uhlí v tepelných elektrárnách. Tím se rozumí nenávratná přeměna uhlí na energii. Tato výroba je velice nešetrná ke svému okolí. Ať už se jedná o znečišťování ovzduší z vypouštěných zplodin vznikajících při nedokonalém spalování, ale i devastaci a přeměnu krajiny při dobývání povrchového uhlí v krajinu „měsíční“. Ve světě dále mezi neobnovitelné zdroje řadíme zejména ropu a zemní plyn.

Obnovitelné zdroje elektrické energie jsou takové zdroje, které pro svou činnost využívají obnovitelnou energii. Tu lze čerpat ze slunce jako solární, z moře jako gravitační, či z větru jako větrnou a z vody jako kinetickou. Tyto druhy energie lidstvo doprovází po celou dobu jeho existence a jsou prakticky nevyčerpatelné. Jejich používání neznečišťuje životní prostředí. Obnovitelné zdroje mohou poskytnout dostatek energie pro celé lidstvo, problémem však je jejich ekonomicko-technická stránka. V současnosti jsou mnohem levnější klasické druhy energie jako spalování černého a hnědého uhlí, dřeva a v neposlední řadě i plynu. V této době ještě žádný stát nepřistoupil k vyčíslení škod způsobených touto klasickou energetikou, zejména kontaminací celého ekosystému z vypuštěných zplodin ze spalovacích procesů, či přímé poškozování životního prostředí těžbou a zábořem půdy (vody). V budoucnu mohou ovšem tyto zdroje zasáhnout do energetiky docela podstatně. Nárůst cen klasických zdrojů bude mít za následek, že jejich provoz bude ekonomičtější. Podobná situace již nastala ve Švédsku, kde se začala ve velké míře používat tepelná čerpadla. Celý projekt ze začátku financovala tamní vláda. Dle mého názoru je to učebnicový příklad, který by si měly vzít za vzor i ostatní země.

## 2.3 Dělení vodních elektráren podle principu akumulace vodní energie

### 2.3.1 Vodní elektrárny přehradní

Nejběžnějším typem vodní elektrárny je přehradní elektrárna. Tento typ - obvykle velká vodní elektrárna - využívá přehradu pro zadržení říční vody v nádrži. Voda vypouštěná z přehrady proudí přes turbíny, které roztáčí, a pohání tak generátor na výrobu elektrické energie. Voda je z nádrže vypouštěna pro krytí proměnlivých požadavků na elektrickou energii nebo pro udržení konstantní úrovně hladiny v nádrži.



Obrázek 2: Přehradní vodní elektrárna LIPNO I

### 2.3.2 Vodní elektrárny přečerpávací

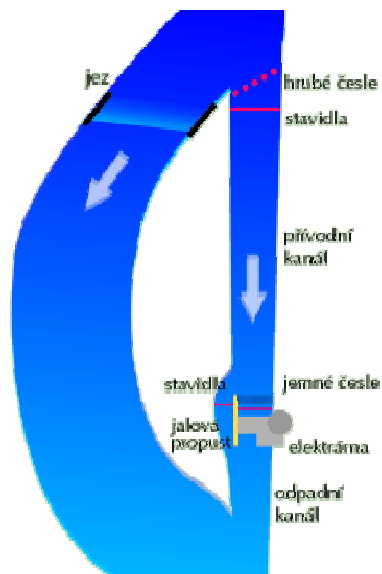
Jsou složeny ze dvou nádrží. Jedna je umístěna níže a druhá výše. Obě jsou propojeny potrubím. Mimo špičku, kdy nejsou požadavky na elektřinu, je pomocí přebytku elektřiny přečerpávána voda z nižší nádrže do vyšší. Když vzrostou požadavky na elektřinu, je voda z vyšší nádrže vypouštěna a s pomocí gravitace se dostává přes turbínu do nižší nádrže, čímž vyrábí elektrickou energii. Zástupcem této skupiny je elektrárna Dlouhé Stráně.



Obrázek 3: Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé Stráně

### 2.3.3 Vodní elektrárny derivační

Derivační elektrárny, jinak nazývané říční, využívají k výrobě elektrické energie přirozeného toku. Část toku řeky je odkloněna přivaděčem k turbínám, které pohánějí generátor vyrábějící elektrickou energii. Tyto elektrárny jsou ovšem ovlivněny počasím a proměnným průtokem řeky a tím je ovlivněno i množství vyrobené energie. Například vodní elektrárna Bukovec u Plzně na řece Berounce.

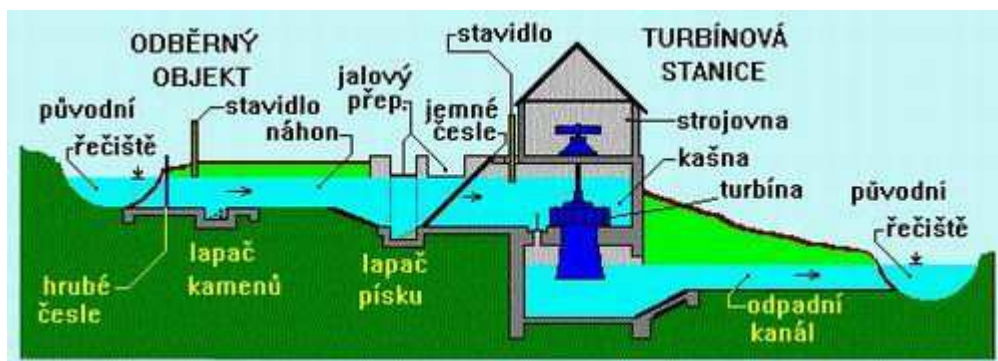


Obrázek 4: Schéma derivační vodní elektrárny

## 2.4 Rozdělení vodních elektráren podle spádu

### 2.4.1 Nízkotlaké

Nízkotlaké vodní elektrárny jsou elektrárny do výše spádu 20m bez přívodního potrubí. V těchto elektrárnách se používají k výrobě elektrické energie Kaplanovy turbíny, které jsou určeny pro tyto malé spády. Voda proudí přímo na lopatky turbíny a roztáčí generátor. Jako příklad je možno uvést Malšovický jez na řece Orlici v Hradci Králové.



Obrázek 5: Schéma provedení nízkotlaké vodní elektrárny

### 2.4.2 Středotlaké

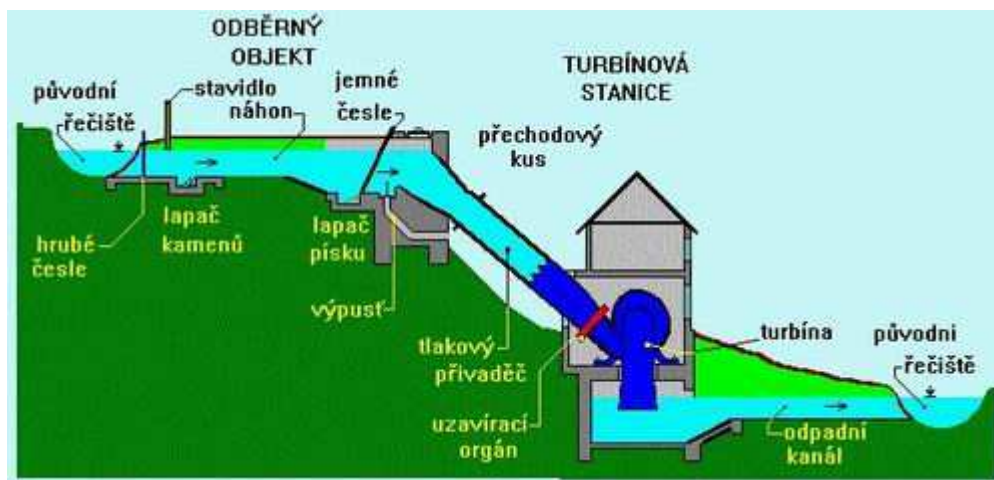
Středotlaké vodní elektrárny jsou elektrárny se spády do 100m. Voda proudí k turbíně pomocí přívodního ocelového potrubí a roztáčí generátor.



Obrázek 6: Schéma provedení středotlaké vodní elektrárny

### 2.4.3 Vysokotlaké

Vysokotlaké jsou všechny elektrárny se spády nad 100m. Zástupci této skupiny bývají především přečerpávací vodní elektrárny. Například již dříve zmíněné Dlouhé Stráně.



Obrázek 7: Schéma provedení vysokotlaké vodní elektrárny

## 2.5 Základní druhy turbín

### 2.5.1 Bánkiho turbína

Teoreticky byl jejím vynálezcem Australan A.G.M. Mitchel v r. 1903, avšak k praktickému použití ji dopracoval až v roce 1918 maďarský profesor D. Bánki. Voda je do turbíny přiváděna potrubím obdélníkového tvaru. V první fázi se lopatky snaží odklonit směr tekoucí vody do středu kola k hřídeli, voda předá lopatkám turbíny 79% celkového výkonu, Vlivem souběhu mezi rychlostí vody a otáčením kola mine voda střed turbíny a vzdušným prostorem vstoupí do lopatek turbíny na protější straně a předá zbývajících 21% výkonu. Jinak řečeno první průtok turbínou je dostředivý a druhý odstředivý. Poté voda volně vytéká pod oběžné kolo.

### 2.5.2 Peltonova turbína

Tato turbína byla vynalezena Lesterem Allenem Peltonem v roce 1880. Voda je dovedena kruhovým potrubím až k lopatce turbíny. Celý výkon vody se přetransformuje na pohybovou energii. Břit uprostřed lopatky „rozřízne“ proud na dvě poloviny, ty dopadají na lžícovitý tvar lopatky, které se snaží otočit proudy vody zpět. Tímto způsobem předá voda turbíně téměř celou svou energii a na druhé straně turbíny vytéká s minimální zbytkovou rychlostí.

### 2.5.3 Francisova turbína

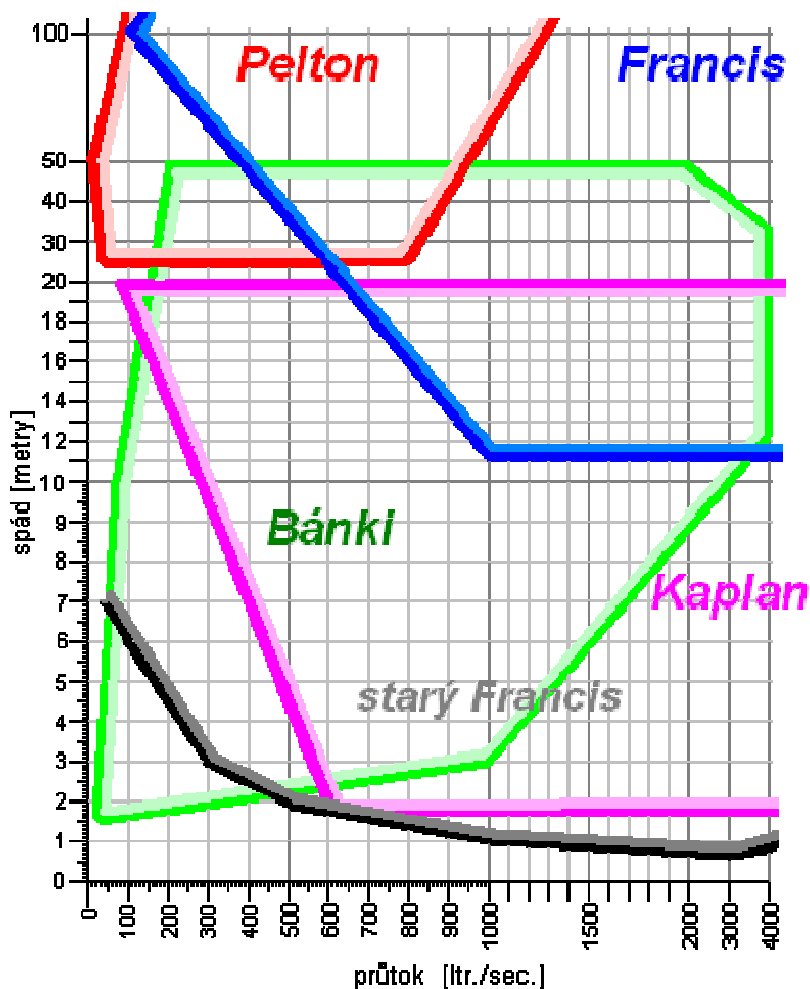
Vertikální Francisova turbína se v minulosti hojně používala k osazení vodních děl jezových. Používala se nejčastěji jako hlavní mechanický pohon větších mlýnů, městských elektráren a průmyslových závodů. Toto technické uspořádání se používá na spádech od 1,5m (s násoskovou kašnou již od 0,5m) do cca 4 až 5m, při středních a velkých průtocích (přibližně od 600 do 8000 litrů/sec.) Vlastní turbína je umístěna na dně turbínové kašny naplněné vodou. Její hřídel vede svisle vzhůru do strojovny, která je dostatečně vysoko nad spodní vodou, aby nehrozilo její zaplavení. Voda vniká z kašny do regulovatelných rozváděcích lopatek po celém obvodu turbíny. Při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. V zakřivených mezilopátkových kanálech oběžného kola voda mění směr i rychlost a tím předává svoji energii. Po výtoku z oběžného kola se voda odvádí do odpadního kanálu. Protože je turbína z důvodů snadné údržby a oprav nad spodní hladinou, je voda odváděna savkou. Nepracuje-li turbína při jmenovitém průtoku (a to je vzhledem k našim hydrologickým poměrům často), dochází za oběžným kolem k rotaci vodního sloupce v savce. Proto má savka kruhový, případně je-li zahnutá - mírně oválný průřez, který tento jev omezuje. Voda při průchodu kuželovitě se rozšiřující savkou snižuje rychlost, což s hmotností celého vodního sloupce v ní vytváří podtlak přenášející se na odtokovou stranu oběžného kola.

### 2.5.4 Kaplanova turbína

Tato turbína patří mezi nejrozšířenější turbíny instalované do nových malospádových elektráren. Technické uspořádání turbíny ji umožňuje použít pro spády 1,5 až 5,5 m a od 250 až do 6000 litrů/sec. Její výhodou je malá stavební výška a tím i instalace do malých jezových elektráren. Její nevýhodou je mechanická složitost a tím pádem i vysoká cena. Kaplanovu turbínu je proto výhodné umístit tam, kde je vysoká kolísavost průtoku a umístění jednodušší turbíny by přinášelo velké ztráty.

### 2.5.5 Reiffesteinova turbína

Jedná se o málo rozšířenou přetlakovou turbínu používající se na spádech 5-35m a průtocích od 100 do 5000litrů/s. Navrhl ji M. Reiffenstein v roce 1925. Turbína může být osazena Francisovým oběžným kolem, kolem vrtulovým nebo Kaplanovým. Podle toho je turbína nazývána Francis-Reiffensteinova, Propeler-Reiffensteinova nebo Kaplan-Reiffensteinova. Typ oběžného kola má velký vliv na vlastnosti stroje. Turbína může být řešena jako vertikální nebo častěji jako horizontální.



Obrázek 8: Rozsah použití základních druhů turbín

## 2.6 Hlavní části malé vodní elektrárny (MVE)

### 2.6.1 Vtokový objekt

Je umístěn před vodní elektrárnou a jedná se o objekt mající za úkol odstranit z vody přitékající do vodní elektrárny mechanické nečistoty, jako jsou spadlé stromy, větve, PET láhve, ale i třeba listy spadlé ze stromů a plovoucí po hladině. Vtokový objekt obsahuje zpravidla tyto části: nornou stěnu, hrubé a jemné česle.

### 2.6.2 Strojovna

Budova, ve které je umístěna samotná turbína, převodovka, generátor elektrické energie a rozvodna. Pokud se jedná o větší MVE může v ní být umístěn velín, ze kterého lze řídit celou činnost MVE

### 2.6.3 Turbína

Jedná se o točivý stroj mechanický přeměňující pohybovou energii vody protékající jeho lopatkami na mechanickou energii. Prvními předchůdci turbín byly vodní kola.

### 2.6.4 Převodovka

Převodovka má za úkol převádět pomalé otáčky turbíny na rychlejší jmenovité otáčky generátoru. U MVE nebývá totiž generátor spojen přímo s hřídelí turbíny, ale je s ní spojen přes soustavu ozubených kol. Někdy je pro spojení hřídele turbíny a generátoru použito také řemenového převodu, ten je konstrukčně i finančně méně náročný.

### 2.6.5 Generátor

Asynchronní generátor bývá nejčastějším zdrojem proudu na MVE je velice rozšířený pro svou jednoduchost, spolehlivost a minimálními náklady na údržbu.

Jako všechna zařízení, sloužící k elektromechanické přeměně energie, sestává se asynchronní generátor z pevné části (statoru) a pohyblivé části, která se u strojů s otáčivým pohybem nazývá rotor. Stator se skládá z litinové konstrukce a dvou ložiskových štítů. V kostře statoru jsou zalisovány plechy, které jsou navzájem izolovány a tvoří část magnetického obvodu stroje. Rotorové plechy jsou nalisovány na hřídeli, která se otáčí v ložiskách, upevněných v ložiskových štítech, které vymezují polohu rotoru uvnitř statoru. Mezi statorem a rotorem je vzduchová mezera, která umožní pohyb rotoru. V drážkách statorových a rotorových plechů je uloženo vinutí stroje. Na statoru bývá obvykle trojfázové, jehož začátky a konce jsou vyvedeny na svorkovnici. V rotorových drážkách je uloženo vinutí, kterému se říká kotva.

Jako asynchronní generátor lze použít bez větších úprav jakýkoliv asynchronní motor s kotvou nakrátko. (tzn. v drážkách rotoru jsou neizolované měděné nebo mosazné, nejčastěji však hliníkové spojovací kruhy nakrátko.)

### 2.6.6 Rozvodna

Rozvodna slouží k připojení MVE do distribuční sítě u malých vodních elektráren se nepoužívají trafostanice, ale vyrobený výkon je přímo přes rozvodnu spojen s distribuční sítí.

### **2.6.7 Výtokový objekt**

Poslední část MVE. Jedná se obvykle o betonový kanál, do kterého proudí voda, která již předala svou energii turbíně a volně odtéká zpět do řečiště.

### 3 POPIS LOKALITY MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

Pro realizaci mého projektu MVE jsem si vybral řeku Jičínku v katastru obce Veřovice nedaleko Frenštátu pod Radhoštěm na Severní Moravě. Na následujících obrázcích je zakresleno místo realizace.



Obrázek 9: Místo stavby MVE



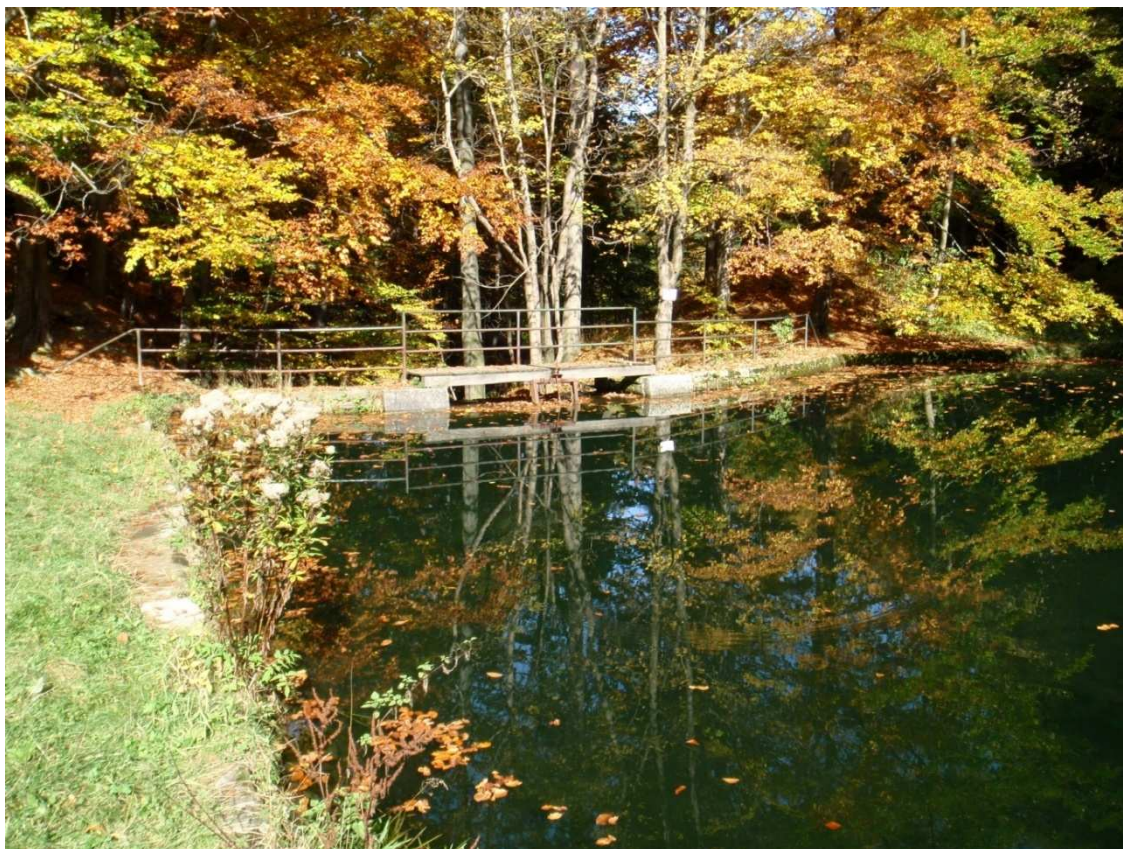
Obrázek 10: Detailní pohled na místo stavby MVE

V tomto místě se nachází 45 let stará kameno-betonová hráz, která sloužila v minulosti k zadržení vody při dlouhodobých deštích. V dnešní době však díky úpravám koryta řeky Jičínky v obci Veřovice již ztratila svůj význam. Tato 4m vysoká, 16m široká a 1,3m silná hráz je budoucím místem MVE. Na levém břehu se nachází cesta směřující do blízké chatové oblasti, pro kterou bude MVE sloužit jako zdroj elektrické energie. Nedaleko je také distribuční síť, do které by bylo možno vyrobenou elektřinu dodávat za příznivou výkupní cenu přibližně 3 Kč/kWh.



*Obrázek 11: Pohled na budoucí umístění MVE*

Celková kapacita vodní nádrže je přibližně 1900m<sup>3</sup> vody. V pravé části hráze mám v plánu vybudovat přepadový odtok, který bude sloužit k odvodu vody z vodní nádrže při překročení maximální hltnosti turbíny. Stávající přepad nad plánovanou MVE bude zrušen a na jeho místě bude umístěno technické zázemí MVE.

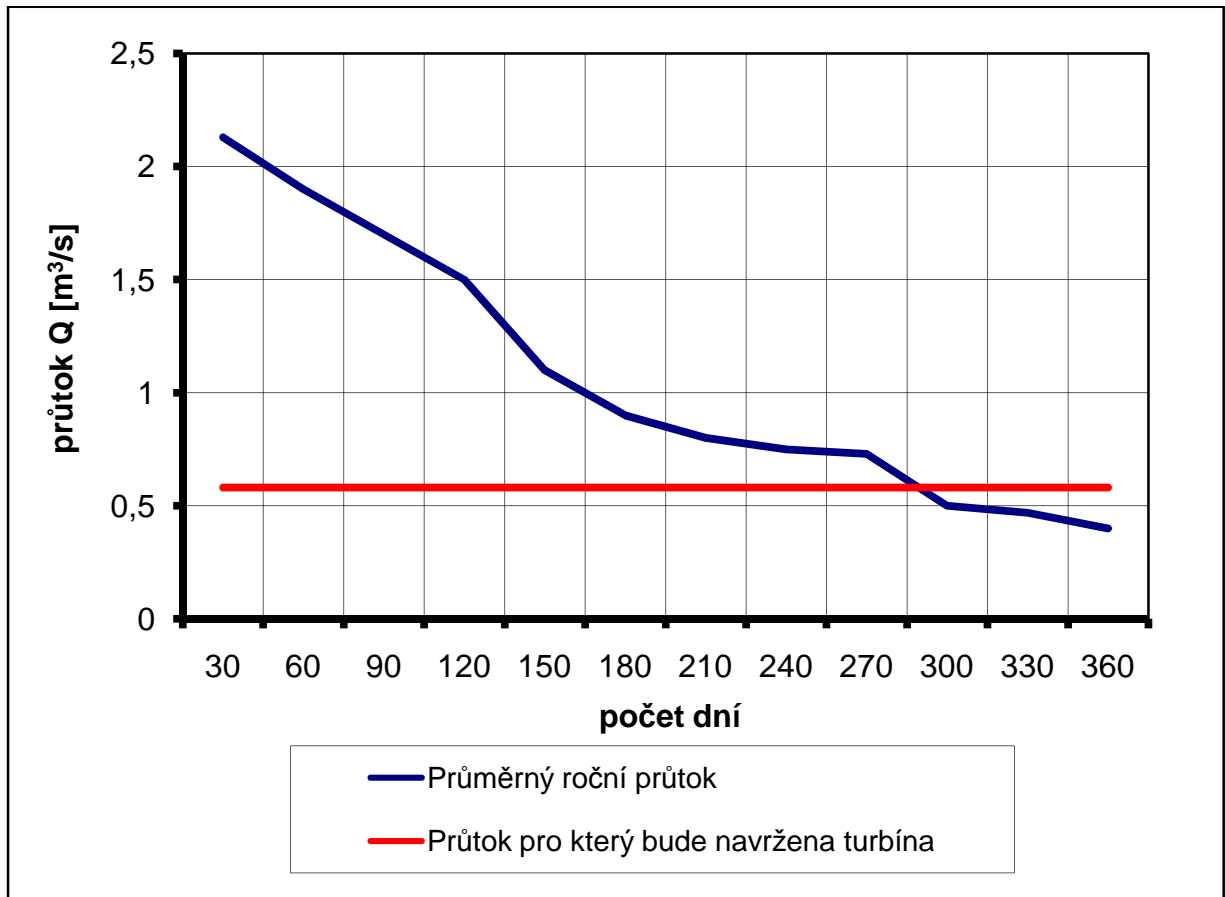


Obrázek 12: Pohled na hráz a vodní nádrž

Dle údajů povodí Odry je dlouhodobý průměrný průtok v tomto místě  $0,901\text{m}^3/\text{s}$ . Následující tabulka 1 a obrázek 13 znázorňují naměřené průtoky během celého roku.

Tabulka 1: Průměrný roční průtok

počet dní	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
průtok $Q_d$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	2,13	1,9	1,7	1,5	1,1	0,9	0,8	0,75	0,73	0,5	0,47	0,4



Obrázek 13: Průměrný roční průtok

Turbínu MVE budu dimenzovat na průtok  $0,58\text{m}^3/\text{s}$ , protože chci, aby dodávala sice menší výkon, ale po většinu roku.

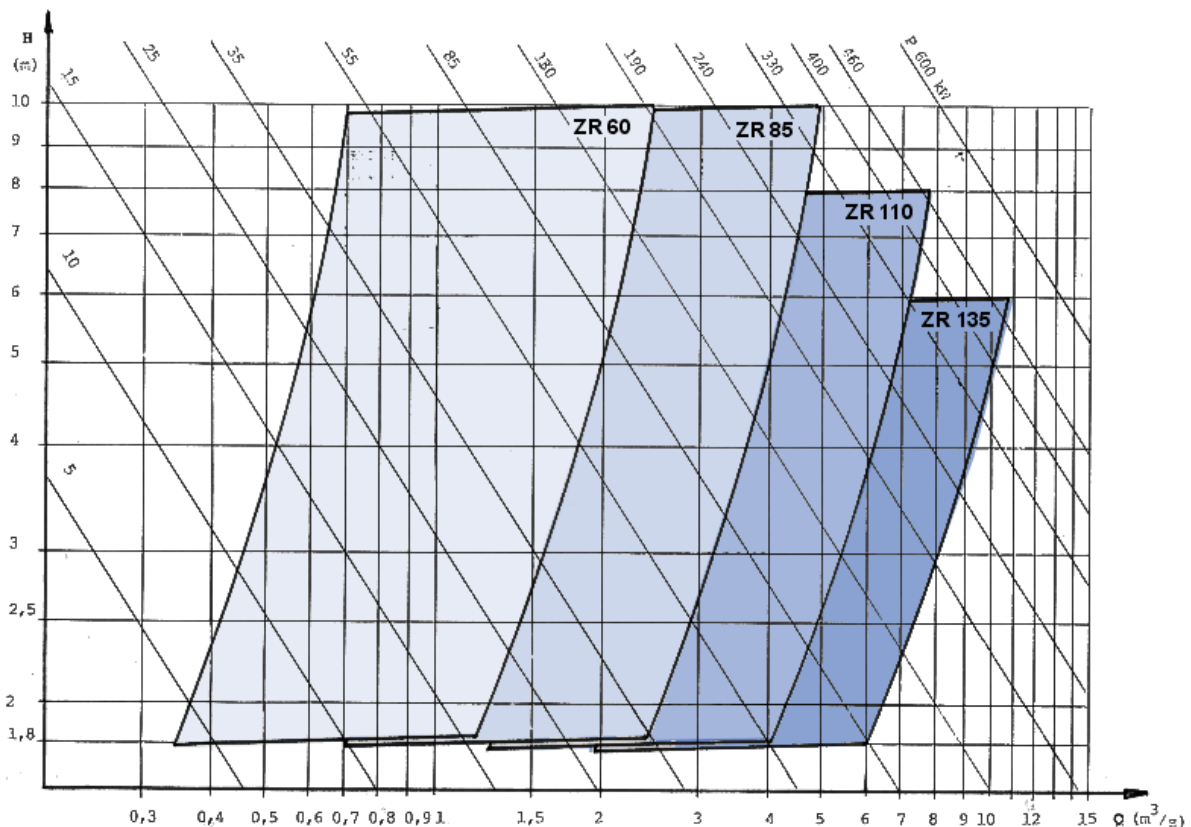
Tuto lokalitu jsem si vybral, protože mám v blízkosti rekreační chatu, kterou bych rovněž napájel vyrobenou elektřinou.

## 4 TECHNICKÝ NÁVRH STROJNÍ ČÁSTI MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY

### 4.1 Návrh turbíny

Jako dodavatele vodní turbíny jsem po usilovném hledání zvolil firmu ZIROMONT s.r.o. Byla totiž jednou z mála firem, které mi byly ochotny poskytnout potřebné informace pro realizaci MVE zdarma a bez závazné objednávky.

Po konzultaci s touto firmou jsem zvolil pro svou MVE vodní turbínu typu Kaplan v přímoproudém uspořádání s diagonálním rozváděcím kolem a axiálním oběžným kolem typu ZR 60.



Obrázek 14: Oblasti použití a dosahované parametry turbín

Z modelové charakteristiky turbíny ZR 60 určím jednotkové hodnoty otáček:  $n_1 = 170$  ot/min., průtoku  $Q_1 = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$  a účinnost  $\eta = 87,4\%$ . Z těchto hodnot vypočtu skutečné otáčky  $n$  a průměr turbíny  $d$  pro spád  $h = 4 \text{ m}$  a průtok  $Q = 0,58 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$d = \sqrt{\frac{Q}{Q_1 * \sqrt{h}}} = \sqrt{\frac{0,58}{0,7 * \sqrt{4}}} = 0,6437m \quad (\text{m}; \text{m}^3/\text{s}, \text{m}^3/\text{s}, \text{m}) \quad (4-1)$$

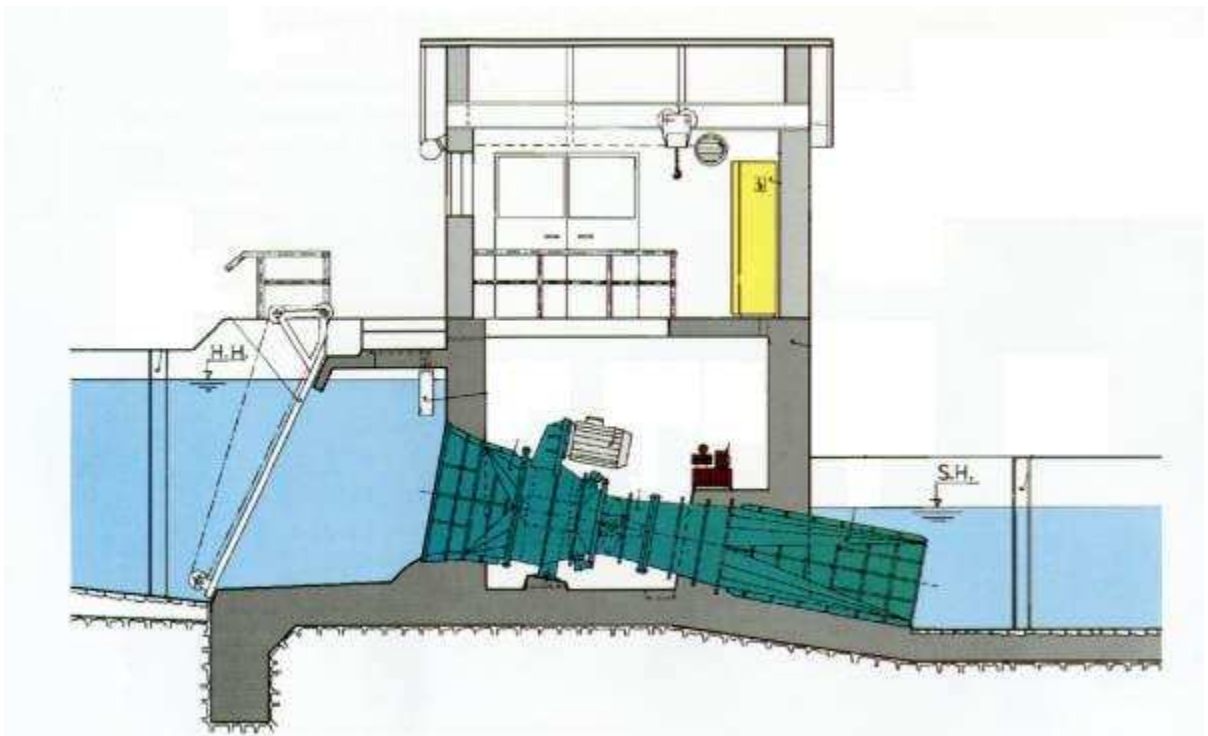
$$n_{\text{turbíny}} = \frac{n_1 * \sqrt{h}}{d} = \frac{170 * \sqrt{4}}{0,6437} = 528,196 \text{ot} / \text{min} \quad (\text{ot}/\text{min}; \text{ot}/\text{min}, \text{m}, \text{m}) \quad (4-2)$$

Když znám účinnost turbíny  $\eta$ , průtok  $Q$  a spád  $h$ , mohu vypočítat celkový výkon elektrárny  $P$ . Ve vzorci vystupuje také proměnná  $g$  což je tíhové zrychlení a jeho hodnota činí  $9,81\text{m} * \text{s}^{-2}$ .

$$P = \eta * Q * h * g = 0,874 * 0,58 * 4 * 9,81 = 19,89\text{kW} \quad (\text{kW}; \%, \text{m}^3/\text{s}, \text{m}, \text{m} * \text{s}^{-2}) \quad (4-3)$$

Firma ZIROMONT s.r.o. dle potřeb jednotlivých lokalit MVE dodává turbíny plně automaticky regulovatelné, částečně regulovatelné nebo pouze za klidu ručně přestavitelné. Já použiji pro svou MVE automatickou regulaci turbíny, jelikož MVE bude pracovat většinu času bez dohledu. Automatická regulace je zajištěna samostatným hydraulickým agregátem řízeným programovatelným řídicím systémem. Havarijní zavírání turbín je gravitační.

Uložení turbíny jsem zvolil přímočaré pod sklonem  $15^\circ$  viz Obrázek 12, protože v hrázi se ve spodní části nachází vypouštěcí otvor, na který bude nasazeno přívodní potrubí turbíny.



Obrázek 15: Způsob uložení turbíny

## 4.2 Návrh generátoru

Jelikož se jedná o relativně malý výkon použiji jako generátor asynchronní motor od firmy Siemens třídy 1LG6 jeho parametry popisuje následující tabulka.

Tabulka 2: Parametry asynchronního motoru

Jmenovitý výkon [kW]	Označení	Otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Počet pólů	Parametry při jmenovitém výkonu					Hmotnost [kg]
				Účinnost při 100% zatížení [%]	Účinnost při 75% zatížení [%]	Účinník cosφ	Jmenovitý proud při 400V [A]	Jmenovitý moment [nM]	
22	1LG6 223-8AB	730	8	91,3	91,8	0,81	43	288	335

$$n_{gen} = (n_{syn} - n_{skut}) + n_{syn} = (750 - 730) + 750 = 770 \text{ ot/min (ot/min; ot/min, ot/min, ot/min)} \quad (4-4)$$

Tento výpočet je důležitý, pokud bychom nedosáhli těchto otáček, generátor by se choval jako motor a energii by ze sítě místo dodávky odebíral.

## 4.3 Návrh převodu

Pro převod z turbíny na generátor použiji klínový řemen, protože tento způsob převodu je technicky méně náročný než převod pomocí převodovky a i z ekonomického hlediska je klínový řemen vhodná volba. Konečný poměr převodu p generátoru a motoru vypočtu podle vzorce.

$$p = \frac{n_{gen}}{n_{turbiny}} = \frac{770}{528,196} = 1,457 \quad (-; \text{ot/min, ot/min}) \quad (4-5)$$

Dle doporučení jsem zvolil klínový násobný řemen 15J-4/4000. U tohoto typu řemenu je relativně veliká rezerva přenosu výkonu z turbíny na generátor

## 5 ELEKTRICKÁ ČÁST MVE VČETNĚ VYVEDENÍ VÝKONU

### 5.1 Podmínky pro připojení MVE

#### 5.1.1 Licence pro provozování MVE

Licence pro provozování MVE vydává Český energetický regulační úřad (ERÚ) a řídí se zákonem 458/2000sb.

Připojení MVE se řídí platnými zákony. Tyto zákony jsou: Zákon č. 458/2000 Sb., Zákon č. 91/2005 Sb., Zákon č. 180/2005 Sb. nebo podmínky uvedené ERÚ ve Vyhlášce č. 426.

Nutné podmínky, které je třeba splnit pro udělení licence pro připojení MVE:

- Dosažení věku 21 let
- Bezúhonnost
- Úplná způsobilost k právním úkonům
- Odborná způsobilost nebo ustanovení odpovědného zástupce
- Prokázání dostatečných finančních prostředků
- Neohrožovat svou činností zdraví osob ani zvířat
- Nesmí svou činností ohrožovat nebo ničit majetek ani životní prostředí

Podmínky dále ukládají, že provozovatel MVE na své náklady zajišťuje připojení do veřejné distribuční sítě. Zavazuje se, že bude plnit všechny podmínky pro udělení licence, jinak by mu mohla být licence odejmuta nebo by mohl být postížen příslušným penále.

#### 5.1.2 Plnění připojovacích podmínek k distribuční síti.

Podmínky pro připojení zdrojů elektrické energie si určuje oblastní provozovatel distribuční sítě a dále také podle platného Zákona 458/2000 Sb. v plném znění a Vyhlášky č. 51/2006 Sb.

Pro severomoravský region schvaluje žádost o připojení distribuční společnost ČEZ as. Žádost se podává na příslušném formuláři „Žádost o připojení zařízení výrobce k distribuční soustavě“.

Distribuční společnost sdělí stanoviska k Žádosti o připojení. Obsah stanoviska určuje §5 Vyhlášky č. 51/2006 Sb. a jedná se o dodatek k přesnému určení místa připojení, způsobu a technických podmínek připojení, obchodního měření z elektroměru, zda z daného výkonu je požadavek na kompenzaci jalového výkonu, vyčíslení částky podílu na nákladech spojených s připojením a určení předběžného termínu jeho připojení.

Zadost o připojení Istrana

Zadost o připojení 2 strana

## 5.2 Návrh kompenzačního kondenzátoru

Návrh kompenzačního kondenzátoru jalového výkonu, je důležitou součástí MVE. Samotnou kompenzaci popisuje příslušná norma., která říká: O nutnosti kompenzace jalového výkonu MVE rozhodne vždy oddělení Poskytování sítí s ohledem na dodávku energie s účinnkem splňujícím hodnoty dle odst. 9 PPDS v pásmu 0,95 – 0,98 induktivní. V případě instalace kompenzačních kondenzátorů je nutné postupovat tak, aby bylo možné odpojit automaticky nejen při odstavení generátoru, ale v případě potřeby i při generátorovém chodu s maximálním výkonem (tj. v případě nízkého zatížení v síti, kdy bude nutné vyřadit je s ohledem na napěťové poměry). Umístění kompenzace bude individuální, zpravidla u generátoru. Výše uvedený rozsah účinnku může být na základě provozních požadavků a výsledku měření upraven. Zvýšené ztráty při přenosu elektřiny vlivem dlouhého přívodního vedení lze respektovat vhodnou volbou místa osazení elektroměru.

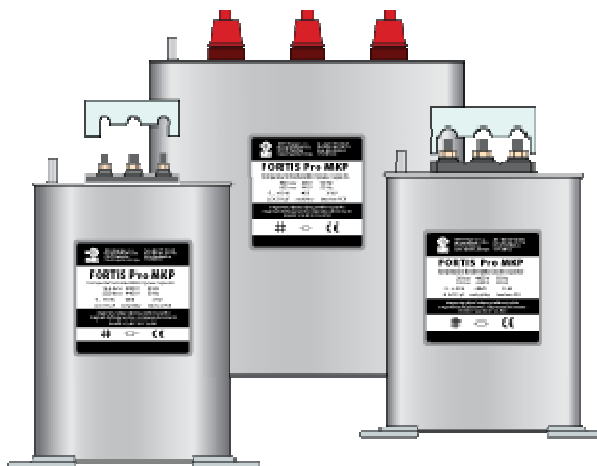
Mnou vybraný asynchronní generátor pracuje dle katalogové hodnoty s účinnkem  $\cos\varphi = 0,81$  a proto musím navrhnout kompenzační baterii, abych dosáhl účinnku požadovaného provozovatelem distribuční sítě. Výkon kompenzační baterie určím ze vztahu:

$$Q_k = \sqrt{\left(\frac{P}{\cos\varphi}\right)^2 - P^2} = \sqrt{\left(\frac{19,89 * 10^3}{0,81}\right)^2 - (19,89 * 10^3)^2} = 14,4kVAr \quad (\text{VAr; W, -, W}) \quad (5-1)$$

Po odborné konzultaci jsem jako dodavatele kompenzačních kondenzátorů vybral firmu KBH Energy s.r.o. Protože jsou schopni vyrobit baterii přímo na míru a jejich kondenzátory odpovídají moderním standardům a mohou být instalovány v zařízeních pro kompenzaci jalového výkonu podle standardů EN 60831-1,2 a IEC 831-1,2.

Firma navrhla sadu kondenzátorů i s automatickou regulací kapacity potřebné k regulaci jalového výkonu.

Bezpečnost při provozu je zajištěna samoregenerací, přetlakovou pojistkou a integrovanými vybíjecími odpory, které zajišťují bezpečné vybití kondenzátoru na 50V do tří minut. Kondenzátory jsou vhodné do sítí nn.

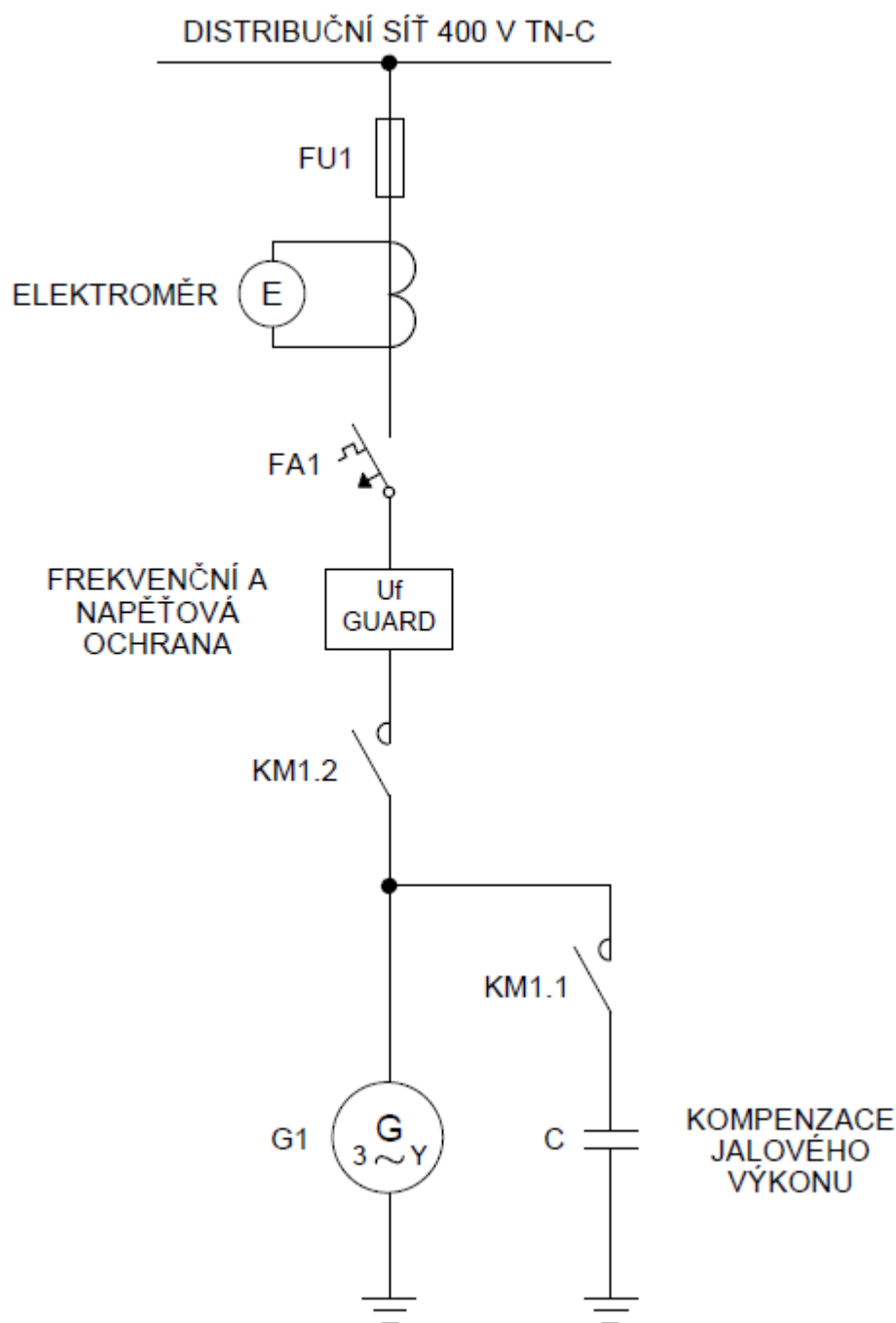


Obrázek 16: Kompenzační kondenzátory firmy KBH Energy s.r.o.

- **Design** - hranaté pouzdro hliníkové s montážními úchyty a šroubem pro připojení ochranného vodiče, vývody šroubové s plastovým krytem pro zvýšené krytí.
- **Dielektrikum** - metalizovaná polypropylenová fólie, gelová tuhá náplň, bod tání  $+70^{\circ}\text{C}$ .
- **Dodávané výkony** - ucelená nabídka do 60 kVAr na 440 V.
- **Zapojení** - trojfázové,  $\Delta$ .
- **Tolerance** - maximální odchylka 5 % od jmenovitého výkonu.
- **Ztráty** - dosahují 0,05 % (0,5 W na 1 kVAr) měřeno na svorkovnici s vybíjecími odpory.
- **Životnost** - 130 tis. pracovních hodin.
- **Bezpečnost** - samoregenerace, přetlaková pojistka, integrované vybíjecí odpory (umístěny interně pod jednotlivým šroubovým vývodem)
- **Zakázková výroba** - dle požadavků zákazníka jsme schopni vyrobit kondenzátory s odlišnými výkony a rozměry. Tabulka "Výrobní řady" uvádí pouze nejvíce vyráběné typy.

### 5.3 Blokové schéma silových částí MVE

Blokové schéma silových částí mnou navrhované MVE zachycuje obrázek 17.



Obrázek 17: Blokové schéma silové části MVE

Vývody z generátoru, v mém případě zastoupeného asynchronním motorem jsou provedeny přes výkonový stykač KM1.2 typu DILM50 od firmy Moeller Elektrotechnika s.r.o. Tento stykač slouží k připojení a k odpojení generátoru. Připojení kompenzační baterie je provedeno přes stykač KM1.1 typu DILM50 od firmy Moeller Elektrotechnika s.r.o. Nad stykačem KM1.2 je zařazen přístroj U/f GUARD firmy Pesos pro kontrolování správné frekvence a napětí dodávaného do sítě. Jeho úkolem je odpojit generátor od sítě v případě, že jedna z uvedených veličin nesplňuje normy dané provozovatelem distribuční sítě.

Hodnoty požadované provozovatelem distribuční sítě jsou dány následujícími hodnotami. Napětí nesmí klesnout pod hranici 80%Un a také nesmí stoupnout nad hranici 115%Un. Frekvence generátoru musí také splňovat 2 podmínky. První, že nesmí klesnout pod úroveň 49 Hz a stoupnout nad 51 Hz. Pokud jedna z hodnot překročí svou hranici, automat sám odpojí generátor v době menší než 0,05s.



Obrázek 18: Násuvný měřící transformátor proudu ASR21,5 firmy GHV Trading s.r.o.

Nad přístrojem monitorujícím parametry dodávaného napětí se nachází jistič FA1 typu NZMN2-VED 100-UTA od firmy Moeller Elektrotechnika s.r.o. dále je zde také umístěn měřící transformátor proudu ASR 21,5 firmy GHV Trading s.r.o., s převodovým poměrem 100A/5A. Na něj je připojen elektroměr, sloužící k zaznamenávání dodané energie do distribuční sítě. Tento Elektroměr je majetkem společnosti ČEZ as. Nad tímto měřícím transformátorem proudu se nachází pojistkový odpojovač typu FH 00-3L/F s nožovými pojistkami o hodnotě 80A pojistky jsou typu 00.

## 5.4 Vyvedení výkonu z MVE

Jelikož se moje MVE nachází v rekreační oblasti, kde je pouze vedení 230/400V. Rozhodl jsem se připojit MVE na tuto síť. Řešení je navrženo pro připojení do sítě TN-C, což znamená, že je zde sdružena funkce ochranného vodiče PE a středního vodiče N v jeden vodič PEN, který je přímo uzemněným uzlem zdroje. Nejbližší možné místo pro připojení k distribuční síti je vzdáleno přibližně 300 m. Přívod bude proveden pomocí kabelu, který bude zakopán v zemi. Jmenovitý proud generátoru je 41A. Uvádí se, že 1mm<sup>2</sup> měděného kabelu je dimenzován na 4A. Jednoduchým výpočtem tedy získám potřebný průřez vodiče potřebného pro připojení k distribuční síti.

$$S = \frac{I}{4} = \frac{41}{4} = 10,25 \text{ mm}^2 \quad (\text{mm}^2; \text{A}, \text{A}) \quad (5-2)$$

Vypočtený průřez zaokrouhlím nahoru na nejbližší jmenovitý průřez což je 16mm<sup>2</sup>. Jako dodavatele jsem po konzultaci s odborníkem vybral firmu DRAKA KABELY s.r.o.. Typ použitého kabelu je NTMCWOEU FELTOFLEX® 1 x 16.

## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ PROJEKTU

### 6.1 Pozemky

Jelikož investorem stavby by měla být obec Veřovice, která je zároveň vlastníkem pozemků pod ní i pozemků přilehlých, nebudu se v ekonomickém zhodnocení dále zabývat touto částí.

### 6.2 Cena stavebních prací

Cenu stavebních prací jsem konzultoval se studentem fakulty stavební. Po vyhodnocení fotografií a prohlédnutí místa stavby rozčlenil stavební práce na tyto položky oprava hráze poškozené vodou a stářím, vybudování náhubku pro připojení turbíny, odtokovou část za turbínou, přebudování přepadu na levou část hráze a stavbu strojovny MVE včetně výkresové dokumentace. Celkovou cenu odhadl na cca 125 000 Kč.

### 6.3 Cena strojní části MVE

Cenu strojního soustrojí včetně generátoru navrhla samostatně firma ZIROMONT s.r.o. Ovšem v cenové nabídce nerozepsala jednotlivé položky, ale pouze celkovou cenu strojního soustrojí, která činí 920 325 Kč.

### 6.4 Cena elektroinstalační části MVE

Tato kolonka zahrnuje elektroinstalační materiál, pro realizaci rozváděče včetně vyvedení výkonu z MVE od svorek generátoru a její připojení do distribuční sítě. V této části jsem se snažil co nejvíce ušetřit tím, že jsem hledal u různých firem ekvivalentní součástky a porovnával jejich ceny. Jako nejlevnější se po výběru jevila firma Moeller Elektrotechnika s.r.o. pro stykače a jističe, KBH Energy s.r.o. pro kompenzaci jalového výkonu, GHV Trading s.r.o. pro měřicí transformátor proudu, firma PESOS s napětovou a frekvenční ochranou GUARD a DRAKA KABELY s.r.o. s kabelem pro připojení k distribuční síti Celková suma elektroinstalační části je 285 263 Kč.

### 6.5 Celková cena stavby MVE

Celková cena realizace MVE je součtem předchozích položek tohoto zhodnocení. Po kalkulaci dojdeme k číslu 1 333 588 Kč.

## 6.6 Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu

V České republice nerozhoduje o ceně vykupované energie z obnovitelných zdrojů provozovatel sítě, ale Energetický regulační úřad, ten ukládá provozovateli sítě povinnost vykupovat elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů za cenu, kterou stanoví.

Výkupní ceny jsou stanoveny jako minimální ceny podle zvláštního právního předpisu. Zelené bonusy jsou stanoveny jako pevné ceny podle zvláštního právního předpisu. V rámci jedné výroby elektřiny nelze kombinovat režim výkupních cen a režim zelených bonusů.

Výkupní ceny se uplatňují za elektřinu dodanou a naměřenou v předávacím místě výroby elektřiny a sítě provozovatele příslušné distribuční soustavy nebo provozovatele přenosové soustavy, které vstupuje do zúčtování odchylek subjektu zúčtování odpovědného za ztráty v regionální distribuční soustavě nebo subjektu zúčtování odpovědného za ztráty v přenosové soustavě.

Zelené bonusy se uplatňují za elektřinu dodanou a naměřenou v předávacím místě výroby elektřiny a sítě provozovatele regionální distribuční soustavy nebo přenosové soustavy a dodanou výrobcem obchodníkovi s elektřinou nebo oprávněnému zákazníkovi a dále za ostatní vlastní spotřebu elektřiny podle zvláštního právního předpisu. Zelené bonusy se neuplatňují za technologickou vlastní spotřebu.

*Tabulka 3: udávající aktuální výkupní ceny elektrické energie během nepřetržitého provozu*

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	2700	1260
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	2540	1100
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu po 1. lednu 2005 včetně a rekonstrucovaná malá vodní elektrárna	2300	860
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu před 1. lednem 2005	1790	350

Pro měření a účtování dodávky elektřiny ze špičkové nebo pološpičkové akumulární malé vodní elektrárny, jejíž špičkový nebo pološpičkový provoz je stanoven v povolení k nakládání s vodami, za výkupní ceny elektřiny nebo zelené bonusy, mohou být stanovena dvoutarifní pásma s těmito podmínkami, pokud se výrobce s provozovatelem regionální distribuční soustavy nebo provozovatelem přenosové soustavy nedohodnou jinak.

Tabulka 4: udávající aktuální výkupní ceny elektrické energie během pološpičkového provozu

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny v pásmu VT v Kč/MWh	Výkupní ceny elektřiny v pásmu NT v Kč/MWh
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	3800	2150
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	3800	1910
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu po 1. lednu 2005 a rekonstruovaná malá vodní elektrárna	3470	1715
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu před 1. lednem 2005	2700	1335

nebo

Tabulka 5: udávající aktuální výkupní ceny elektrické energie během pološpičkového provozu

Datum uvedení do provozu	Zelené bonusy v pásmu VT v Kč/MWh	Zelené bonusy v pásmu NT v Kč/MWh
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	1700	890
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	1700	650
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu po 1. lednu 2005 a rekonstruovaná malá vodní elektrárna	1370	455
Malá vodní elektrárna uvedená do provozu před 1. lednem 2005	600	75

kde

VT - pásmo platnosti vysokého tarifu, pásmo stanovené provozovatelem distribuční soustavy v délce 8 hodin denně.

NT - pásmo platnosti nízkého tarifu, platí v době mimo pásmo platnosti VT.

## 6.7 Vypočtený roční zisk MVE

Teoretický činný elektrický výkon elektrárny  $P$  je 19,89 kW a pojedje podle výpočtu 290 dní v roce. Průtok turbínou  $Q$  je 0,58m<sup>3</sup>/s. Cena za 1 kWh pro elektrárny uvedené do provozu v roce 2009 byla stanovena na 2,7 Kč. Z těchto parametrů můžeme vypočítat výkon  $Pd$  vyrobený za daný počet dní. Kde  $P$  je výkon elektrárny,  $x$  počet dní ve kterých MVE pojedje a  $t$  je 24 hodinový provoz.

$$P_d = P * x * t = 19,89 * 290 * 24 = 138434,4kWh \quad (\text{kW; kW, \%, hod}) \quad (6-1)$$

Když známe Výkon, který vyrobí MVE za 290 dní, můžeme spočítat celkový roční výnos  $V_r$ .

$$V_r = P_d * V_c = 138434,4 * 2,7 = 373773 \text{Kč} \quad (\text{Kč; kW, Kč}) \quad (6-2)$$

Kde  $V_c$  je výkupní cena za 1 kWh.

## 6.8 Časová návratnost investic

Investice, které by byly vloženy do realizace MVE se nám vrátí při pořizovacích nákladech 1 333 588 Kč a roční výrobě 373 773 Kč asi za 3,56 roku. Ovšem za předpokladu bezporuchového chodu.

## 7 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se zabýval návrhem malé vodní elektrárny, vybral jsem vhodnou lokalitu, navrhl strojní soustrojí a vyvedení výkonu z elektrárny do distribuční sítě a ekonomicky zhodnotil celou stavbu a její ekonomickou návratnost.

Vhodnou lokalitu jsem našel na řece Jičínce na Severní Moravě nedaleko Frenštátu pod Radhoštěm. V tomto místě se nachází jez se spádem 4m a průměrný průtok je  $0,901\text{m}^3/\text{s}$ . Typově jsem vybral průtočnou elektrárnu.

Dalším krokem byl návrh strojní části elektrárny. Elektrárnu jsem osadil Kaplanovou turbínou v přímočarém uložení pod sklonem  $15^\circ$ , protože v hrázi se nachází starý vypouštěcí otvor, na který bude nasazeno přívodní potrubí k turbíně. Výkon elektrárny je relativně malý, jen 19,89kW, proto jsem jako generátor vybral asynchronní motor s kotvou nakrátko firmy SIEMENS. Pro převod z turbíny na generátor použiji vícenásobný klínový řemen 15J-4/4000 s převodem 1,457.

Dalším úkolem bylo vyřešit vyvedení výkonu malé vodní elektrárny a následné připojení k distribuční síti. Jako první jsem navrhl silové schéma vyvedení výkonu od svorek generátoru přes kompenzaci jalového výkonu, kompenzační baterie musí mít velikost 14,4kVAr. Dále jsem použil napěťovou a frekvenční ochranu pro přesné dodržování parametrů dodávané elektřiny. Konečné vyvedení výkonu bude provedeno pomocí kabelu zakopaného v zemi ke 300m vzdálenému vedení 230/400V.

V poslední části mé práce jsem se zaměřil na ekonomické zhodnocení celého projektu. Náklady na celkovou realizaci byly vyčísleny na 1 333 588 Kč. Výkupní cena elektrické energie vyrobené z obnovitelných zdrojů je stanovena Energetickým regulačním úřadem na 2,7 Kč/kWh. Jelikož jsem pro svou vyrobenou energii nenašel konkrétního spotřebitele, není cena navýšena o zelené bonusy. Výnos elektrárny je spočten pro provoz 290 dní v roce s průtokem  $0,58\text{m}^3/\text{s}$ . Roční výnos za prodanou elektřinu je stanoven na 373 773 Kč. Z těchto parametrů vyplývá, že návratnost vložených investic bude přibližně za 3a půl roku.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HOLATA, M: *Malé vodní elektrárny*. Nakladatelství Academia, Praha 2002, 1. vydání
- [2] GABRIEL, P., ČIHÁK, F., KALANDRA, P: *Malé vodní elektrárny*. Vydavatelství ČVUT, jako svou 9138. Publikaci
- [3] MATOUŠEK, Antonín. *Výroba elektrické energie*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické, 2007. 138 s. ISBN 978-80-214-3317-5.
- [4] *Vodní a tepelné elektrárny* [online]. [cit. 2008-11-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz/vodni-elektrarny-cr.htm>>.
- [5] *Povodí Odry* [online]. [cit. 2008-11-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.pod.cz/portal/sap/cz>>.
- [6] *Vodní elektrárny* [online]. [cit. 2008-11-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektrarny.xf.cz/vodnielektrarny.php>>.
- [7] *Alternativní zdroje energie* [online]. [cit. 2008-11-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.alternativni-zdroje.cz/vodni-geotermalni-energie.htm>>.
- [8] *Enersol EU* [online]. [cit. 2008-11-17]. Dostupný z WWW: <<http://czech.eco-energy.info/asp/index.asp?k=7609&uc>>.
- [9] *Ziromont s.r.o.* [online]. [cit. 2008-10-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.ziromont.cz/>>.
- [10] *Obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2008-11-18]. Dostupný z WWW: <<http://cde.ecn.cz/dokumenty/energetika/obnovzdr.htm>>.
- [11] *Energetický regulační úřad (ERU)* [online]. [cit. 2009-05-18], Dostupný z WWW: <<http://www.eru.cz/>>
- [12] *KBH Energy s.r.o.* [online]. [cit. 2009-05-18]. Dostupný z WWW: <[http://www.kbhenergy.cz/kompenzacni\\_kondenzatory\\_fortis\\_pro.html](http://www.kbhenergy.cz/kompenzacni_kondenzatory_fortis_pro.html)>.
- [13] *Moeller Elektrotechnika s.r.o.* [online]. [cit. 2009-05-21]. Dostupný z WWW: <[http://www.moeller.cz/produkty-prumyslove\\_instalace-spinani\\_pohonu-stykace\\_dil](http://www.moeller.cz/produkty-prumyslove_instalace-spinani_pohonu-stykace_dil)>.
- [14] *Siemens, s.r.o.* [online]. [cit. 2009-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.siemens.cz/siemjet/cz/home/siemens-elektromotory/produkty/Main/index.jet>>.
- [15] *Draka Kabely, s.r.o.* [online]. [cit. 2009-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.draka.cz/katalog-2006-2007/>>.