

**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**

## **NÁVRH MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE  
AUTHOR**

**ADAM STEIDL**

**BRNO 2012**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

## Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

**Student:** Adam Steidl  
**Ročník:** 3

**ID:** 125310  
**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

**Návrh malé vodní elektrárny**

**POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Volba vhodné lokality pro výstavbu MVE.
2. Vodohospodářské a hydroenergetické řešení MVE.
3. Návrh MVE na zvoleném toku.
4. Elektrická část MVE a její připojení do elektrizační soustavy.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 25.5.2012

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

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
*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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

STEIDL, A. *Návrh malé vodní elektrárny*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. XY s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc..

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií**

**Ústav elektroenergetiky**

**Bakalářská práce**

# **Návrh malé vodní elektrárny**

**Adam Steidl**

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

**Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012**

**Brno**



**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

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

**Bachelor's Thesis**

**The project of the small water power station**

**by**

**Adam Steidl**

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

**Brno University of Technology, 2012**

**Brno**

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářské práce se zabývá problematikou návrhu malé vodní elektrárny. První část práce se věnuje hydroenergetickému potenciálu České republiky, obecné teorii malých vodních elektráren a jejich rozdělení. Další část se zabývá výběrem vhodných lokalit pro výstavbu MVE a rozhodnutím o výběru nejvhodnější z nich. Vybraná lokalita je popsána a zhodnocena. Následně práce pojednává o teorii vodohospodářského a hydroenergetického řešení MVE. Dále je řešen již samostatný návrh MVE. Tento návrh se skládá z teoretického řešení hydraulického obvodu a podrobněji se zabývá volbou vhodných soustrojí. Poté se práce zabývá návrhem elektrické části MVE a jejím připojením na Distribuční síť. Tato část práce je zaměřena na kompenzaci jalových výkonů, návrh kabelu pro vyvedení výkonu elektrárny, ochrany a automatizaci MVE. V poslední části je provedeno ekonomické zhodnocení celé investice.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Malá vodní elektrárna, energie vody, lokalita, spád, průtok, vodní turbína, generátor, výkon.

## **ABSTRACT**

This Bachelor thesis deals with a concept of a small hydro power plant. The first part is focused on hydro power potential of the Czech Republic, the general theory of small hydro power plants and their division. The following part discusses about the selection of suitable localities for construction of small hydro power plant and the decision of choosing the best of them. The selected locality is described and evaluated. Subsequently, the thesis deals with the theory of water management and hydro power solution of small hydro power plant. Further the concept of a small hydro power plant is outlined. This concept consists of a theoretical solution of the hydraulic circuit and more detailed it focuses on the selection of appropriate sets. Then the thesis characterizes the concept of electric part of the small hydro power plant and its connection to the Distribution network. This part of thesis is aimed to compensation of reactive powers, a concept of cable for pulling of power of power plant, protections and automatization of the small hydro power plant. Finally, the economic evaluation of the investment is done.

**KEY WORDS:** Small hydro power station, water energy, locality, declivity, flow, water turbine, generator, Output.

## OBSAH

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>                                                                             | <b>10</b> |
| <b>SEZNAM TABULEK .....</b>                                                                            | <b>11</b> |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>                                                                   | <b>12</b> |
| <b>1 ÚVOD .....</b>                                                                                    | <b>14</b> |
| <b>2 TEORIE MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN .....</b>                                                        | <b>15</b> |
| <b>2.1 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL V ČESKÉ REPUBLICE .....</b>                                          | <b>15</b> |
| <b>2.2 DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN.....</b>                                                              | <b>15</b> |
| 2.2.1 DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN PODLE INSTALOVANÉHO VÝKONU .....                                       | 16        |
| 2.2.2 DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN PODLE ZÍSKÁVANÉHO SPÁDU .....                                          | 17        |
| 2.2.3 DĚLENÍ PODLE PRACOVNÍHO REŽIMU .....                                                             | 17        |
| 2.2.4 DĚLENÍ PODLE VELIKOSTI SPÁDU .....                                                               | 17        |
| <b>3 VOLBA VHODNÉ LOKALITY PRO VÝSTAVBU MVE .....</b>                                                  | <b>18</b> |
| <b>3.1 ZÁBRANY .....</b>                                                                               | <b>18</b> |
| 3.1.1 ZÁBRANY MAJETKO – PRÁVNÍ .....                                                                   | 18        |
| 3.1.2 ZÁBRANY VODOHOSPODÁŘSKÉ .....                                                                    | 18        |
| <b>3.2 VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY .....</b>                                                                 | <b>19</b> |
| 3.2.1 MOŽNOST ZŘÍZENÍ MVE NA ŘECE MORAVSKÁ SÁZAVA .....                                                | 19        |
| 3.2.2 MOŽNOST ZŘÍZENÍ MVE NA ŘECE MORAVĚ .....                                                         | 20        |
| 3.2.3 MOŽNOST ZŘÍZENÍ MVE NA ŘECE DESNÉ .....                                                          | 22        |
| <b>3.3 VÝSLEDNÉ ZHODNOCENÍ UVAŽOVANÝCH LOKALIT A ZVOLENÍ VHODNÉ LOKALITY PRO<br/>VÝSTAVBU MVE.....</b> | <b>23</b> |
| 3.3.1 ZHODNOCENÍ LOKALITY NA ŘECE MORAVSKÁ SÁZAVA .....                                                | 23        |
| 3.3.2 ZHODNOCENÍ LOKALITY NA ŘECE MORAVĚ .....                                                         | 23        |
| 3.3.3 ZHODNOCENÍ LOKALITY NA ŘECE DESNÉ.....                                                           | 24        |
| 3.3.4 ROZHODNUTÍ SE ZDŮVODNĚNÍM .....                                                                  | 24        |
| <b>3.4 PŘESNÝ POPIS LOKALITY NA ŘECE DESNÉ .....</b>                                                   | <b>24</b> |
| 3.4.1 SHRnutí ZÁKLADNÍCH ÚDAJŮ .....                                                                   | 24        |
| 3.4.2 PŘESNÉ URČENÍ HRUBÉHO SPÁDU.....                                                                 | 25        |
| 3.4.3 HYDROLOGICKÉ ÚDAJE LOKALITY NA ŘECE DESNÉ.....                                                   | 26        |
| <b>4 VODOHOSPODÁŘSKÉ A HYDROENERGETICKÉ ŘEŠENÍ .....</b>                                               | <b>27</b> |
| <b>4.1 VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ MALÝCH ELEKTRÁREN .....</b>                                              | <b>27</b> |
| 4.1.1 VTOKOVÉ OBJEKTY.....                                                                             | 27        |
| 4.1.2 PŘIVADĚČE A ODPADNÍ KANÁLY .....                                                                 | 28        |
| <b>4.2 HYDROENERGETICKÉ ZAŘÍZENÍ MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY .....</b>                                       | <b>28</b> |
| 4.2.1 TURBÍNY .....                                                                                    | 28        |
| <b>5 NÁVRH MVE NA ZVOLENÉM TOKU. ....</b>                                                              | <b>33</b> |
| <b>5.1 NAVRHY MOŽNÝCH ŘEŠENÍ PROVEDENÍ MVE NA ZVOLENÉ LOKALITĚ.....</b>                                | <b>33</b> |
| 5.1.1 NÁVRH MOŽNÝCH ŘEŠENÍ.....                                                                        | 33        |

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.2 ZHODNOCENÍ A VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY .....                               | 34        |
| 5.1.3 PROVEDENÍ HYDRAULICKÉHO OBVODU MVE.....                                | 34        |
| <b>5.2 PŘEDPOKLÁDANÝ VÝKON NA MVE .....</b>                                  | <b>37</b> |
| <b>5.3 NÁVRH VHODNÝCH TURBÍN.....</b>                                        | <b>38</b> |
| 5.3.1 VARIANTA 1.....                                                        | 39        |
| 5.3.2 VARIANTA 2.....                                                        | 40        |
| 5.3.3 VÝBĚR VHODNĚJŠÍ VARIANTY .....                                         | 42        |
| <b>5.4 GENERÁTORY .....</b>                                                  | <b>42</b> |
| 5.4.1 ASYNCHRONNÍ GENERÁTOR .....                                            | 42        |
| 5.4.2 VOLBA VHODNÝCH GENERÁTORŮ.....                                         | 43        |
| <b>5.5 PŘEVOD.....</b>                                                       | <b>45</b> |
| <b>6 ELEKTRICKÁ ČÁST MVE, A JEJÍ PŘIPOJENÍ DO ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY.....</b> | <b>46</b> |
| <b>6.1 OCHRANY .....</b>                                                     | <b>47</b> |
| <b>6.2 REGULACE A AUTOMATICKÉ SYSTÉMY MVE.....</b>                           | <b>48</b> |
| <b>6.3 KOMPENZACE JALOVÝCH VÝKONŮ .....</b>                                  | <b>49</b> |
| 6.3.1 NÁVRH KOMPENZAČNÍ BATERIE .....                                        | 50        |
| <b>6.4 DIMENZOVANÍ PŘÍVODNÍHO VODIČE.....</b>                                | <b>50</b> |
| 6.4.1 DIMENZOVANÍ PŘÍVODNÍCH VODIČŮ PODLE DOVOLENÉHO ÚBYTKU .....            | 51        |
| 6.4.2 DIMENZOVANÍ VODIČŮ PODLE TEPELNÝCH ÚČINKŮ ZKRATOVÝCH PROUDŮ .....      | 53        |
| <b>7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MVE.....</b>                                      | <b>55</b> |
| <b>7.1 NÁKLADY NA REALIZACI MVE .....</b>                                    | <b>55</b> |
| 7.1.1 NÁKLADY NA STAVEBNÍ ČÁST MVE .....                                     | 55        |
| 7.1.2 NÁKLADY NA STAVEBNÍ PRÁCE.....                                         | 55        |
| 7.1.3 NÁKLADY NA STROJNÍ ČÁST MVE.....                                       | 56        |
| 7.1.4 NÁKLADY NA ELEKTROINSTALACE, AUTOMATIZACI A MĚŘENÍ ČÁST MVE .....      | 56        |
| 7.1.5 CELKOVÝ PŘEHLED NÁKLADŮ.....                                           | 56        |
| <b>7.2 ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI MVE.....</b>                       | <b>57</b> |
| 7.2.1 VÝKUPNÍ CENY .....                                                     | 57        |
| 7.2.2 ROČNÍ VÝROBA.....                                                      | 58        |
| 7.2.3 ROČNÍ VÝNOS MVE.....                                                   | 59        |
| 7.2.4 METODY HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE.....                           | 60        |
| 7.2.5 METODA ČÍSELNÉ SOUČASNÉ HODNOTY .....                                  | 63        |
| 7.2.6 METODA INDEXU ZÁVISLOSTI.....                                          | 63        |
| <b>8 ZÁVĚR.....</b>                                                          | <b>64</b> |
| <b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>                                               | <b>66</b> |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 2-1 Dělení vodních elektráren podle instalovaného výkonu [1].....                                               | 16 |
| Obr. 2-2 Dělení MVE podle spádu: a) nízkotlaká, b) středotlaká, c) vysokotlaká [1] .....                             | 17 |
| Obr. 3-1 Fotografie Soutoku Moravské Sázavy a Březné. Na pravé části snímku je místo pro uvažovanou stavbu MVE ..... | 20 |
| Obr. 3-2 Torzo jezu na řece Moravě. ....                                                                             | 21 |
| Obr. 3-3 Jez na řece Moravě s viditelným stavidlem náhonu. ....                                                      | 21 |
| Obr. 3-4 Místo možné výstavby jezu na řece Desné.....                                                                | 22 |
| Obr. 3-5 Snímek mapy s lokalitou na řece Desné [5] .....                                                             | 25 |
| Obr. 3-6 Detailní snímek lokality [5] .....                                                                          | 25 |
| Obr. 3-7 Odtoková křivka na řece Desné [7] .....                                                                     | 26 |
| Obr. 4-1 Pracovní charakteristika turbín. [6] .....                                                                  | 29 |
| Obr. 4-2 Bankiho turbína [2] .....                                                                                   | 30 |
| Obr. 4-3 Kaplanova turbína [2] .....                                                                                 | 31 |
| Obr. 4-4 Francisova turbína [2] .....                                                                                | 32 |
| Obr. 5-1 Druhý náhon ze zdrže na Divokém potoce. ....                                                                | 35 |
| Obr. 5-2 Místo druhé zdrže na Divokém potoce. ....                                                                   | 35 |
| Obr. 5-3 Schéma hydraulického obvodu [5] .....                                                                       | 36 |
| Obr. 5-4 Savková turbína.. [10] .....                                                                                | 39 |
| Obr. 5-5 Pracovní charakteristika turbíny ETMAS. [11] .....                                                          | 41 |
| Obr. 5-6 Kolenová kaplanova turbína. [16] .....                                                                      | 42 |
| Obr. 6-1 Jednopolové schéma elektrického návrh MVE [1] .....                                                         | 46 |
| Obr. 6-2 Základní schéma zapojení kompenzace[13] .....                                                               | 50 |
| Obr. 7-1 Odtoková křivka řeky Desné – vyznačení úseků provozu jednotlivých turbín [7].....                           | 58 |

## SEZNAM TABULEK

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tab. 3-1 M- denní průtok řeky Desné [7] .....</i>             | <i>26</i> |
| <i>Tab. 5-1 Parametry asynchronního generátoru G1 [12] .....</i> | <i>44</i> |
| <i>Tab. 5-2 Parametry asynchronního generátoru G2 [12] .....</i> | <i>45</i> |
| <i>Tab. 6-1 Nastavení síťových funkcí ochran.....</i>            | <i>48</i> |
| <i>Tab. 7-1 Náklady na stavební práce.....</i>                   | <i>55</i> |
| <i>Tab. 7-2 Náklady na strojní část. ....</i>                    | <i>56</i> |
| <i>Tab. 7-3 Náklady na el.část.....</i>                          | <i>56</i> |
| <i>Tab. 7-4 Celkový přehled nákladů .....</i>                    | <i>56</i> |
| <i>Tab. 7-5 Cenové rozhodnutí ERÚ pro rok 2012 [13] .....</i>    | <i>57</i> |
| <i>Tab. 7-6 Vypočet roční výroby. ....</i>                       | <i>58</i> |
| <i>Tab. 7-7 Vstupních hodnot .....</i>                           | <i>60</i> |
| <i>Tab. 7-8 Přehledová tabulka finančního toku.....</i>          | <i>62</i> |

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

|                |                                                                 |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| $C_o$          | je specifické teplo                                             |
| $\cos \varphi$ | účinník                                                         |
| $d$            | požadovaná výnosnost                                            |
| $D$            | daň z příjmu                                                    |
| $E_{Roč}$      | celkové množství energie vyrobené za rok                        |
| $E_T$          | celkové množství energie vyrobené jednou turbínou v daném úseku |
| $E$            | měrná energie                                                   |
| $f$            | frekvence                                                       |
| $G$            | generátor                                                       |
| $g$            | gravitační konstanta 9,81m/s <sup>2</sup>                       |
| $H$            | spád                                                            |
| $H_u$          | provozní spád                                                   |
| $i$            | požadovaný výnos z investice                                    |
| $I_k$          | počáteční zkratový proud                                        |
| $I_{ke}$       | ekvivalentní oteplovací proud                                   |
| $I_n$          | dovolený proud vodičem                                          |
| $I_G$          | proud vynutím generátoru                                        |
| $I_z$          | dovolené zatížení vodiče                                        |
| $K_i$          | pořizovací náklady                                              |
| $k_e$          | součinitel zohledňující dobu trvání zkratu                      |
| $k_1$          | přepočítávací součinitel                                        |
| $KTč$          | čistý kumulovaný tok hotovosti                                  |
| $KTh$          | kumulativní tok hotovosti                                       |
| $l$            | délka vodiče                                                    |
| $NPV$          | současná hodnota                                                |
| $N_v$          | investiční náklady                                              |
| $n$            | doba životnost                                                  |
| $n$            | otáčky                                                          |
| $n_{11}$       | jednotkové otáčky                                               |
| $O$            | odpisy                                                          |
| $P$            | výkon                                                           |
| $PI$           | koeficient ziskovosti                                           |
| $P_G$          | výkon na generátorů                                             |
| $P_N$          | roční provozní náklady                                          |
| $P_j$          | peněžní příjem z investice                                      |
| $Q$            | průtok                                                          |
| $Q_c$          | průtok turbínou                                                 |
| $Q_c$          | výkon kompenzační baterie                                       |
| $Q_{sit}$      | jalový výkon sítě                                               |
| $Q_G$          | jalový výkon generátoru                                         |
| $Q_{330}$      | zůstatkový, sanační průtok                                      |
| $R$            | odpor                                                           |
| $s$            | délka odpisovaného období                                       |
| $S$            | průřez vodiče                                                   |
| $S_{min}$      | minimální průřez vodiče                                         |
| $T$            | zisk                                                            |

---

|                            |                                    |
|----------------------------|------------------------------------|
| <b>t</b>                   | doba trvání                        |
| <b>t<sub>k</sub></b>       | doba trvání zkratu                 |
| <b>Th</b>                  | Tok hotovosti                      |
| <b>Tč</b>                  | čistý tok hotovosti                |
| <b>U<sub>s</sub></b>       | sdružené napětí                    |
| <b>ΔU</b>                  | úbytek napětí                      |
| <b>ΔU<sub>%</sub></b>      | procentuální úbytek napětí         |
| <b>V<sub>c</sub></b>       | výkupní cena                       |
| <b>X</b>                   | reaktance                          |
| <b>X<sub>k</sub></b>       | měrná reaktance vedení             |
| <b>Zč</b>                  | čistý zisk                         |
| <b>Zh</b>                  | hrubý zisk                         |
| <b> Z<sub>k</sub> </b>     | celková impedance kabelu           |
| <b>η<sub>t</sub></b>       | účinnost turbíny                   |
| <b>η<sub>tr</sub></b>      | účinnost transformátoru            |
| <b>η<sub>pr</sub></b>      | účinnost převodů                   |
| <b>η<sub>g</sub></b>       | účinnost generátoru                |
| <b>η<sub>celková</sub></b> | celková účinnost                   |
| <b>ρ</b>                   | rezistivita vodiče                 |
| <b>θ</b>                   | fiktivní teplota                   |
| <b>θ<sub>l</sub></b>       | nejvyšší dovolená teplota zkratu   |
| <b>θ<sub>k</sub></b>       | nejvyšší dovolené provozní teplota |

# 1 ÚVOD

Pro dnešní společnost je výroba elektrické energie jednou z nejdůležitějších činností, protože právě elektrická energie je základním kamenem dnešního stylu života, a také činitelem, který udržuje ekonomiku. K výrobě elektrické energie dnes využíváme mnoho výrobních procesů, které můžeme jednoduše dělit na obnovitelné a neobnovitelné. V jednoduchosti jde o to, že při výrobě elektrické energie neobnovitelnými výrobními procesy spotřebováváme nenávratně palivo, zatímco u obnovitelných procesů výroby využíváme přirozené síly vyskytující se na této planetě. Jedním z nejdůležitějších obnovitelných zdrojů je právě energie vody, využívaná pro výrobu elektrické energie ve vodních elektrárnách. Využívání energie vody je celkově opomíjená záležitost, na kterou se teprve v posledních letech začíná brát ohled. Přitom výroba elektrické energie z kinetické energie vody má dobrou účinnost a nízké požadavky na konstrukci a provoz. V České republice je stále dobrý potenciál pro vybudování malých vodních elektráren, a to nejen pro výstavbu nových, ale to i pro rekonstrukci starších, dnes již nefunkčních vodních děl. Cílem této práce má být i mimo jiné zvolení vhodné lokality pro výstavbu malé vodní elektrárny. Při hledání těchto lokalit byly brány v úvahu především ty lokality, které v minulosti již sloužily k využívání energie z vodního toku. Tyto lokality jsou totiž z většiny případů dobře přístupné, a nachází se na nich využitelné části odstavených elektrických výroben, z jejichž provedení můžeme vycházet. Vhodnou kombinací starších částí v uvažovaném projektu můžeme značně snížit pořizovací náklady. Je však nutné ověřit zdali je rekonstrukce či daná lokalita vůbec vhodná pro záměry zbudování vodního díla.

## 2 TEORIE MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN

Voda je v přírodě nositelem několika druhů energií, z níž nás zajímá energie mechanická a to přesně energie vodního toku, Pro přeměnu energie toku na elektrickou energii využíváme rychlost vody tedy energii kinetickou a energii tlakovou tedy potenciální. Ve vodních elektrárnách využíváme především energii potenciální. Dopadající voda na lopatky oběžného kola vytváří točivý moment, který roztáčí hřídel a tím i statorovou část generátoru. [1]

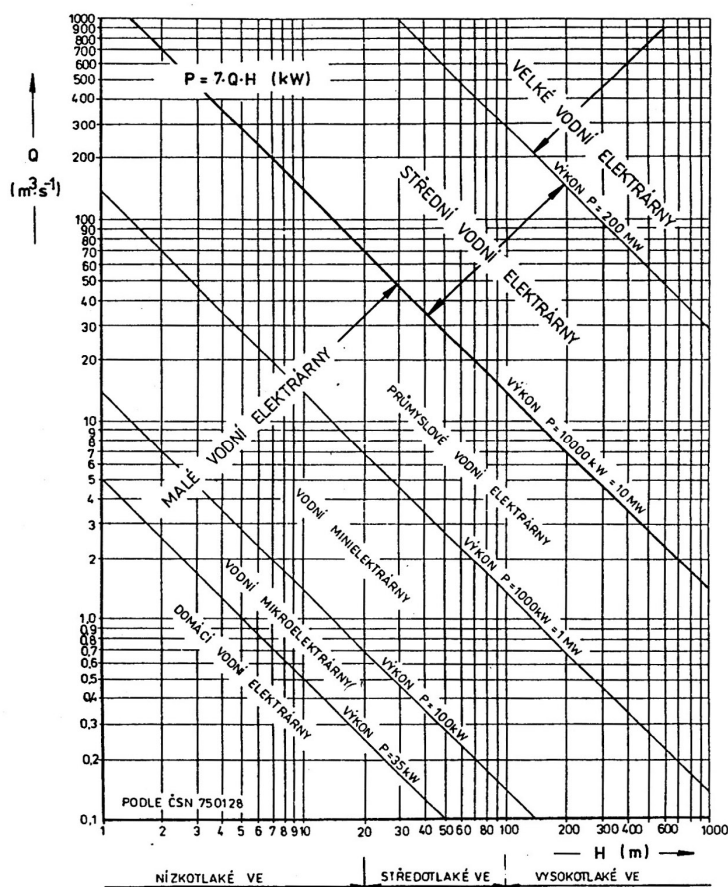
### 2.1 Hydroenergetický potenciál v České republice

Počet hydroenergetických zařízení se na území České republiky pomalu zvyšuje a to zejména během posledních několika let, ale je jen zlomkem původního počtu těchto zařízení. V roce 1930 bylo evidováno přibližně 10 500 malých vodních elektráren, dnes se počet pohybuje kolem jedné desetiny. Po ekonomickém zhodnocení lokalit, ale dojdeme k závěru, že ne všechny tehdy využívané lokality jsou pro stavbu vodní elektrárny dnes vhodné. Podle měření hydroenergetického potenciálu v České republice je technicky možné ještě postupně v MVE získat zhruba 500 MW elektrického výkonu s výrobou přibližně 1800 GWh/rok. Teoretická využitelnost vodních toků pro výrobu v MVE je tedy něco kolem 32%. Při případné úvaze o investici do MVE musíme myslet na to, že tyto hodnoty celkového hydrologického potenciálu nejsou přesné a jejich velikost se často mění s budováním nových děl, s příchodem nových technologií a podobnými ději těmto podobným. Nejdůležitějším faktorem jsou však zábrany, které nám brání MVE vystavět. Dnes je jednou z největších zábran získání potřebného průtoku od povodí řek. [4]

### 2.2 Dělení vodních elektráren

Vodní elektrárny můžeme dělit podle několika kritérií. Základní dělení vychází ze stanovených norem. Podle těchto norem dělíme elektrárny do několika skupin. První z těchto skupin je dělení vodních elektráren podle instalovaného výkonu. [1]

### 2.2.1 Dělení vodních elektráren podle instalovaného výkonu



Obr. 2-1 Dělení vodních elektráren podle instalovaného výkonu [1]

#### Vodní elektrárny takto dělíme na:

- Malé vodní elektrárny (MVE) s instalovaným výkonem do 10 MW
- Střední vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW
- Velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem nad 200 MW

#### Male vodní elektrárny následně dělíme na:

- Domácí vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 35 kW
- Vodní mikroeletřárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW
- Vodní mikroeletřárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1000 kW
- Průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 1 MW do 10 MW

Takto se podobným způsobem dělí vodní elektrárny podle celkového výkonu a dále také podle jednotkového výkonu soustrojí do tří tříd. [1]

Podle předchozího dělení si určíme, jakých instalovaných výkonů bychom chtěli dosáhnout a pro další práci se budeme zabývat námi vybranou kategorií. Vhodné a dostačující jsou vodní mikroelektrárny s instalovaným výkonem od 35kW do 100kW případně od 100kW do 1000kW. Tato kategorie byla zvolena vzhledem k uvažovaným lokalitám.

### 2.2.2 Dělení vodních elektráren podle získávaného spádu

Toto dělení vyplývá z použité techniky využívání vody a jejího spádu v určitém úseku řeky. Podle tohoto můžeme malé vodní elektrárny dělit na :

- Přehradové vodní elektrárny, jejichž spád je tvořen hrází.
- Jezové vodní elektrárny, jejichž spád je tvořen jezem.
- Derivační vodní elektrárny, jejichž spád tvoří vedení vody v přivaděči na vodní elektrárnu.
- Vodní elektrárny bez vzdouvající stavby využívající energii vody proudící v potrubí nebo v kanálu či v podobném zařízení. [1]

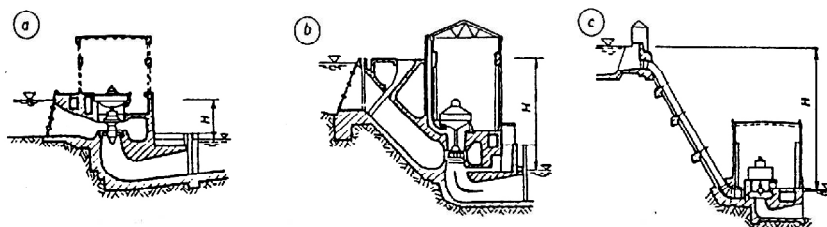
### 2.2.3 Dělení podle pracovního režimu

- Průtočné, pracující bez znatelného ovlivnění průtoku řeky.
- Akumulační, pracující řízeně s vodou v akumulační nádrži.

Pokud bychom uvažovali i o vodních elektrárnách s většími výkony, zařadili bychom sem i přečerpávací vodní elektrárny. [1]

### 2.2.4 Dělení podle velikosti spádu

- Nízkotlaké: využívající spád do 20m.
- Středotlaké: využívající spád nad 20m do 100m.
- Vysokotlaké: využívající spád nad 100m.



Obr. 2-2 Dělení MVE podle spádu: a) nízkotlaká, b) středotlaká, c) vysokotlaká [1]

Dále můžeme vodní elektrárny dělit podle umístění strojovny, uspořádání strojovny, řízení provozu, provozovatele atd. [1]

## 3 VOLBA VHODNÉ LOKALITY PRO VÝSTAVBU MVE

Volba vhodné lokality je nejdůležitější fází v rámci přípravy budování malé vodní elektrárny a velkým podílem se promítne do všech parametrů určující její charakter. Předtím, než budeme hledat konkrétní lokalitu vhodnou pro realizaci vodního díla, bychom měli mít alespoň představu, jak velký instalovaný výkon očekáváme nebo kolik je možné do díla investovat. Tyto fakty nám pomohou rychleji zvolit vhodnou lokalitu, protože ne všechny lokality budou dosahovat požadovaných parametrů a tím výběr zmenšíme na několik toků. Budeme-li se držet plánu výstavby mikrozdroje, postačí nám toky, které se vyskytují v okolí. Vzhledem k dobrému hydroergetickému potenciálu ČR je vhodné zvolit řeku na blízkém povodí v okolí kvůli údržbě provozu. Při volbě lokalit se v této práci budeme zaměřovat na místa, která byla k výrobě energie z vodního toku využívána již v minulosti. Budeme tyto lokality ověřovat, zdali je vhodné na nich MVE vybudovat a jak se bude lišit od původního provedení. V minulosti využívané lokality nesou několik výhod, mezi které patří: vybudované přístupové cesty, pozůstatky a blízkost přípojky na distribuční síť, pozůstatky náhonů, jezu a další objekty či zařízení s tím spojené. [4]

### 3.1 Zábrany

Při volbě vhodné lokality bychom také měli brát ohledy na další okolností, které mohou být s danou lokalitou spojeny, a byť je lokalita vhodná pro stavbu díla, které vyhovuje našim požadavkům, nemusí být realizace možná. Takovéto okolnosti chápeme jako zábrany a mohou být v oblasti majetko-právní, technicko-hospodářské nebo mohou vyplívat ze zájmů ochrany přírody, památkové péče nebo z postoje společnosti.

#### 3.1.1 Zábrany majetko – právní

Tyto zábrany se týkají pozemků či objektů, které by sloužily k našemu záměru, ale není je možné pro tyto záměry získat nebo jsou zatíženy nějakým věcným břemenem bránící realizaci MVE. Nejčastěji se jedná o neprodejné části pozemků, přístupové cesty v cizím vlastnictví, brody atd. [4]

#### 3.1.2 Zábrany vodohospodářské

Mohou být při stanovení zachovaného minimálního průtoku řečiště. Nejčastěji tuto otázku řešíme při případném rozšiřování MVE. Stavbou jezu či zádržného objektu na řečišti.

K dalším zábranám, jako je například ochrana přírody, není třeba nic dodávat je však důležité abychom před realizací tyto zábrany důkladně prošetřili. Můžeme se tím vyhnout mnoha nepříjemným situacím.

Dalším důležitým faktorem je technicko-ekonomické zhodnocení, z kterého mimo jiné vyplívá i důležitá návratnost zařízení. Ta udává, zdali je investice vhodná. Je nutné mít kvalitní materiály o toku, z nichž vyplívají údaje o jeho spádu, průtoku a další důležité informace. Z těchto údajů pak vypracujeme výkon MVE a spojené náklady a již zmiňovanou návratnost. Z této studie můžeme zjistit, jestli případná realizace bude podle našich předběžných požadavků. [4]

## 3.2 Výběr vhodné lokality

Vycházíme li tedy z hydroenergetického potenciálu můžeme se při vyhledávání lokality soustředit na vodní toky v povodí, které se nachází v blízkém okolí. Především je důležité zjistit průtok a spád v dané lokalitě na vybraném vodním toku. K výběru vhodné lokality jsme vybírali z řek spadající pod povodí řeky Moravy v severomoravském kraji. Určili jsme tři lokality, které ohodnotíme a částečně určíme. Poté důkladně zhodnotíme námi zvolenou lokalitu.

### 3.2.1 Možnost zřízení MVE na řece Moravská Sázava

Řeka Moravská Sázava má i dnes stále dobrý potenciál k využívání energie, jejího toku. Délka tohoto toku je 54,3 km a na svém konci ústí do řeky Moravy. Ovšem míst pro umístění vodního díla není mnoho, jelikož se zde projevuje několik výše zmíněných zábran. Koryto řeky prochází členitým údolím a je značně křížováno železniční a silniční komunikací a dále se kolem vyskytují chráněné rostliny. Jako vhodnou alternativou se ukazuje možnost obnovit vodní dílo v obci Hoštejn. Lokalita se nachází pod soutokem Moravské Sázavy a Březné. Podle jistých neověřených pramenů na námi zvoleném místě stálo vodní dílo využívající energii toku pro dnes stále existující pilu. Z původního zařízení se do dnes nedochovalo nic a v krajinném rázu jsou čitelné pouze pozůstatky jezu i tak zde nejsou žádné důkazy potvrzující jeho činnost pro pohon oběžných kol.

#### Parametry lokality:

- Umístění lokality na řece - 17. říční km
- Dlouhodobý průtok -  $4,10 \text{ m}^3/\text{s}$
- Spád - cca 2,5 m



Obr. 3-1 Fotografie Soutoku Moravské Sázavy a Březné. Na pravé části snímku je místo pro uvažovanou stavbu MVE

### 3.2.2 Možnost zřízení MVE na řece Moravě

Řeka Morava patří mezi velké toky naší republiky, její délka je 353 km a poté se vlévá do řeky Dunaj. Možnost využití energetického potenciálu tohoto toku je velké, ale je zdlouhavé najít konkrétní vhodnou lokalitu, která nebude zatěžovaná žádnými zábranami a nebude komplikovat a ani finančně přetěžovat realizaci MVE, a to i přesto, že se zajímáme o část z tohoto toku a to mezi 280 a 320 říčním kilometrem. Pro usnadnění budeme volit mezi lokalitami, které v minulosti sloužily malým vodním dílům. Jezů a vzdouvacím objektů je na řece Moravě celá řada a mezi nimi jsou i takové, které nemají využití. Například jeden z nich, náležící v územním plánu vesnici Aloisov. Jedná se o pozůstatky jezu se stavidlem k derivačnímu kanálu. Ze stavby jezu v korytě řeky zůstaly pouze ocelové profily, ukotvené na dně řeky. Lokalita je dobře přístupná pro těžkou techniku nedaleko je i možnost připojení do veřejné sítě. Tyto výhody by nám při stavbě MVE na zcela nové lokalitě scházeli a tím by se realizace prodražovala.

- Umístění lokality na řece - cca 316,9. říční km
- Dlouhodobý průtok –  $6,72 \text{ m}^3/\text{s}$
- Spád - cca 3,2 m



Obr. 3-2 Torzo jezu na řece Moravě.



Obr. 3-3 Jez na řece Moravě s viditelným stavidlem náhonu.

### 3.2.3 Možnost zřízení MVE na řece Desné

Řeka Desná je přítok řeky Moravy o délce toku 43,4 km. Jedná se o řeku, která má částečně horský charakter a to díky sklonu svého řečiště. I přes rychlost, kterou voda tohoto toku získává a špatnou dostupnost ve větších nadmořských výškách byla jeho energie v minulosti hojně využívána oběžnými koly, jelikož v okolí nebyl další větší tok, který by uspokojil hydromechanickou náročnost obyvatelstva. Výběr lokality na této řece nebyl složitý, jelikož se nám přímo nabízelo místo bývalého mlýna na derivačním kanále řeky Desné. V těchto místech se nacházelo několik takovýchto mlýnů, většina z nich je dnes neobnovitelná a v dezolátním stavu až na par výjimek, ze kterých jen málo slouží jako MVE. Námi diskutovaný mlýn má jez na řece Desné přibližně na 23,8 říčním kilometru. Tato lokalita spadá do katastrálního území Velké Losiny. V náhonu tohoto mlýna je jedna technická zvláštnost a to je dvojité nádržení náhonu, jelikož je náhon z řeky Desné křížován divokým potokem. Dojitým nádržením rozumíme že voda jdoucí na vodní dílo z řeky Desné přichází do dvou zdrží. První zdrž se nachází na řece Desné. S této zdrže jde voda náhonem do zdrže druhé. Do druhé zdrže zároveň přichází voda z divokého potoku. Z druhé zdrže voda pokračuje na vodní dílo. Budova mlýna je částečně v zachovalém stavu a je po několika stavebních úpravách. Derivační a odpadní kanál je v krajinném rázu stále znatelný. Znamky o existenci jezu jsou malé, jelikož byl zkonstruován z dřevěných kulatin a kamení, které podlehlly síle proudu a povodním.

#### Základní parametry lokality

- Umístění lokality na řece - cca 23,8. říční km
- Dlouhodobý průtok –  $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$
- Spád - cca 3 m



Obr. 3-4 Místo možné výstavby jezu na řece Desné.

### 3.3 Výsledné zhodnocení uvažovaných lokalit a zvolení vhodné lokality pro výstavbu MVE

V jednoduchosti jsme si zde popsali tři uvažované lokality pro umístění MVE. Všechny popsané lokality byly již v minulosti používány jako zdroje energie brané z hydroenergetického potenciálu toku. Některá negativa a pozitiva lokalit jsme v jejich zhodnoceních zmínili, ale ne všechny. Následně se pokusíme zdůraznit některé důležité klady a zápory daných lokalit a zmíníme proč se stavbě MVE na těchto lokalitách vyhnout nebo naopak proč ji právě zde uskutečnit.

#### 3.3.1 Zhodnocení lokality na řece Moravská Sázava

##### **Výhody:**

Výhodou této lokality je, že zvolené místo, kde by se MVE nacházela, není v okolí obydlené. Lokalita je dobře přístupná a objekt strojovny MVE by bylo vhodné umístit přímo na řeku.

##### **Nevýhody:**

Jako negativa bychom brali, že pozemek, kde bychom chtěli MVE umístit patří do majetků pily, která jej užívá k jiným účelům. Připojení na transformátor distribuční sítě je ve velké vzdálenosti objektu MVE a proto by se musela vybudovat nová přípojka. Dalším negativem je odčerpávání vody z řeky Moravské Sázavy pro účely obyvatelstva do venkovního koupaliště a chovných nádrží.

#### 3.3.2 Zhodnocení lokality na řece Moravě

##### **Výhody:**

Realizací MVE v této lokalitě bychom získali velkou sílu energie toku. Lokalita má v blízkosti transformátor distribuční sítě a místo je dobře přístupné. Lokalita není jinak využívána a není na ní žádný investorský zájem.

##### **Nevýhody:**

Jako nevýhoda se ukazuje velikost tohoto toku. Derivační kanál, vybudovaný na tomto jezu byl v minulosti využíván k pohonu více děl a proto má velkou délku. Dnešní stav tohoto derivačního kanálu je velice zanedbán, a proto bude muset být zkrácen a přestavěn. Nákladnou rekonstrukci bude vyžadovat i jez.

Malá vodní elektrárna by zde byla řešena derivačně.

### 3.3.3 Zhodnocení lokality na řece Desné

#### Výhody:

Zvolena lokalita pro tuto MVE se nachází v neobydlené oblasti mezi dvěma obcemi. Je zde zachovaná budova mlýna. Dále zde máme možnost opravy původního náhonu, a také je zde v těsné blízkosti transformátor distribuční sítě. Náhon je řešen jako dvojitý. Hlavní dodávku vody zajišťuje řeka Desná, a jako vedlejší je zde Divoký potok. Toto řešení je technicky zajímavé a zvýšilo by nám velikost průtoku jsoucího na MVE.

#### Nevýhody:

Nevýhodou je pouze nepřístupný terén.

### 3.3.4 Rozhodnutí se zdůvodněním

Z všech uvedených faktů jsem se rozhodl pro zpracování realizace MVE na řece Desné. Kvůli jejím nízkým nárokům a technické zajímavosti přiváděče k MVE. Lokalita na řece Moravě byla sice atraktivní variantou, ale její řešení bylo velice finančně nákladné. Lokalita na řece Moravské Sázavě byla v rozporu se záměrem vlastníka pozemku.

## 3.4 Přesný popis lokality na řece Desné

### 3.4.1 Shrnutí základních údajů

Vodní tok: Desná  
Říční kilometry jezu: 23,8 km  
Dlouhodobý průtok: 1,98 m<sup>3</sup>/s  
Předpokládaný spád: 3 m  
Katastrální území: Velké losiny  
ČHP: 4-10-01-0690



Obr. 3-5 Snímek mapy s lokalitou na řece Desné [5]



Obr. 3-6 Detailní snímek lokality [5]

### 3.4.2 Přesné určení hrubého spádu.

U všech zde výše popsaných lokalit byly hodnoty spádu získány pouze orientační z nepodložených popisů lokalit či pomocí akustického měřidla. Při měření přesné hodnoty spádů se používá nivelační přístroj nebo metody a přístroje této metodě podobné. V jednoduchosti jde o zjištění možné největší vzdálenosti mezi hladinou náhonu a odpadního kanálu.

Zjištění hrubého spádu lokality na řece Desné výchozí z měření nadmořských výšek a z historické dokumentace. Vztahuje se k budově starého mlýna. [4]

### 3.4.3 Hydrologické údaje lokality na řece Desné

Hydrologické údaje řeky Desné v dané lokalitě podle měření.

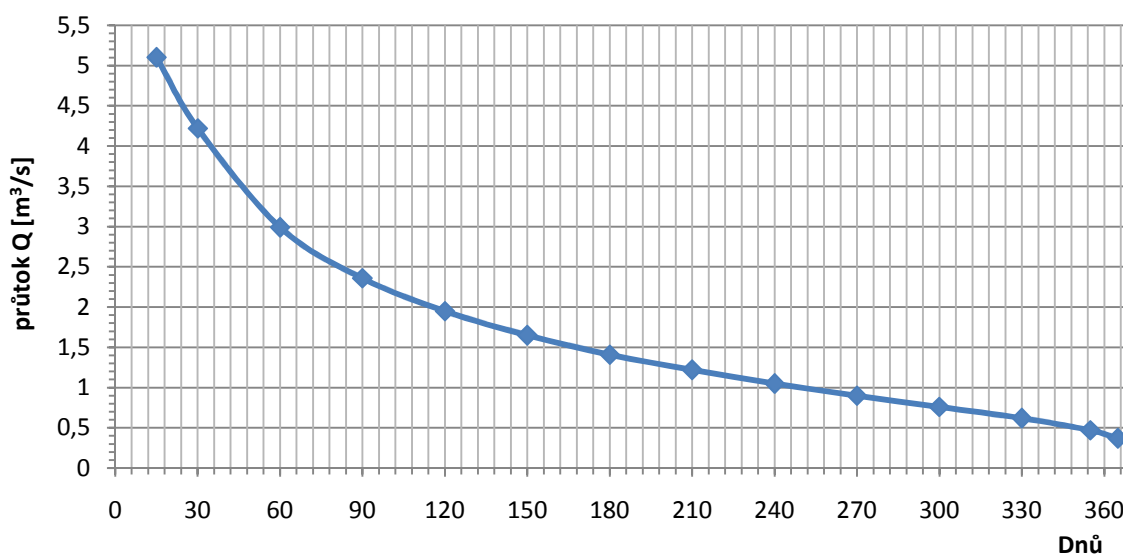
M-denní průtok

Tab. 3-1 M- denní průtok řeky Desné [7]

| Překročení ve dnech      | 30   | 90   | 180  | 270 | 330   | 355   | 364   |
|--------------------------|------|------|------|-----|-------|-------|-------|
| Průtok m <sup>3</sup> /s | 4,22 | 2,36 | 1,41 | 0,9 | 0,615 | 0,468 | 0,367 |

Průměrný dlouhodobý roční průtok tedy činí 1,98 m<sup>3</sup>/s. Minimální zůstatkový průtok pro tuto lokalitu je určen hodnotou  $Q_{330}=0,615\text{m}^3/\text{s}$

### Odtoková křivka na řece Desné



Obr. 3-7 Odtoková křivka na řece Desné [7]

Hodnoty na zde zobrazené odtokové křivce pocházejí z období od roku 1989 přibližně do roku 2006. Tyto hodnoty byly poskytnuty Českým hydrometrologickým ústavem.

## 4 VODOHOSPODÁŘSKÉ A HYDROENERGETICKÉ ŘEŠENÍ

### 4.1 Vodohospodářské řešení malých elektráren

Stavební řešení MVE je podřízené co nejvhodnějšímu využití energie toku, tedy dobrému hydraulickému řešení. Někdy je bohužel nejlepší hydraulické řešení omezeno podmínkami vycházejícími ze zvolené lokality. Těmi rozumíme aktuální ráz krajiny, výskyt dalších menších zábran, které jsme při volbě vhodné lokality zanedbali. Po zhodnocení těchto podmínek můžeme začít s konkrétním stavebním řešením MVE.

Do hydraulického návrhu řadíme návrh hydrauliky obvodu malé vodní elektrárny, který se skládá z řešení všech částí MVE, které jsou obtékána vodou. Do této kategorie řadíme: vtokové objekty MVE, lapače písku a usazováky, přivaděče vody a odpadní kanály, které dále dělíme na tlakové a beztlakové. Je nutné myslet na to, že se dané části ovlivňují a musí být při konstrukci brány jako celek s efektivními výsledky. Při projektování stavebního řešení MVE můžeme značně ovlivnit celkovou účinnost celku. [4]

#### 4.1.1 Vtokové objekty

Slouží k zajištění odběru vody pro MVE s co nejmenšími ztrátami. Navazuje na vodní tok či na nádrž, podle konstrukčního řešení elektrárny. Při jeho návrhu se snažíme o co nejlepší hltnost. Požadavky na vtokový objekt lze shrnout do několika bodů:

- Zajištění potřebného množství vody pro turbíny po celou dobu životnosti MVE.
- Zajištění čistoty vody od splavenin, které řeka nese na hladině, tak i proti splaveninám sunutých po dně toku či nádrže.
- Zábraně vnikání vzduchových bublin do prostoru kašny s turbínou. Tomuto problému předejdeme správným uspořádáním částí a tvaru vtokového objektu, jelikož bubliny vzduchu zhoršují účinnost turbíny.
- Zábraně zbytečného usazování předmětů nesených tokem na česlích obzvláště v náročných ročních obdobích jako je podzim a zima. Části vtokového objektu nesmí namrzat.
- Vhodný vtokový objekt je ze strany údržby časově nenáročný.
- Vtokový objekt musí být zkonstruován s minimálními hydraulickými ztrátami.

Vtokové objekty dělíme podle tlakových poměrů přivaděčů na beztlakové, tlakové a speciální. [4]

#### 4.1.1.1 Beztlakové vtokové objekty

Tyto objekty slouží obvykle k vedení vody z řečiště do přivaděče bez minimálních ztrát a splavenin. Obvykle mají vodní elektrárny dva vtokové objekty a to tlakový a beztlakový. Beztlakový vtokový objekt se nachází v místě odběru vody ze zdrže na vodním toku. Beztlakové vtokové objekty obvykle obsahují: vtokový práh, který zamezuje vnášení nečistot nesených po dně toku a také má za úkol využívání plánovaného proudění ve zdrži k odnášení těchto nečistot. Dále obsahují hrubé a jemné česle, regulační stavidla, usazovací práh pro zachycení písku neseného po dně. [4]

#### 4.1.1.2 Tlakové vtokové objekty

Tlakový vtokové objekty mají za úkol vedení vodu do kašny turbíny s vyvoláním co nejmenšího odporu, bez tvoření víru a unášení vzduchových bublin nebo vedením vody do tlakových přivaděčů. Profil vtoku se navrhuje tak, aby v něm rychlost proudění nepřesahovala 0,8 až 1,2 m.s<sup>-1</sup> ve vtocích jsou dále umístěny česle, uzávěrné ventily a v případě nebezpečí nesení písku či dalších nečistot do prahu vtoku umísťujeme proplachovací kanál pro usazení těchto nečistot. [4]

#### 4.1.2 Přivaděče a odpadní kanály

Přivaděče slouží k přivedení vody k turbíně a odpadní kanál ji má za úkol odvést zpět do koryta řeky. Přivaděče mohou velikostí své délky zvyšovat hrubý spad a to vhodným vedením derivačního kanálu. Tomuto říkáme derivace. Naproti tomu dlouhé přivaděče odebírají část z původního průtoku a tím nám jeho hodnotu zmenšují a jsou finančně nákladnější. Je tedy důležité zvážit, které varianty budou pro danou lokalitu nejvýhodnější a nejekonomičtější. Přivaděče a odpadní kanály opět dělíme podle tlakových poměrů na beztlakové a tlakové. Dále je dělíme podle konstrukčního provedení na přivaděče, kanály, náhony, žlaby, štolý atd. [4]

### 4.2 Hydroenergetické zařízení malé vodní elektrárny

#### 4.2.1 Turbíny

Turbína je bezpochyby prvek, který se nejvíc podílí na celkové účinnosti MVE. Turbína využívá (hydro) sílu vodního toku a tlaku na lopatkách pro převedení na sílu mechanickou, kterou dále převádíme v generátoru na elektrickou. Turbíny dělíme podle provedení, místa kde je používáme a na jakém principu pracují.

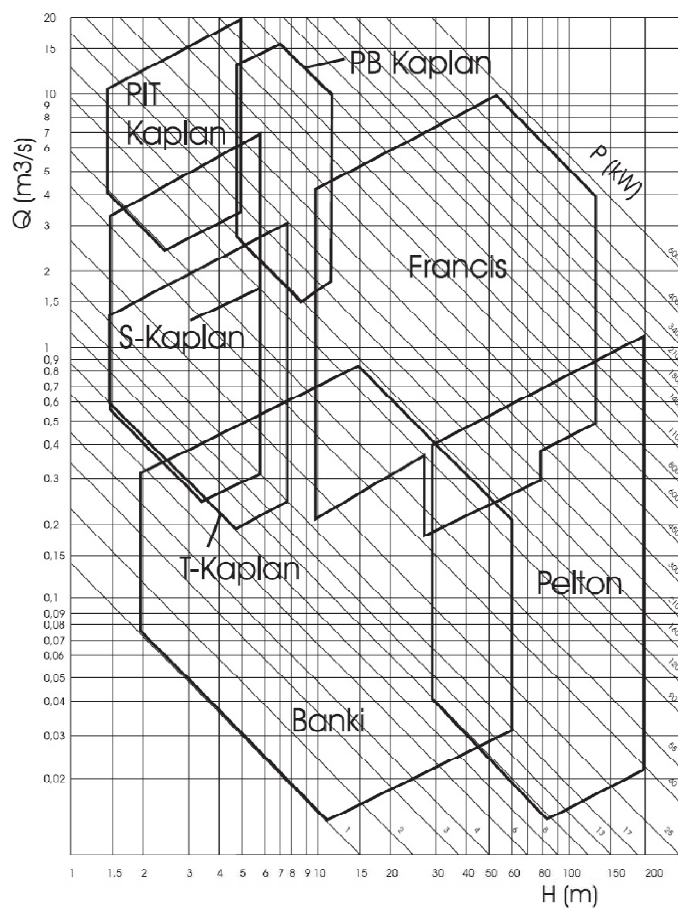
Obecný vzorec pro výpočet energie vody

$$E = g * H \quad (4.1)$$

Kde: E výsledná energie vody [ $\text{J kg}^{-1}$ ]

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

H spád [m]



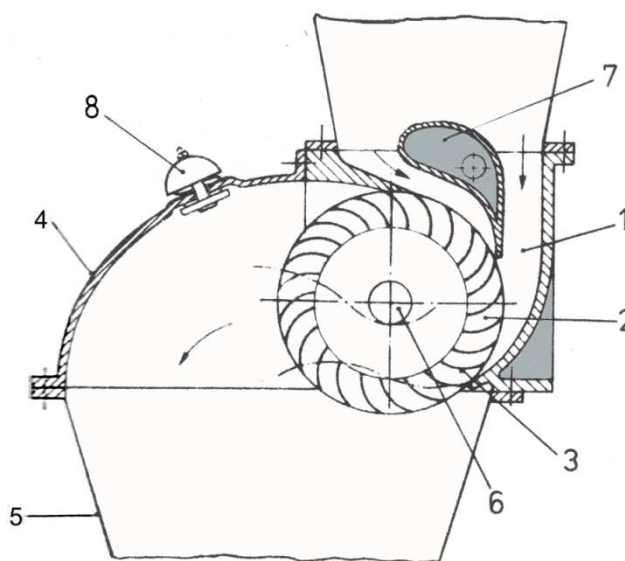
Obr. 4-1 Pracovní charakteristika turbín. [6]

### 4.2.1.1 Rovnotlaké turbíny

Tyto turbíny se jmenují rovnotlaké, jelikož voda má na vstupu a výstupu z turbíny stejný tlak. K přeměně kinetické energie vody na točivou mechanickou na hřídeli dochází tak, že paprsek vody dopadá na lopatku turbíny a předá jí svoji energii. Je zde podobný princip využívání kinetické energie vody jako u oběžného kola, ale základní rozdíl je ve způsobu předávání energie, čímž dosahujeme větších účinností. U vodních kol dochází k rázovému předání energie vodním paprskem, zatímco u rovnotlakých turbín dochází k plynulému vodnímu paprsku, který se s dopadem na lopatku odrazí a mění svojí dráhu, tím předá většinu své energie turbíně. Vodní paprsek, o určitém objemu vody a rychlosti v atmosférickém prostředí zcela ztratí svojí energii, jelikož vzduch působí odpor a ten se lineárně zvyšuje s rychlostí paprsku. Takže čím je paprsek vody tenčí a rychlejší, tím dříve přijde o svoji energii, proto se snažíme sestavit turbínu s nejkratší vzdáleností letu paprsku. Rovnotlaké turbíny dělíme podle směru a charakteru vodního paprsku. Mezi tyto turbíny patří například bankiho turbína a peltonova turbína. [2]

#### Bánkiho turbína

Jedná se o provedení radiální turbíny s dvojnásobným průtokem. Používáme ji pro měrné energie  $E = (10 - 2000) \text{ J.kg}^{-1}$  a průtok do  $9 \text{ m}^3/\text{s}$ . Princip Bánkiho turbíny je, že voda, která rozstrčí turbínu protéká oběžným kolem, které se skládá ze dvou kruhových věnců spojených lopatkami. Voda na Bánkiho turbínu přichází dvakrát, protože je před turbínou dělena regulační lopatkou. První průtok má dostředivý a druhý odstředivý charakter. Tento typ je řazen mezi rovnotlaké turbíny, i když první část tak nepracuje, rovnotlaký je totiž pouze druhý průtok. První průtok má totiž charakter přetlakových turbín, ale pro teoretické výpočty uvažujeme, že jsou oba průtoky rovnotlaké. [2]



Obr. 4-2 Bánkiho turbína [2]

#### 4.2.1.2 Přetlakové turbíny

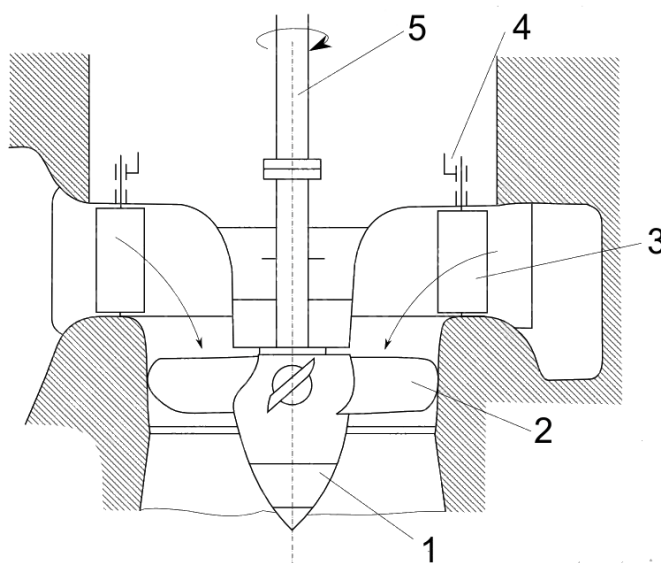
Tyto turbíny označujeme jako přetlakové, protože využívají energii tlaku vody pro pohyb oběžného kola. Jednoduše jde o to, že voda má větší tlak před vstupem na oběžné kolo než za ním. U těchto typů turbín se v rozváděči část energie vody přeměňuje na energii kinetickou. Mezi tyto turbíny patří například kaplanova turbína, francisova turbína[2]

#### Kaplanova turbína

Tyto turbíny se používají u menších spádů a to cca do 70m. Dále tyto turbíny používáme tam, kde nemůžeme zajistit stálý průtok. Vyznačují se širokým rozsahem regulace, a to díky řízení natočení lopatek rozváděcího kola a také i řízením lopatek oběžného kola. Polohováním těchto lopatek můžeme dosáhnout dobrých účinností, které se pohybují mezi 88 až 90 %. Charakteristický je u těchto turbín axiální průtok oběžným kolem, kterým můžeme dosáhnout větších průtoků a většího počtu otáček. Nevýhodou těchto turbín jsou doprovodné jevy, které vznikají při provozu soustrojí. Reakcí na tyto jevy je složitější konstrukční provedení, které nám zvyšuje investiční náklady. S Kaplanovou turbínou se lze také setkat v několika variantách, jako je například spirální kaplanova turbína.

Princip těchto turbín je ten, že se snažíme lopatky příváděcího kola nastavit tak, aby voda jdoucí na lopatky měla co největší rychlost. K lopatkám příváděcího kola jsou vhodně nastaveny lopatky oběžného kola. Voda dále putuje do savky a odtud do vývařiště.

Možnost konstrukce Kaplanovy turbíny je horizontální nebo vertikální. V těchto provedeních je zásadní hodnota měrné energie, která je u Kaplanových turbín horizontální  $E = (15 - 50) \text{ J.kg}^{-1}$  při průtoku  $Q = (0,5 - 6,0) \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  do průměru oběžného kola 1m. Pro měrnou energii  $E = (50 - 100) \text{ J.kg}^{-1}$  je vhodnější aplikace vertikálního provedení. [2]

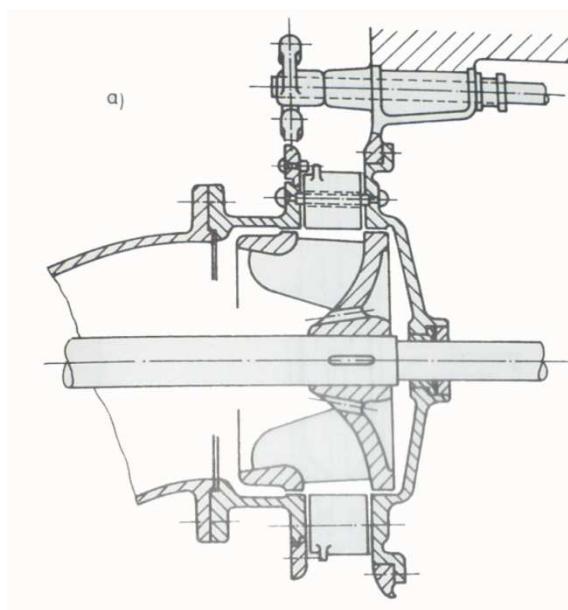


Obr. 4-3 Kaplanova turbína [2]

## Francisova turbína

Tyto turbíny byly v minulosti nejčastěji používanými přetlakovými turbínami a z její konstrukce vyšlo mnoho dalších variant. Používaly se pro hodnoty měrné energie od  $20 \text{ J.kg}^{-1}$ , dnes se využívají u MVE pro měrné energie  $E = (50 - 3000) \text{ J.kg}^{-1}$ . Využívají se nejčastěji pro větší hodnoty spádu. Známé jsou ale i případy použití pro spády pod 10 m. Velký vliv má totiž charakter toku. Francisovu turbínu používáme v horizontálním nebo vertikálním uspořádání s přívodem vody na oběžné kolo pomocí spirály nebo odkryté kašny.

Oběžné kolo se skládá z vnějšího věnce, náboje a mezi nimi jsou oběžné lopatky turbíny. Tyto lopatky jsou obvykle konstruovány z ocelového plechu a jsou pevně zapuštěny do náboje turbíny. Dále se turbína skládá z nosného víka, které je pevně zapuštěné do kašny a z víka druhého, na kterém je savka odvádějící vodu z turbíny. Nosné víko tvoří lopatkový kruh s rozváděcími lopatkami, které můžeme regulovat pomocí regulačního kruhu. Při větších měrných energiích používáme spirální Francisovu turbínu, která je sice složitější na přivedení vody do turbíny, ale je ekonomicky výhodná, pokud chceme dosáhnout větších výkonů. Jedinou nevýhodou těchto turbín je složité řízení jejich regulace. [2]



Obr. 4-4 Francisova turbína [2]

## 5 NÁVRH MVE NA ZVOLENÉM TOKU.

### 5.1 Navrhy možných řešení provedení MVE na zvolené lokalitě.

Při hledání optimálního řešení pro zvolenou lokalitu musíme maximálně využít možnosti, které z ní vyplívají. Uvažované možnosti budou optimalizovány do variant, které budou následně porovnány a bude rozhodnuto jaká technologie a jaký typ hydraulického obvodu bude zvolen. Je nutné, aby varianty prococovali z přednosti lokality a snažily se využít její potenciál.

#### 5.1.1 Návrh možných řešení

##### Varianta 1

Jelikož se jedná o lokalitu, která v minulosti sloužila vodnímu dílu, můžeme z těchto minulých provedení vycházet. Jednalo by se tedy o provedení z dvojitém nádržením a to se zdržemi na řece Desné a Divokém potoce, které by zvyšoval velikost průtoku jdoucího na MVE. V této variantě bychom využili stávající budovu mlýna pro zázemí MVE, ale z technických důvodů bychom museli vybudovat novou budovu strojovny. Dále můžeme plně využít a rekonstruovat náhony a odpady, které jsou stále v krajinném rázu čitelné. Využití těchto prvků bychom zmenšili prvotní investice do díla. Také bychom do této varianty mohli zahrnout možnost změny polohy strojovny MVE kvůli optimalizaci ztrát při derivaci. Pro zachování předností této varianty, se musí poloha strojovny nacházet v ose druhého náhonu. Kvůli terénu a přístupové cestě jsou však možnosti příliš omezené a je nutné myslet na to, že změnou polohy v řadech metrů se změní spád. Pokud se bude budova strojovny přibližovat k druhému nadržení na divokém potoce velikost spádu se začne zmenšovat. Se zvětšováním vzdálenosti se nám bude spád zvětšovat, ale s tím nám porostou lineárně i ztráty průtoku vody náhonem. Je nutné zvážit, jestli je změna polohy výhodná.

##### Varianta 2

V této variantě bude prozkoumána možnost umístění budovy MVE na vzdálenějším místě oproti původnímu a to s využitím tlakového přivaděče. Toto místo se nachází na opačném říčním břehu než objekt první varianty a to přibližně ve vzdálenosti 100m od jádra jezu. Toto umístění je kvůli zvýšení hrubého spádu, který podle předběžných odhadů vzroste až na 11m. Oproti tomu bychom, ale museli uvažovat optimální rozměry tlakového přivaděče, který nemůžeme konstruovat na maximální možný průtok. Tato metoda vykazuje větší finanční náročnost, ale při správném dimenzování by mohla dosáhnout větších výkonů a rychlejší návratnosti než například Varianta první.

### **Varianty 3**

Další možnou variantou je umístění budovy strojovny MVE přímo do systému jezu. Toto řešení umožňuje vypuštění mnoha konstrukčních prvků a snižuje tedy celkové náklady na investici. Těmito konstrukčními prvky rozumíme: náhony, odpadní kanály. Tímto řešením však snížíme velikost hrubého spád přibližně pod hranici 2m. Nesmíme opomenout však horský charakter řeky Desné a rychlost vody v řečišti. Tuto energii bychom mohli například využívat experimentálním typem turbíny, a to například výrovou turbínou .

### **5.1.2 Zhodnocení a výběr vhodné varianty**

Po předběžném zhodnocení možných variant, které vycházelo z hodnocení velikosti získaného hrubého spadu na maximálním možném průtoku, na velikosti investice, na stavebních komplikacích souvisejících z realizací varianty a dalších faktorech, bylo rozhodnuto pro aplikaci první varianty. Tato varianta nabízí především možnost dvojitého nádržení vycházející z řešení původního vodního díla. Druhé nádržení zvětší průtok jdoucí na MVE a tím zvýší množství energie vyrobené za jeden rok. Dále můžeme využít stávající budovu mlýna a pozůstatky přivaděčů a odpadního kanálu.

### **5.1.3 Provedení hydraulického obvodu MVE**

Jelikož se tedy jedná o derivační elektrárnu s dvojitým nádržením. Celkový hydraulický obvod se bude skládat z vtokového objektu beztlakového a to v případě odvodu vody z řečiště náhonem do druhého místa nádržení, a zde bude navazovat jednoduchý vtokový objekt beztlaký, který přejde do druhého náhonu zakončeného tlakovým vtokovým objektem na turbínu.

Bylo uvažováno pro druhý náhon možnost použití tlakového přivaděče, kvůli znečištění, ale volba tohoto řešení by rapidně snížila spád.



*Obr. 5-1 Druhý náhon ze zdrže na Divokém potoce.*



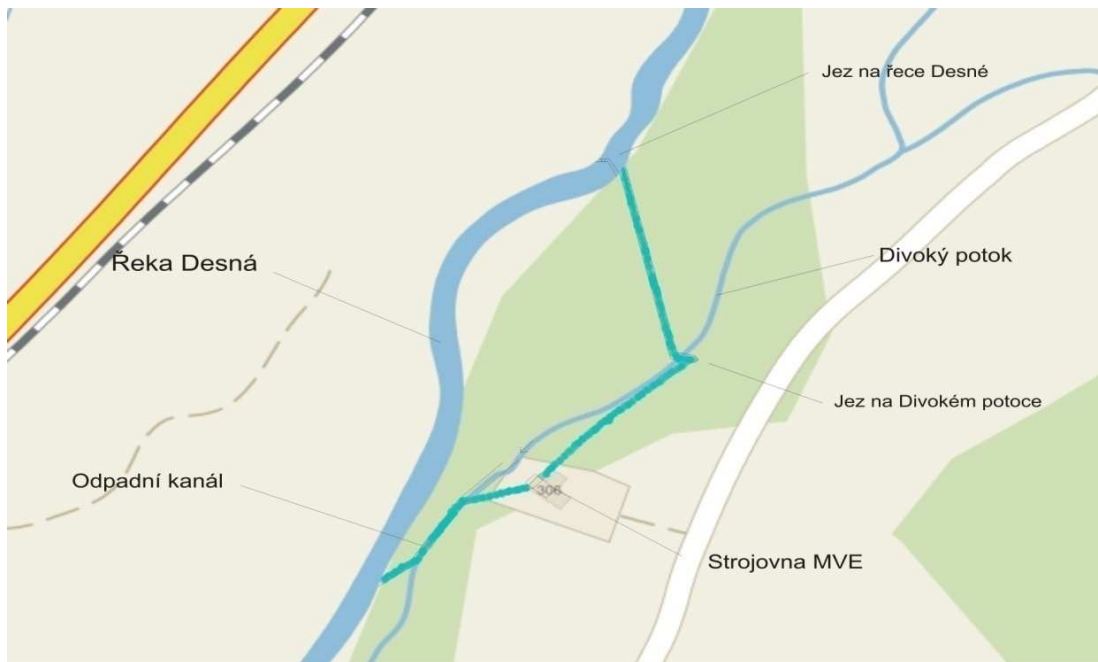
*Obr. 5-2 Místo druhé zdrže na Divokém potoce.*

Vtokový objekt na řece Desné bude jednostranný odběr na levém břehu řeky se snahou o využití příčné cirkulace proudění v řece. Bude se skládat z:

- Vtokového prahu, který je umístěn nad dno zdrže. Jeho úkolem je zachytávání nečistot nesených po dně o tento práh, které jsou pomocí plánovaného proudění odnášeny pryč.
- Norné stěny s hrubými a jemnými česlemi k zachytávání nečistot.
- Usazovacího prostoru pro zachycení písku a kamene nesených po dně náhonu.
- Regulačních stavidel pro regulaci množství vody jdoucí na MVE.

Další beztlakový vtokový objekt nebude obsahovat vtokový práh a hrubé česle. Systém tlakového přiváděče bude obsahovat: závěrný ventil, jemné česle a proplachovací kanál

Dále v našem návrhu použijeme dvě turbíny a to s důvodu využití plného charakteru odtokové křivky. Při vhodné regulaci a využití plných možností těchto turbín by bylo možné dosáhnout až 270 provozních dní. Tyto okolnosti záleží převážně na vhodně zvolených typech turbín a jejich regulace.



Obr. 5-3 Schéma hydraulického obvodu MVE [5]

## 5.2 Předpokládaný výkon na MVE

Teoretický výkon je definován jako množství vody protékající z horní nádrže do spodní. Tato voda potom koná práci, pro kterou platí: [1]

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (5.1)$$

Kde:  $P$  – výkon, [W]

$\rho$  – je měrná hmotnost vody, [1000 kg/m<sup>3</sup>]

$g$  – gravitační zrychlení, [ 9,81 m/s<sup>2</sup>]

$Q$  – průtok turbínou, [ m<sup>3</sup>/s]

$H$  – spád mezi horní a dolní zdrží. [ m ]

Pro přesnější výpočet teoretického výkonu použijeme dlouhodobý průtok, od kterého odečteme průtok sanační. Sanačním průtokem rozumíme průtok, který musíme zachovat v řečišti. V úvahu zde můžeme brát i vliv navýšení průtoků vlivem Divokého potoka. K tomuto navýšení dochází v místě druhé zdrže. [1]

Dlouhodobý průtok:  $Q = 1,98 \text{ m}^3/\text{s}$

Zůstatkový průtok pro lokali na řece Desné:  $Q_{330} = 0,614 \text{ m}^3/\text{s}$

Možné navýšení průtoku vlivem Divokého potoku:  $Q = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Výsledný průtok jdoucí na turbíny bude:

$$Q_{\text{celkový}} = Q_{\text{Desná}} + Q_{\text{Div.pot}} - Q_{330} \quad (5.2)$$

$$Q_{\text{celkový}} = 1,98 + 0,21 - 0,614 = 1,565 \text{ m}^3/\text{s}$$

Spád byl určen  $H = 3 \text{ m}$

Teoretický výkon tedy bude:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,565 \cdot 3 = 46,058 \text{ kW} \quad (5.3)$$

Ovšem pro výpočet výkonu celé hydroenergetické části musíme do výpočtů zahrnout i účinnosti jednotlivých hydroenergetických zařízení. Tyto účinnosti získáme při předpokladem nebo při volbě zařízení. Celkový výkon tedy bude možné upřesnit.

Pro získání celkové účinnosti platí:

$$\eta_{\text{celková}} = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} \quad (5.3)$$

$\eta_t$  – Účinnost turbíny, obvykle definujeme jako poměr reálného výkonu k výkonu teoretickému. Do této účinnosti také zahrnujete hydraulické ztráty, objemové ztráty a mechanické ztráty.

$\eta_g$  – Jedná se o účinnost generátoru, který přeměňuje mechanickou energii na energii elektrickou. Účinnost generátoru je tedy rozdíl mezi mechanickým výkonem na hřídel a elektrickým výkonem na svorkách generátoru.

$\eta_p$  – Účinnost převodu je používána zvláště v případech, kdy není turbína na společné hřídeli s generátorem. V případě použití společné hřídele bývá tato účinnost  $\eta_p = 1$ .

$\eta_{tr}$  – účinnost transformace zavedíme v případě transformace výstupního výkonu na jinou napěťovou hladinu. V této práci nebude tato účinnost zohledňovaná, jelikož výstupní výkon bude odebírán distributorem před transformací. [1]

Pro výkon na prahu MVE tedy platí:

$$P = g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{celkova}} \quad (5.4)$$

### 5.3 Návrh vhodných turbín

V teoretickém návrhu bylo uvažováno použití dvou turbín. Jako nejlepší se jeví volba kombinace jedné turbíny s možností regulace a druhé s pevně nastavenými parametry, aby bylo docíleno co nejlepšího využití průtoku, a tím i nejdelšího možné období výroby. Budeme-li tedy vycházet z pracovní charakteristiky turbín nejlépe se pro tuto MVE jeví kaplanovaná turbína.

Informace a parametry turbín nejsou obvykle zveřejňovány, proto je nutné při hledání možných řešení kontaktovat výrobce pro získání bližších informací a i touto cestou je zjištění potřebných parametrů typových turbín velice složité.

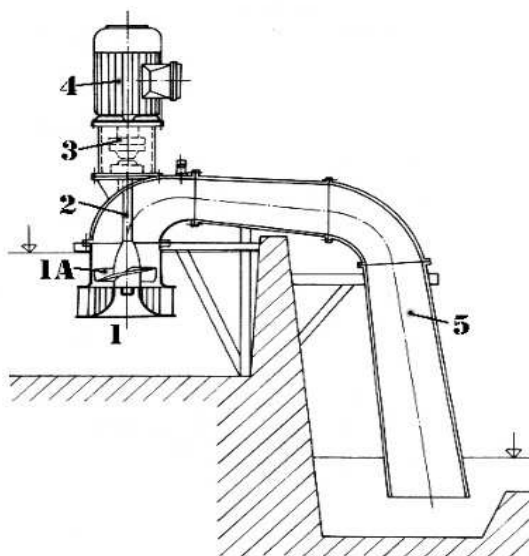
Pro návrh bylo možné rozhodovat se mezi několika tuzemskými či zahraničními firmami. Bohužel ne všechny byly ochotné spolupracovat anebo nebyly se svými turbínami pro návrh vhodné, a to typovým provedením či cenou. Při zúžení výběru byly ponechaný pro možnou aplikaci dvě možná řešení.

### 5.3.1 Varianta 1

V tomto provedení by se jednalo o použití násoskových turbín typu TM5 a TM5-R od firmy MAVEL a.s. Oba uvedené typy turbín se technickými parametry od sebe neliší. Jediným rozdílem je, že druhý typ turbíny obsahuje oproti prvnímu regulaci, kterou docílí lepšího využití průtoku. Uvedené turbíny splňují požadavky, které vycházejí z lokality.

#### Násoskové turbíny

Tento typ turbín má velice jednoduchou konstrukci patřící do vrtulových a obvykle je používán pro mikrozdroje. Konstrukce těchto turbín je z litinové komory a sací roury. Rozváděcí a oběžné lopatky jsou vyráběny z možnosti regulace nebo s pevným natavením bez možnosti regulace. Oběžná kola jsou v několika variantách pro dané průtoky. Násoskové turbíny jsou na instalaci a uvedení do provozu značně nenáročné často se používají k obnově starších vodních děl při menší možnosti investice. Pro uvádění těchto turbín do provozu je nutné, aby bylo možné generátor provozovat i v motorickém režimu, a to kvůli zavodnění násosky čerpáním. Po zaplnění násosky může stroj přejít do generátorického chodu. Pro aplikaci těchto turbín je nutné splnit podmínku stálosti hladiny v místě umístění násosky. Tyto turbíny jsou také ekologické, jelikož dolní vodící ložisko je samomazné, tedy mazané vodou. Hlavní výhodou jsou nízké pořizovací náklady a jednoduchost provedení.



Obr. 5-4 Savková turbína.. [10]

**Turbína TM5, TM5-R**

Použití pro spády od 2 m až 6 m

Průměr oběžného kola 550 mm

Jednotkové otáčky  $n_{11} = 129,9 \text{ ot/min}^{-1}$

Otáčky turbíny:  $n = 416 \text{ ot/min}^{-1}$

**T1 - TM5**

Pevně nastavené lopatky oběžného kola. Úhel otevření  $\beta$  je  $= 30^\circ$  pro průtoky od 0,7 až 0,9  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Účinnost turbíny při plném průtoku bude 78,5%. Tato účinnost ovšem pro zadaný rozsah neplatí, jelikož jsou účinnosti pro každý průtok rozdílné. Celková účinnost turbíny tedy je 70,05%.

**T2 - TM5-R**

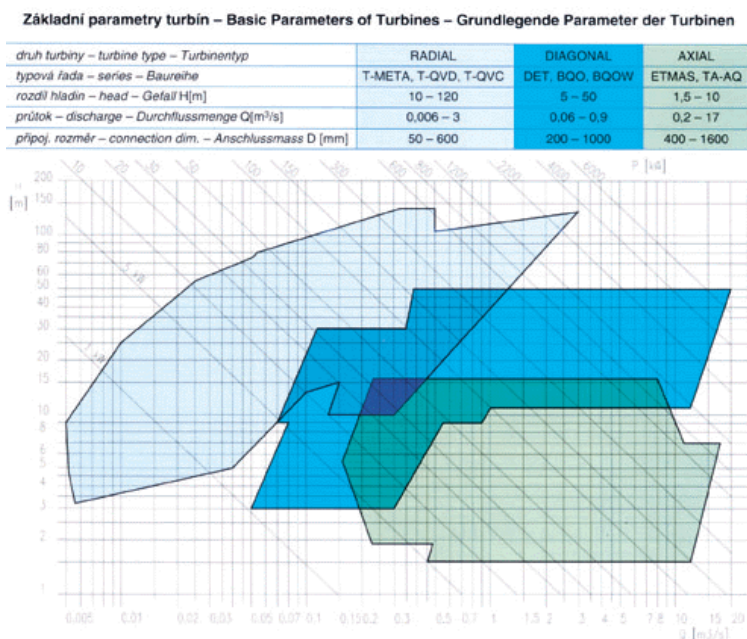
Nastavitelné lopatky oběžného kola pro úhly od  $18^\circ$  do  $36^\circ$  je vhodná pro průtoky od 0,7 do 1,1  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Účinnost této turbíny je 72,6%.

**5.3.2 Varianta 2**

V této variantě řešení budou uvažovány dvě kaplanovy kolenové turbíny typu ETMAS Th 500 distribuované firmou SIGMA s.r.o. Tyto turbíny nejsou příliš známé, a proto jsou cenově výhodnější než obdobné typy turbín na trhu.

Pro ověření vhodnosti zvolených turbíny, je možné použít pracovní charakteristiku turbín nabízené distributorem.

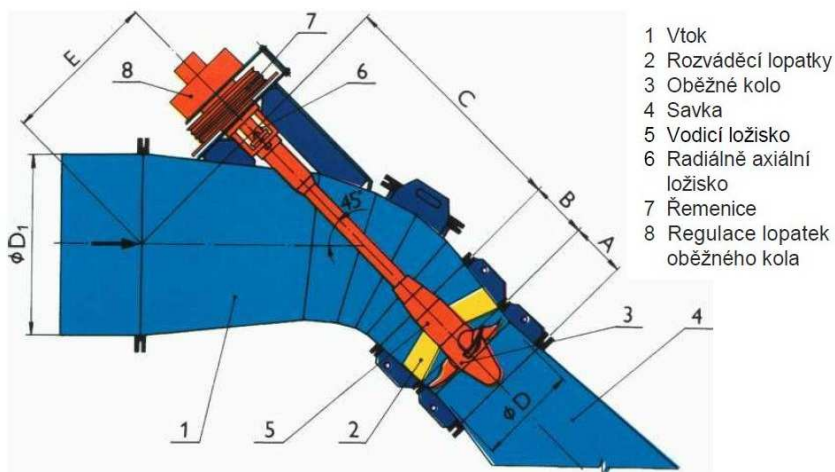


Obr. 5-5 Pracovní charakteristika turbíny ETMAS. [11]

**ETMAS Th 500****Obecné parametry:**

Průměr oběžného kola: 500 mm

Jednotkové otáčky:  $n_{11}=140.3 \text{ ot/min}^{-1}$ Otáčky za minutu:  $n = 494 \text{ ot/min}^{-1}$ **T1- Neregulovaná**Pracuje s průtoky od 0,2 po 0,9 m<sup>3</sup>/s s účinností 85%**T2-Regulovaná**Pracuje s průtoky od 0,2 do 1,25 m<sup>3</sup>/s s účinností 83%



Obr. 5-6 Kolenová kaplanova turbína. [16]

### 5.3.3 Výběr vhodnější varianty

Po srovnání obou možných variant byla vybrána druhá možnost a to protože, že je schopná dosáhnout větších účinností a větších rozsahů průtoků. Kaplanovy turbíny jsou také méně náchylné na změny hladiny horní zdrže. Celková investice do druhé varianty bude sice vyšší, ale z předpokladů bude druhá varianta ekonomičtější.

## 5.4 Generátory

Jedná se o jednoduchý točivý stroj, který pracuje na principu přeměny energie kinetické na energii elektrickou. Nejčastěji se ve spojení s výrobou elektrické energie setkáme asynchronními stroji. [1]

### 5.4.1 Asynchronní generátor

Asynchronní generátory se svojí konstrukcí nějak neliší od asynchronních motorů. Jedinou podmínkou aby bylo dosaženo u tohoto stroje generátorického chodu je zvýšení otáčky rotoru nad otáčky synchronní.

Pokud by se otáčky rotoru rovnaly synchronním, v statoru by se poté neindukoval žádný budící proud a moment stroje by se rovnal nule. Proto tedy potřebujeme, aby byly otáčky rotoru větší než otáčky synchronní. V případě generátoru toho můžeme dosáhnout tak, že začneme zvětšovat moment stroje pomocí hnací síly, která vyrábí točivou energii na hřídeli. Při zvyšování momentu se zároveň zvýší i otáčky rotoru a začne docházet k indukci napětí ve statoru, což má za následek že se na svorkách daného stroje začne objevovat činná složka proudu

Asynchronní generátory jsou nejvíce rozšířenými generátory v malých vodních elektrárnách a to především pro svou spolehlivost, nenáročnost údržby a jednoduchost konstrukce. Dále pro asynchronní generátory platí, že výstupní hladiny frekvence a napětí není dále třeba nějak regulovat, jelikož většinou odpovídají požadavkům distributora. Asynchronní generátor musí mít pro svou práci magnetizační proud.

## 5.4.2 Volba vhodných Generátorů

Při výběru vhodného generátoru je výhodné zvolit tuzemský trh, který nabízí široké možnosti a také bude ušetřeno na dopravě zařízení. Z těchto firem je neznámější firma Siemens. Od této firmy budou zvoleny asynchronní generátory z typové řady 1LG6, které se jako generátory v MVE osvědčili.

### Volba vhodného generátoru G1 pro turbínu T1

Výkon na hřídeli turbíny T1:

$$P_{T1} = g \cdot Q_T \cdot H \cdot \eta = 9,81 \cdot 0,9 \cdot 3 \cdot 0,83 = 21,984 \text{ kW} \quad (5.4)$$

Kde  $Q_T$  – průtok turbínou T1, [ m<sup>3</sup>/s ]

Předpokládaný výkon na svorkách generátoru G1:

$$P_G = P_{T1} \cdot \eta_{pr} \cdot \eta_G = 21,984 \cdot 0,93 \cdot 0,919 = 18,79 \text{ kW} \quad (5.5)$$

Kde  $\eta_{pr}$  – účinnost převodu – typové řady od výrobce turbín 0,93,  
 $\eta_G$  – účinnost generátoru.

Z katalogového listu volíme generátor G1 s typovým označením 200L 1LG6 6AA1

### Parametry asynchronního generátoru G1

Tab. 5-1 Parametry asynchronního generátoru G1 [12]

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| Označení          | 200L 1LG6 207 6AA        |
| Výkon             | 22 kW                    |
| Jmenovité otáčky  | 978 ot/min <sup>-1</sup> |
| Účinnost          | 91,90%                   |
| Cos φ             | 0,82                     |
| Proudové zatížení | 42 A                     |
| Jmenovitý moment  | 215 Nm                   |
| Frekvence         | 50 Hz                    |
| Napětí            | 400D/690Y                |
| Hmotnost          | 240 kg                   |

### Volba vhodného generátoru G2 pro turbínu T2.

Výkon na hřmely turbíny T2:

$$P_{T2} = g \cdot Q_T \cdot H \cdot \eta = 9,81 \cdot 1,25 \cdot 3 \cdot 0,85 = 31,269 \text{ kW} \quad (5.6)$$

Kde  $Q_T$  – průtok turbínou T2, [ m<sup>3</sup>/s]

Předpokládaný výkon na svorkách generátoru G2:

$$P_G = P_{T2} \cdot \eta_{pr} \cdot \eta_G = 31,269 \cdot 0,93 \cdot 0,932 = 27,10 \text{ kW} \quad (5.7)$$

Kde  $\eta_{pr}$  – účinnost převodu – typové řady od výrobce turbín 0,93,  
 $\eta_G$  – účinnost generátoru.

Z katalogového listu volíme generátor s typovým označením 225M 1LG6 223 6AA.

### Parametry asynchronního generátoru G2

Tab. 5-2 Parametry asynchronního generátoru G2 [12]

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| Označení          | 225M 1LG6 223 6AA        |
| Výkon             | 30kW                     |
| Jmenovité otáčky  | 980 ot/min <sup>-1</sup> |
| Účinnost          | 93,20%                   |
| Cos φ             | 0,83                     |
| Proudové zatížení | 56 A                     |
| Jmenovitý moment  | 292 Nm                   |
| Frekvence         | 50 Hz                    |
| Napětí            | 400D/690Y                |
| Hmotnost          | 325 kg                   |

## 5.5 Převod

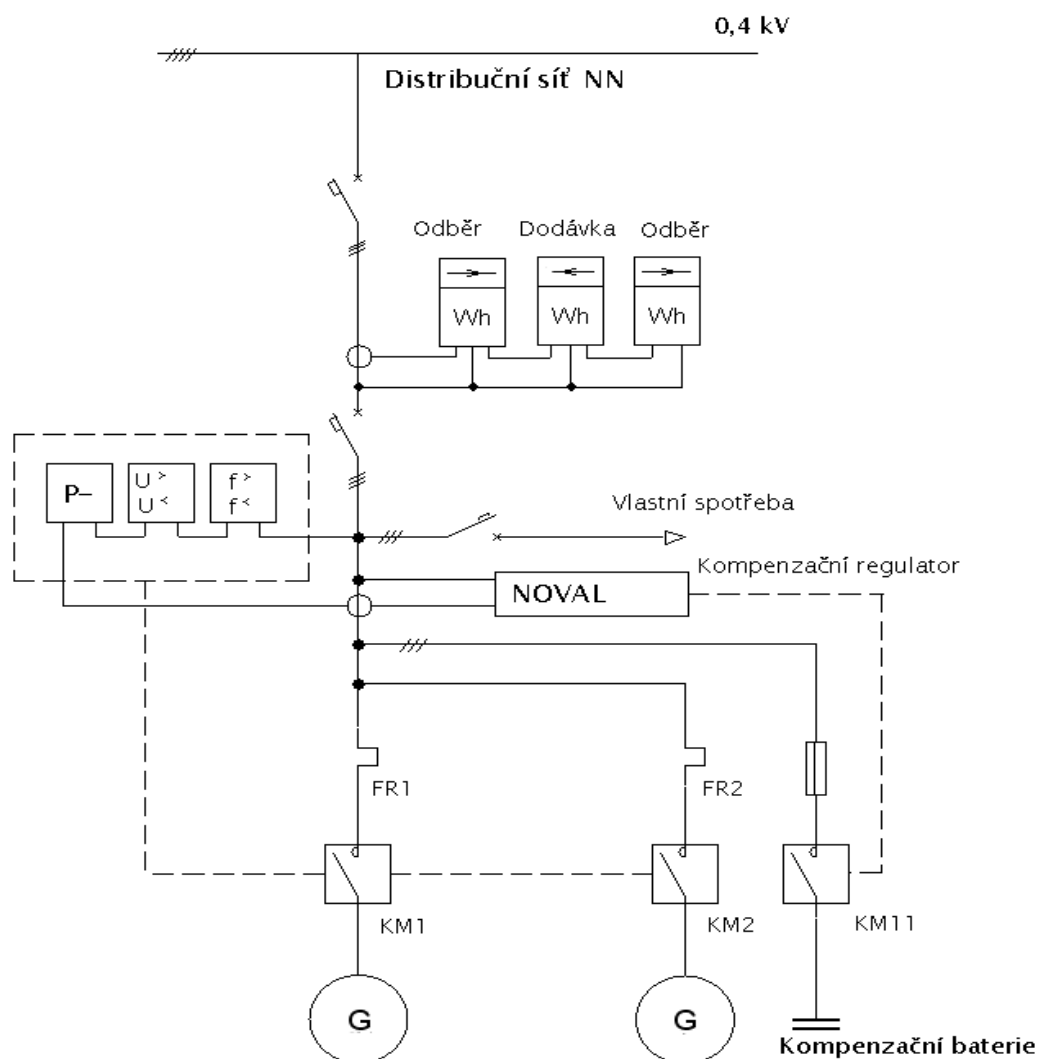
Zvolené turbíny nemají stejný počet otáček jako asynchronní generátor, a proto je potřeba do výpočtu celkového výkonu zahrnout také účinnost daného převodu. Potřebný převod je dodáván s turbínami a jeho účinnost je 93%. Náklady na zakoupení tohoto převodu jsou zahrnuty v ceně turbíny.

## 6 ELEKTRICKÁ ČÁST MVE, A JEJÍ PŘIPOJENÍ DO ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY.

Řešení malých vodních elektráren pro stránce elektrické části podléhá pod mnoho kritérii a nařízení především vycházejících z podmínek provozu zdroje elektrické energie a dodávání elektrické energie do distribuční sítě. Tato pravidla se obvykle týkají spolehlivosti dodávky elektrické energie a jejích parametrů. Při řešení elektrické části návrhu je důležité znát, do jaké napěťové úrovně bude zdroj vyrábět a za jakých podmínek. Dále je důležité správné řešení návrhu připojení na distribuční síť a vzdálenost, na kterou budeme výkon přenášet.

Pro splnění základní podmínek vyplívající z připojení do distribuční sítě, musíme tedy do návrhu vhodně zařadit: ochranné prvky, moduly automatizace provozu, měření výkonu a další prvky. Pro konkrétní řešení tohoto projektu je zde zobrazeno jednopólové schéma jejich uspořádání.

### Jednopólové schéma elektrického návrhu MVE



Obr. 6-1 Jednopólové schéma elektrického návrh MVE [1]

Důležité části elektrického návrhu budou dále popsány a určeny, kvůli jejich důležitosti a vlivům na připojení do distribuční sítě.

## 6.1 Ochrany

Každý generátor dodávající výkon do sítě musí být vybaven elektrickými ochranami, aby byl chráněn před nepříznivými vlivy z rozvodné sítě. Tyto ochrany samozřejmě zastávají tuto funkci v případě účinné ochrany rozvodné sítě před nepříznivými stavy na generátorech. V praxi je používáno mnoho druhů ochran, jejich volba vychází z jednotlivých problematik projektu. Jsou zde, ale samozřejmě typy ochran, které musí být zahrnuty v každém projektu. [1]

V malých vodních elektrárnách obvykle používáme následující typy ochran:

- Nadproude ochrany  
Tyto ochrany indikují překročení zvoleného proudu. Používají se na vývodech z MVE. Dále je dělíme na okamžité či časově závislé. Ochrany okamžité chrání stroj proti zkratu. V tomto projektu bude vhodné pro generátor použití pojistek, které se hodí pro jištění menších strojů. Případně může být použit samostatně nebo v kombinaci s pojistkami jistič s nastavitelnou vypínací charakteristikou. Ochrany časově závislé indikují přetížení stroje. Vhodné je použití nastavitelných jisticích zařízení. [1]
- Napětíové ochrany  
Tyto ochrany dělíme podle indikace hladiny napětí na přepětíové a podpětíové. Pro obě tyto ochrany obvykle používáme nastavitelná relé, a to pro každou ochranu zvlášť, abychom zvýšily kvalitu ochrany a účinně chránily daná zařízení. [1]
- Kmitočtové ochrany  
Kmitočtové ochrany dělíme na nefrekvenční a podfrekvenční. Obvykle tuto ochranu zastává jedno relé. [1]
- Ochrany zajišťující správné přifázování na distribuční síť. Tato zařízení obvykle spadají pod automatizaci v MVE, ale obvykle obsahují ochrany a kontrolu sledu fází a symetrie napětí.
- Zpětno wattovou ochranu  
Tato ochrana kontroluje soustrojí, aby nedocházelo u generátoru k práci v motorickém režimu.
- Tepelná ochrana vynutí generátorů  
Tato ochrana slouží k indikaci teploty vně vynutí generátorů, které by mohli stroj trvale poškodit. Tyto ochrany se do generátoru zabudovávají při výrobě. [1]

Požadavky na stupně chránění vycházejí z obecných pravidel a provozovatele distribuční soustavy. Základní požadavky na ochrany musí plnit tyto funkce:

Tab. 6-1 Nastavení síťových funkcí ochran.

| Funkce                       | Rozsah nastavení        | Příklad nastavení | Časové zpoždění | Příklad nastavení |
|------------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Podpětí 1.stupeň $U<$        | 0,70 $U_n$ až 1,0 $U_n$ | 90% $U_n$         | $t_{U<}$        | 0,5 s             |
| Podpětí 2.stupeň $U<<$       | 0,70 $U_n$ až 1,0 $U_n$ | 80% $U_n$         | $t_{U<<}$       | 0,1 s             |
| Přepětí 1. stupeň $U>$       | 1,0 $U_n$ až 1,2 $U_n$  | 110% $U_n$        | $t_{U>}$        | 0,5 s             |
| Přepětí 2. stupeň $U>>$      | 1,00 $U_n$ až 1,2 $U_n$ | 120% $U_n$        | $t_{U>>}$       | 0,1 s             |
| Podfrekvence 1. stupeň $f<$  | 48Hz až 50Hz            | 49,8Hz            | $t_{f<}$        | 0,5 s             |
| Podfrekvence 2. stupeň $f<<$ | 48Hz až 50Hz            | 49,5Hz            | $t_{f<<}$       | 0,1 s             |
| Nadfrekvence $f>$            | 50Hz až 52Hz            | 50,2Hz            | $T_{f>}$        | 0,5 s             |

Po individuální dohodě s provozovatelem distribuční sítě je možné upustit od 2. stupně ochran. Jakoukoli změnu v nastavení ochran, která neodpovídá uvedeným kritériím je nutné konzultovat s distributorem.

## 6.2 Regulace a automatizační systémy MVE

Stupeň automatizace MVE je obvykle volen podle požadavků na samostatnou práci osazených zařízení bez zásahu obsluhy. Při návrhu automatické MVE by, ale měla být brána v potaz celková investice do těchto zařízení.

Automatizaci k turbínám obvykle dodává a nabízí výrobce turbín. Tato automatizace obvykle zajišťuje správný chod turbíny, řeší havarijní stavy na zařízení a další záležitosti. Skládá se z několika prvků měření a čidel. Je napojená na napěťové a další ochranné zařízení. Vhodná alternativou tohoto řešení jsou produkty automatizace provozu nabízené firmou HYDROHROM.

Celková regulace průtoku na MVE bude upravována pomocí regulovatelného stavidla případně jezovou klapkou, která bude upravovat množství vody, které bude pokračovat na výrobu. Toto zařízení bude na jezu řeky Desné a na jezu na Divokém potoce bude regulace dálkově a automatizací neřízené, případně ovladatelné pomocí stavidel ovládaných pohonem.

Dále budou součástí každého vtokového objektu stavidla, která bude možné při potřebě uzavřít či omezit množství vody jdoucí na MVE.

Regulace nastavitelné turbíny bude prováděna pomocí lopatek rozváděcího a oběžného kola oproti druhé, která bude mít lopatky oběžného kola v pevné nastavené poloze. Lopatky budou ovládány pomocí hydraulického systému.

Před turbínami v místě vtokového objektu do MVE nebude umístěn žádný elektricky ovládaný pojistný ventil. Tuto funkci bude v případě havárie obstarávat oběžné kolo turbíny.

### 6.3 Kompenzace jalových výkonů

K dalším povinnostem, které se k výrobě elektrické energie a dodávky distributorovy vážou je kompenzace. Slouží ke snížení ztrát vedením, které způsobují jalové proudy.

#### Zopakování parametrů:

Napětí na generátorech  $U_s = 400 \text{ V}$

Proud na svorkách  $I_{G1} = 42 \text{ A}$ ,  $I_{G2} = 56 \text{ A}$

Výkon  $P_{G1} = 26,741 \text{ kW}$ ,  $P_{G2} = 36,160 \text{ kW}$

Účinník  $\cos\varphi_1 = 0,82 \Rightarrow \tan\varphi_1 = 0,698$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,83 \Rightarrow \tan\varphi_2 = 0,672$

Jalového výkonu Generátoru 1

$$Q_{G1} = P_{G1} \cdot \tan\varphi_1 = 26741 \cdot 0,698 = 18,665 \text{ kVar} \quad (6.1)$$

Jalového výkonu Generátoru 2

$$Q_{G2} = P_{G2} \cdot \tan\varphi_2 = 36160 \cdot 0,672 = 24,299 \text{ kVar} \quad (6.2)$$

Generátor dále kompenzujeme pro  $\cos\varphi$ , který požaduje distributor. Tento účinník se obvykle pohybuje od  $\cos\varphi = 0,95$  do  $1,0$ . Jako kompromis bude zvolen  $\cos\varphi = 0,98$ .

Jalový výkon sítě pro zadaný účinník  $\cos\varphi = 0,98$

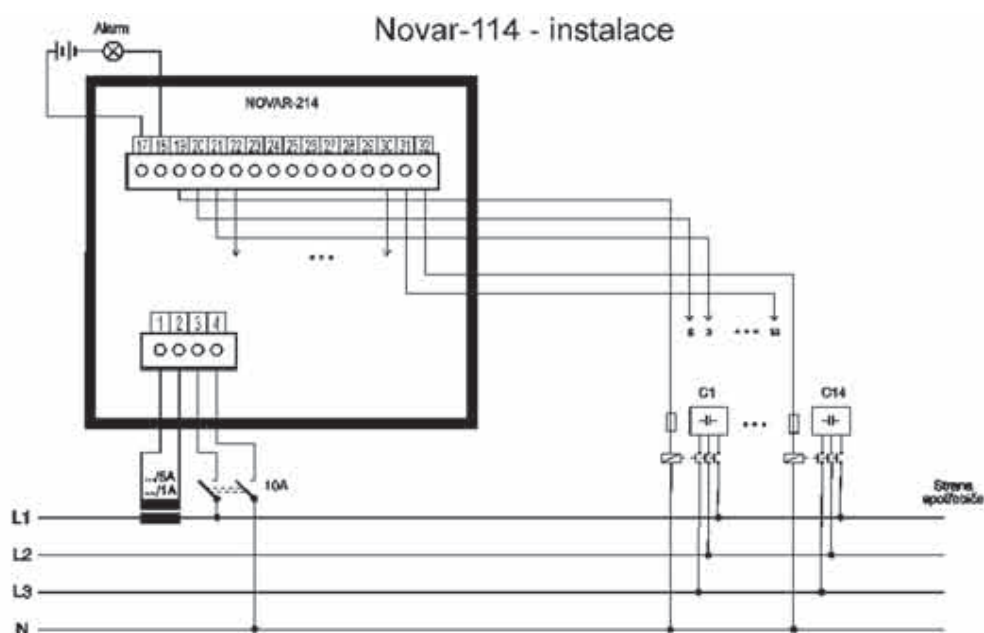
$$Q_{\text{sit}} = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_{G12} \cdot \sin\varphi_{\text{sit}} = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot (42 + 56) \cdot 0,199 = 13,511 \text{ kVar} \quad (6.2)$$

Výsledný výkon kompenzační baterie pro dosažení  $\cos\varphi = 0,98$ .

$$Q_C = Q_{G12} - Q_{\text{sit}} = 18665 + 24299 - 13511 = 29,453 \text{ kVar} \quad (6.3)$$

### 6.3.1 Návrh kompenzační baterie

Pro možnost účinné kompenzace byla vybrána kompenzační baterie sestávající z 5 stupňů kompenzace. Kompenzátorova řada je  $Q_1=2,5\text{kVAr}$ ,  $Q_2=5\text{kVAr}$ ,  $Q_3=8\text{kVAr}$ ,  $Q_4=12,5\text{kVAr}$ ,  $Q_5=15\text{kVAr}$ . Vhodnou kombinací těchto kondenzátorů docílíme požadované kompenzace. Celkový výkon kompenzační baterie je  $43\text{kVAr}$  což splňuje požadavky na kompenzaci Vpínání jednotlivých stupňů kompenzace bude provádět regulátor jalového výkonu Noval 1106 od firmy ZEZ Silko. [13]



Obr. 6-2 Základní schéma zapojení kompenzace[13]

### 6.4 Dimenzování přívodního vodiče

Pro přenesení vyráběného výkonu z malé vodní elektrárny do místa připojení k distribuční síti použijeme kabel uložený v zemi. Toto rozhodnutí vychází z charakteru terénu a vzdálenosti mezi oběma místy připojení. Vzdálenost tohoto kabelu bude přibližně 74m a měl by být veden v ochranném plášti. Průřezy vodičů tohoto kabelu je důležité vhodně nedimenzovat

Pro správné dimenzování vodičů obecně platí několik pravidel, které musí být splněny. Mezi tyto pravidla patří: že provozní teplota vodiče nesmí přesáhnout dovolenou teplotu, aby byl vodič navržen hospodárně, aby vodič byl dostatečně mechanicky pevný, aby úbytek napětí byl ve stanovených mezích a aby vodiče odolávaly účinkům zkratových proudů. V tomto případě bude průřez vodiče stanovovat pomoci doloveného úbytku napětí. Pro ostatní ověření nemáme dostatečné množství informací nebo je můžeme zanedbávat. [12]

Jako první bude stanoveno dovolené **zatížení vodiče**, pro které platí:

$$I_z = I_{G1} + I_{G2} = 42 + 56 = 98A \quad (6.4)$$

Kde:  $I_z$  – dovolené zatížení vodičem, [A]

$I_{G1,G2}$  – Proud na generátoru. [A]

**Dovolený proud vodičem uloženého v zemi:**

$$I_n \geq \frac{I_z}{k_1} = \frac{98}{1,05} = 93,33A \quad (6.5)$$

Kde:  $I_n$  – dovolený proud vodičem. [A]

$k_1$  – přepočítávací součinitel, který byl určen 1,05.

Z tabulky 29. dovolených proudů vodičem s přílohy [12] jsem určily pro způsob uložení D průřez vodiče  $3 \times 50 \text{ mm}^2$ . Tento průřez odpovídá proudovému zatížení 94A. Z tohoto výsledku byl vybrán kabel 1-AYKY  $3 \times 50 + 35$ .

#### 6.4.1 Dimenzování přívodních vodičů podle dovoleného úbytku

Úbytek napětí můžeme vyjádřit jako rozdíl hodnoty napětí na svorkách přístroje a hodnoty jmenovité. Velikost úbytku napětí je také jedním s charakterů spolehlivosti dodavky elektrické energie. Aby byl tedy vodič vhodně nadefinován, měl by se útek napětí pohybovat  $\pm 5\% U_n$ . [12]

**Nejprve bude proveden výpočet odporu vodiče:**

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} = 0,029 \cdot \frac{74}{50} = 0,0429 \Omega \quad (6.6)$$

Kde:  $R$  – je odpor vodič, [ $\Omega$ ]

$\rho$  – je měrný elektrický odpor vodiče, [ $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$ ]

$l$  – je délka vodiče, [m]

$s$  – je normalizovaný průřez vodiče. [ $\text{mm}^2$ ]

**Pro reaktance vodiče platí:**

$$X = X_k \cdot l = 0,06 \cdot 0,074 = 4,44 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (6.7)$$

Kde:  $X_k$  – měrná reaktanci vedení.

**Pro výpočet úbytku napětí na vedení můžeme psát:**

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi = 0,0429 \cdot 98 \cdot 0,98 + 4,44 \cdot 10^{-3} \cdot 98 \cdot 0,199 = 4,2 \quad (6.8)$$

**Procentuální vyjádření tohoto úbytku.**

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_f} = \frac{4,2 \cdot 100}{230} = 1,83\% \quad (6.9)$$

Zvolený kabel vyhovuje z hlediska dimenzování pomocí úbytku napětí. [12]

### 6.4.2 Dimenzování vodičů podle tepelných účinků zkratových proudů

Tento postup je nutné provést při každém dimenzování vodičů, jelikož tepelné účinky zkratových proudů mohou mít za následek poškození vodiče. Touto metodou je tedy určován průřez vodiče  $S_{\min}$ , který zapříčiní, že se při zkratu nezvedla teplota jádra vodiče nad teplotu dovolenou  $\vartheta_k$ . [12]

Důležitá pro tento výpočet je celková **impedance kabelu**, pro kterou můžeme psát:

$$|Z_K| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{0,0429^2 + (4,44 \cdot 10^{-3})^2} = 0,0431 \Omega \quad (6.30)$$

**Pro počáteční zkratový proud platí:**

$$I_K'' = k \cdot \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot |Z_K|} = 1 \cdot \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,0431} = 5894,06 \text{ A} \quad (6.41)$$

Kde:  $I_K''$  – počáteční zkratový proud, [A]

$k$  – součinitel zkratu pro tento případ je  $k=1$  jelikož se jedná o třífázový zkrat,

$c$  – je napěťový součinitel.

**Pro ekvivalentní oteplovací proud platí:**

$$I_{ke} = k_e \cdot I_K'' = 1,08 \cdot 5894,06 = 6365,6 \text{ A} \quad (6.52)$$

Kde:  $k_e$  – součinitel zohledňující dobu trvání zkratu.

**Vpočet minimálního průřezu:**

Pro výpočet minimálního průřezu při tepelných účincích zkratových proudů je nutné zjistit z přílohy [12] následující hodnoty:

$$\rho_{20} = 0,029 \text{ [mm}^2/\text{m]}$$

$$\vartheta = 228 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$C_0 = 2,417 \text{ [J/cm}^3/^\circ\text{C]}$$

$$\vartheta_1 = 70 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\vartheta_k = 150 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

**Minimální průřez vodiče tedy bude:**

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{(\vartheta + \vartheta_k)}{\vartheta + \vartheta_1}}} = \frac{6365,6 \cdot \sqrt{0,5}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,029} \cdot \ln \frac{228 + 150}{228 + 70}}} = 64,20 \text{ mm}^2 \quad (6.6)$$

Kde:  $S_{\min}$  – minimální průřez vodiče [mm]

$t_k$  – doba trvání zkratu [ms]

$c_0$  – specifické teplo [J/cm<sup>3</sup>/°C]

$\rho_{20}$  – specifický odpor pro 20°C [Ωmm<sup>2</sup>/m]

$\vartheta$  – fiktivní teplota [°C]

$\vartheta_1$  – nejvyšší dovolená teplota zkratu [°C]

$\vartheta_k$  – nejvyšší dovolená provozní teplota [°C]

Z oteplovací zkoušky zkratovým proudem vidíme, že zvolený vodič nevyhovuje, proto volíme vodič s normalizovaným průřezem 3x70 z katalogu poté celím označením 1-AYKY 3x70+50. [12]

## 7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MVE

Ekonomické zhodnocení MVE je jednou z nejdůležitějších částí návrh, jelikož s výsledků tohoto zhodnocení bude rozhodnuto, zdali bude nebo nebude MVE postavena. V jednoduchosti jde o porovnání nákladů a zisků, které vyplivají z výstavby a provozu díla. Do tohoto zhodnocení jsou také zahrnuty případné úvěry potřebné k realizaci nebo také dotace a bonusy spojené s výstavbou ekologického zdroje elektrické energie. V případě tohoto návrhu bude uvažováno, že všechny vstupní náklady budou pokryty investorem.

### 7.1 Náklady na realizaci MVE

#### 7.1.1 Náklady na stavební část MVE

Do těchto nákladů řadami všechny investice spojené ze stavebními pracemi, které se týkají obnovy starších částí mve tak i výstavby nových částí díla. Většina ze stavebních prací bude vykonávána stavební firmou, která nebyla zatím přesně určená, ale při hledání vykonavatelů těchto prací byly zjištěny následující ceny jednotlivých stavebních prací. Cena na projektovou dokumentaci a náklady na dopravu jsou zahrnuty v rezervě, která činí 5% z celkových nákladů.

#### 7.1.2 Náklady na stavební práce

Tab. 7-1 Náklady na stavební práce

|                                     |                     |
|-------------------------------------|---------------------|
| Jez na řece Desné                   | 402 000 Kč          |
| Vtokový objekt na řece Desné        | 65 000 Kč           |
| Přivaděč ze zdrže na řece Desné     | 32 000 Kč           |
| Jez na Divokém potoce               | 334 000 Kč          |
| Vtokový objekt na Divokém potoce    | 84 000 Kč           |
| Přivaděč ze zdrže na Divokém potoce | 95 000 Kč           |
| Vtokový objekt MVE                  | 140 000 Kč          |
| Odpadní kanál                       | 380 000 Kč          |
| Strojovna                           | 1 480 000 Kč        |
| <b>Celkem</b>                       | <b>3 012 000 Kč</b> |

### 7.1.3 Náklady na Strojní část MVE

Do této části zahrnujeme veškeré strojní vybavení MVE. Náklady na převod a další součásti turbín jsou zahrnuty v ceně

Tab. 7-2 Náklady na strojní část.

|                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| Kaplanovy turbíny               | 2 820 000 Kč        |
| Generátory                      | 162 000 Kč          |
| Zařízení vtoků, tlakové potrubí | 316 000 Kč          |
| <b>Celkem</b>                   | <b>3 298 000 Kč</b> |

### 7.1.4 Náklady na elektroinstalace, automatizaci a měření část MVE

Tab. 7-3 Náklady na el.část

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| Vyvedení výkonu                      | 42 000 Kč         |
| Provozní automatizace                | 240 000 Kč        |
| Silnoproudá elektroinstalace, měření | 48 000 Kč         |
| Stavební elektroinstalace            | 28 000 Kč         |
| <b>Celkem</b>                        | <b>358 000 Kč</b> |

### 7.1.5 Celkový přehled nákladů

Tab. 7-4 Celkový přehled nákladů

|                             |                     |
|-----------------------------|---------------------|
| Náklady na stavební práce   | 3 012 000 Kč        |
| Náklady na strojní část     | 3 298 000 Kč        |
| Náklady na elektroinstalace | 358 000 Kč          |
| Rezerva 5%                  | 350 000 Kč          |
| <b>Celkem</b>               | <b>7 018 000 Kč</b> |

Celkové náklady na zřízení MVE na řece Desné tedy jsou 7 018 000 Kč.

## 7.2 Zhodnocení ekonomické efektivnosti MVE

### 7.2.1 Výkupní ceny

Platné výkupní ceny jsou stanovovány Českým regulačním úřadem a to vždy na daná období jednoho roku. Tyto ceny platí podle toho, v kterém roce byla stavba dokončena a uvedena do provozu. Případně jedná li se o rekonstrukci vodního díla, jehož provoz byl zahájen v minulosti. Základem jsou ceny silové elektřiny, a v případě provozování obnovitelného či ekologického zdroje elektrické energie má provozovatel nárok na zelený bonus. Ten slouží k podpoře rozvoje ekologických zdrojů elektrické energie, mezi něž MVE patří. Možné je i zelené bonusy zkombinovat i s výkupními cenami silové elektřiny jiných distributorů, kteří nabízejí garantovanou výkupní cenu silové elektřiny vyšší než je stanovená cena ERU. Zelený bonus a výkupní cena je ovšem garantována po celou dobu životnosti MVE. V jiných variantách se cena silové elektřiny může pohybovat každým rokem.

Měření vyrobené a spotřebované energie je prováděno na výstupu z elektrárny na předávacím místě. Měření výstupních výkonů u budovy MVE má výhody ty že měření je přehledné pro distributora i provozovatele MVE a také v případě tohoto provedení se do měření nezahrnují ztráty vedením.

Tab. 7-5 Cenové rozhodnutí ERÚ pro rok 2012 [13]

| Datum uvedení do provozu                                                             | Výkupní ceny celkem | Silová elektřina | Zelené bonusy |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|---------------|
|                                                                                      | Kč/MWh              | Kč/MWh           | Kč/MWh        |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. 1. 2012 do 31. 12. 2012             | 3190                | 1050             | 2140          |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. 1. 2011 do 31. 12. 2011             | 3060                | 1050             | 2010          |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1.1 2010 do 31. 12. 2010               | 3130                | 1050             | 2080          |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. 1. 2008 do 31. 12. 2009             | 2880                | 1050             | 1830          |
| MVE uvedená do provozu v nových lokalitách od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2007             | 2720                | 1050             | 1670          |
| MVE uvedená do provozu po 1.1 2005 včetně rekonstruovaných malých vodních elektráren | 2450                | 1050             | 1400          |
| MVE uvedená do provozu před 1.1 2005                                                 | 1910                | 1050             | 860           |

Budeli tedy uvažováno dokončení MVE v roce 2012 garantovaná výkupní cena potom bude 3190Kč/MWh.

## 7.2.2 Roční výroba

Aby byl určen roční výnos MVE je nutné určit roční výrobu, kterou získáme pomocí využitelnosti odtokové křivky zvolenými turbínami.

**Odtoková křivka na řece Desné**



Obr. 7-1 Odtoková křivka řeky Desné – vyznačení úseků provozu jednotlivých turbín [7]

Celkové množství energie je potom vypočítáno z daných pracovních období turbín.

Tab. 7-6 Vypočet roční výroby.

| Výroba TG1     |                |       |          |       |             |          |       |                 |
|----------------|----------------|-------|----------|-------|-------------|----------|-------|-----------------|
| Počet dní      | $Q_c$          | $H_u$ | $\eta_t$ | $P_t$ | $\eta_{př}$ | $\eta_g$ | $P_G$ | $E_G$           |
| [-]            | $[m^3/s^{-1}]$ | [m]   | [-]      | [kW]  | [-]         | [-]      | [kW]  | [MWh]           |
| Období 5-168   |                |       |          |       |             |          |       |                 |
| 163            | 0,9            | 3,625 | 0,85     | 27,20 | 0,93        | 0,919    | 23,25 | <b>90956,92</b> |
| Výroba TG2     |                |       |          |       |             |          |       |                 |
| Období 5-69    |                |       |          |       |             |          |       |                 |
| 64             | 1,25           | 3,725 | 0,83     | 37,91 | 0,93        | 0,932    | 32,86 | <b>50474,67</b> |
| Období 69-137  |                |       |          |       |             |          |       |                 |
| 68             | 0,516          | 3,625 | 0,7025   | 12,89 | 0,93        | 0,932    | 11,17 | <b>18234,42</b> |
| Období 168-274 |                |       |          |       |             |          |       |                 |
| 106            | 0,4            | 3,605 | 0,7205   | 10,19 | 0,93        | 0,932    | 8,83  | <b>22474,20</b> |

$$E_T = P_G \cdot t = g \cdot Q_c \cdot H_u \cdot \eta_t \cdot \eta_p \cdot \eta_G \cdot t \quad (7.1)$$

Kde:  $Q_c$  - je průtok turbínou, [ $\text{m}^3/\text{s}^{-1}$ ]

$H_u$  - je provozní spád v daném období, [m]

$P_G$  - je výkon na generátoru, [kW]

$E_T$  - Množství energie vyrobené za daný časový úsek. [MWh]

Pro průměrné roční množství vyrobené energie, tedy platí:

$$E_R = E_{T1} + E_{T21} + E_{T22} + E_{T23} = 90956,92 + 50474,67 + 18234,42 + 22474,2 = 182140,21 \text{ MWh} \quad (7.2)$$

Roční výroba MVE na řece Desné byla určena na 182 MWh za rok. Do této výroby ovšem nebyl zahrnut vliv Divokého potoka, který by teoretický zvýšil množství vyrobené energie zhruba o 4MWh, ale pro nedostatečné informace o potencionálu tohoto zdroje, jej nebudeme zahrnovat do výpočtu. [15]

### 7.2.3 Roční výnos MVE.

Pro výpočet ročního zisku malé vodní elektrárny na řece Desné je nutné znát průměrnou roční výrobu. Velikost této výroby byla určená z odtokové křivky řeky Desné. Průměrná roční výroba tedy je 182 MWh.

Výkupní cena energie byla určena pomocí energetického regulačního úřadu a byla stanovena pro rok 2012 na 3190 Kč/MWh.

$$T = V_c \cdot E_{\text{roč}} = 3190 \cdot 182 = 580580 \text{ Kč} \quad (7.3)$$

Kde:  $T$  – zisk, [Kč]

$V_c$  - výkupní cena, [Kč/MWh]

$E_{\text{roč}}$  - celkové množství vyrobené energie. [MWh]

### 7.2.4 Metody hodnocení efektivnosti investice

Pro výpočet touto metodou potřebujeme určit vstupní hodnoty, které jsou určeny podle daného období, ve kterém realizaci projektu provádíme.

Tab. 7-7 Vstupních hodnot

| Vstupní hodnoty           |              |
|---------------------------|--------------|
| investice                 | 7 018 000 Kč |
| roční provozní náklady    | 40 000 Kč    |
| životnost                 | 30 let       |
| požadovaná výnosnost      | 6%           |
| Daň z příjmu              | 15%          |
| Roční inflace             | 3%           |
| Délka odpisování          | 15 let       |
| Výkupní cena              | 3 190 Kč     |
| Množství vyrobené energie | 182 MWh      |

#### Výpočet číselných údajů:

##### Výpočet Odpisu

$$O = \frac{N}{s} = \frac{7018000}{15} = 467867 \text{ Kč} \cdot r^{-1} \quad (7.4)$$

##### Hrubý zisk Zh

Pro 1. až 5. rok

$$Z_{h1} = T_r - N_p \cdot i_{inf} = 580580 - 40000 = 540580 \text{ Kč} \quad (7.5)$$

Pro 6. až 20. rok

$$Z_{h6} = T_r - N_p \cdot i_{inf} - O = 580580 - 46146 - 467867 = 66567 \text{ Kč} \quad (7.6)$$

**Čistý zisk  $Z_{\check{c}}$** 

Pro 1. až 5. rok

$$Z_{\check{c}1} = Z_h - (Z_h \cdot D) = 540580 - 0 = 540580 \text{ Kč} \quad (7.7)$$

Od 6. Roku

$$Z_{\check{c}6} = Z_h - (Z_h \cdot D) = 66567 - 9985 = 56582 \text{ Kč} \quad (7.8)$$

**Tok hotovosti - Cash flow  $T_h$** 

Pro 1. až 5. rok

$$T_{h1} = Z_{\check{c}} + O = 540580 + 0 = 540580 \text{ Kč} \quad (7.9)$$

Od 6. Roku

$$T_{h6} = Z_{\check{c}} + O = 56582 + 467867 = 524449 \text{ Kč} \quad (7.10)$$

**Komutativní tok hotovostí  $KTh$** 

Pro 1. až 5. rok

$$KTh_1 = -N_V + T_h = -7018000 + 540580 = -6477420 \text{ Kč} \quad (7.11)$$

Od 6. Roku

$$KTh_6 = -N_V + T_h = -4326629 + 524449 = -3802180 \text{ Kč} \quad (7.12)$$

**Čistý tok hotovosti - Cash flow  $T_{\check{c}}$** 

$$T_{\check{c}1} = \frac{T_{h1}}{1 + \frac{d}{100}} = \frac{540580}{1 + \frac{6}{100}} = 509981 \text{ Kč} \quad (7.13)$$

**Čistý komutativní tok hotovostí  $KT$** 

$$KT_1 = -N_V + T_{\check{c}} = -7018000 + 509981 = -6508019 \text{ Kč} \quad (7.14)$$

Z výsledku těchto výpočtů je možné sestavit celkovou tabulku finančních toků. Vzorce pro výpočty byly čerpány z. [15]

Tab. 7-8 Přehledová tabulka finančního toku.

| Rok | Roční výnos-Tr [Kč/rok] | Provozní náklady-Np [Kč/rok] | Odpisy - O [Kč/rok] | Hrubý Zisk-Z <sub>h</sub> [Kč] | Daň z příjmu [Kč] | Čistý zisk-Z <sub>č</sub> [Kč] | Tok Hotovosti -Th [Kč] | Kumulovaný tok hotovosti-KTh Kč] | Čistý tok hotovosti-Tč [Kč] | Čistý kumulovaný tok hotovosti-KT [Kč] |
|-----|-------------------------|------------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| 1   | 580580                  | 40000                        | 0                   | 540580                         | 0                 | 540580                         | 540580                 | -6477420                         | 509981                      | -6508019                               |
| 2   | 580580                  | 41000                        | 0                   | 539580                         | 0                 | 539580                         | 539580                 | -5937840                         | 509038                      | -5998981                               |
| 3   | 580580                  | 42230                        | 0                   | 538350                         | 0                 | 538350                         | 538350                 | -5399490                         | 507877                      | -5491104                               |
| 4   | 580580                  | 43497                        | 0                   | 537083                         | 0                 | 537083                         | 537083                 | -4862407                         | 506682                      | -4984422                               |
| 5   | 580580                  | 44802                        | 0                   | 535778                         | 0                 | 535778                         | 535778                 | -4326629                         | 505451                      | -4478970                               |
| 6   | 580580                  | 46146                        | 467867              | 66567                          | 9985              | 56582                          | 524449                 | -3802180                         | 494763                      | -3984207                               |
| 7   | 580580                  | 47530                        | 467867              | 65183                          | 9777              | 55405                          | 523272                 | -3278907                         | 493653                      | -3490554                               |
| 8   | 580580                  | 48956                        | 467867              | 63757                          | 9564              | 54193                          | 522060                 | -2756847                         | 492510                      | -2998044                               |
| 9   | 580580                  | 50425                        | 467867              | 62288                          | 9343              | 52945                          | 520812                 | -2236035                         | 491332                      | -2506712                               |
| 10  | 580580                  | 51938                        | 467867              | 60775                          | 9116              | 51659                          | 519526                 | -1716509                         | 490119                      | -2016593                               |
| 11  | 580580                  | 53496                        | 467867              | 59217                          | 8883              | 50335                          | 518202                 | -1198307                         | 488870                      | -1527724                               |
| 12  | 580580                  | 55101                        | 467867              | 57612                          | 8642              | 48971                          | 516838                 | -681470                          | 487583                      | -1040141                               |
| 13  | 580580                  | 56754                        | 467867              | 55959                          | 8394              | 47565                          | 515432                 | -166037                          | 486257                      | -553884                                |
| 14  | 580580                  | 58456                        | 467867              | 54257                          | 8139              | 46118                          | 513985                 | 347948                           | 484892                      | -68992                                 |
| 15  | 580580                  | 60210                        | 467867              | 52503                          | 7875              | 44628                          | 512495                 | 860443                           | 483486                      | 414493                                 |
| 16  | 580580                  | 62016                        | 467867              | 50697                          | 7605              | 43092                          | 510959                 | 1371402                          | 482037                      | 896530                                 |
| 17  | 580580                  | 63877                        | 467867              | 48836                          | 7325              | 41511                          | 509378                 | 1880780                          | 480545                      | 1377075                                |
| 18  | 580580                  | 65793                        | 467867              | 46920                          | 7038              | 39882                          | 507749                 | 2388529                          | 479009                      | 1856084                                |
| 19  | 580580                  | 67767                        | 467867              | 44946                          | 6742              | 38204                          | 506071                 | 2894600                          | 477426                      | 2333510                                |
| 20  | 580580                  | 69800                        | 467867              | 42913                          | 6437              | 36476                          | 504343                 | 3398944                          | 475796                      | 2809305                                |
| 21  | 580580                  | 71894                        | 0                   | 508686                         | 76303             | 432383                         | 432383                 | 3831327                          | 407909                      | 3217214                                |
| 22  | 580580                  | 74051                        | 0                   | 506529                         | 75979             | 430550                         | 430550                 | 4261877                          | 406179                      | 3623393                                |
| 23  | 580580                  | 76272                        | 0                   | 504308                         | 75646             | 428662                         | 428662                 | 4690539                          | 404398                      | 4027791                                |
| 24  | 580580                  | 78560                        | 0                   | 502020                         | 75303             | 426717                         | 426717                 | 5117255                          | 402563                      | 4430354                                |
| 25  | 580580                  | 80917                        | 0                   | 499663                         | 74949             | 424714                         | 424714                 | 5541969                          | 400673                      | 4831027                                |
| 26  | 580580                  | 83345                        | 0                   | 497235                         | 74585             | 422650                         | 422650                 | 5964619                          | 398727                      | 5229754                                |
| 27  | 580580                  | 85845                        | 0                   | 494735                         | 74210             | 420525                         | 420525                 | 6385144                          | 396722                      | 5626475                                |
| 28  | 580580                  | 88420                        | 0                   | 492160                         | 73824             | 418336                         | 418336                 | 6803480                          | 394656                      | 6021132                                |
| 29  | 580580                  | 91073                        | 0                   | 489507                         | 73426             | 416081                         | 416081                 | 7219561                          | 392529                      | 6413661                                |
| 30  | 580580                  | 93805                        | 0                   | 486775                         | 73016             | 413759                         | 413759                 | 7633320                          | 390338                      | 6804000                                |

### 7.2.5 Metoda číselné současné hodnoty

Jedná se o dynamická metoda hodnocení investice.

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j} - K_i = 13822000 - 7018000 = 6804000 \text{ Kč} \quad (7.15)$$

Kde: NPV - současná hodnota, [Kč]  
n - doba životnosti, [roky]  
 $P_j$  - peněžní příjem z investice, [Kč]  
I - požadovaný výnos z investice, [Kč]  
 $K_i$  - pořizovací náklady. [Kč]

$NPV > 0$  - investice je efektivní,  
 $NPV < 0$  - investice je neefektivní.

### 7.2.6 Metoda indexu závislosti

$$PI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j}}{K_i} = \frac{13822000}{7018000} = 1,97 \quad (7.16)$$

Kde: PI - koeficient ziskovost.

$PI > 1$  - investice je efektivní,  
 $PI < 1$  - investice je neefektivní.

Z výsledků této i ostatních metod sloužících k výpočtu efektivnosti investice můžeme soudit, že je investice do MVE Na řece Desné efektivní

## 8 ZÁVĚR

Energie vody je jedna z nejstarších sil, která slouží člověku a ani dnes tomu není jinak. Ovšem teprve před několika lety byl zaznamenán po dlouhém období útlumu zájem o investice do vodních elektráren. Převážně se jedná o zájmy využití malých vodních zdrojů a mikrozdrojů, jelikož hydroenergetický potenciál v České republice není pro větší výrobní dobrý. Za pomoci nových technologií, jsme však dnes schopni efektivně využít i menší množství kinetické energie toku řeky a i přes velký rozvoj vodní energetiky je stále velká šance pro nalezení vhodné lokality pro výstavbu malé vodní elektrárny, jelikož pro tyto typy vodních elektráren je v našich zemích poměrně velmi dobrý potenciál.

V této práci jsem se zaměřil převážně na lokality, které byly v minulosti již využívány k získávání energie z vodního toku. Po výběru vhodných lokalit jsem přešel k výběru nejvhodnější z nich. Posuzovány byly podle předností, které z těchto zvolených lokalit vyplývaly. Pro tento projekt byla zvolena lokalita na řece Desné s dlouhodobým průtokem, který byl určen na  $1,98 \text{ m}^3/\text{s}$ , což nabízí při získání vhodného spadá ideální lokalitu pro malou vodní elektrárnu. Lokalita na řece Desné byla zvolena převážně pro malé množství zábran k výstavbě. Pro možné prověření potenciálu této lokality, byly určeny tři různé varianty, které byly posouzeny podle finanční náročnosti a potencionálního výkonu. Jako nejvhodnější byl zvolen návrh využívající historické řešení vodního díla. Tento návrh je řešen jako standardní derivační elektrárna, ale je doplněná o technickou zajímavost. Jedná se o to, že přivaděč jdoucí ze zdrže na řece Desné je křížován Divokým potokem, a v místě tohoto křížení je zbudována další zdrž, z které teprve odchází voda na vodní elektrárnu. Jako odpadní kanál slouží část své délky původní koryto Divokého potoka. Dále tento návrh počítá alespoň s částečným zmenšením nákladu za vybudování přivaděčů, jelikož původní přibližně sto let staré přivaděče jsou v krajním rázu stále znatelné a podle průzkumu jsou pouze zanesené a tedy jsou bez poškození.

Ze zvolené varianty dále vyplývá možnost použití dvou kolenových turbín typu kaplan. Tyto turbíny jsou zvoleny tak, aby co nejlépe využily odtokovou křivku řeky Desné, a toho docílíme tak že jedna ze zvolených turbín je regulovatelná a druhá neregulovatelná. Přesný výrobní typ turbíny je ETMAS Th 500 s průměrem oběžného kola  $d=500 \text{ mm}$ . Turbíny jsou voleny pro průtoky T1 od  $0,25$  až  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$  a T2 od  $0,25$  do  $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Výkony na hřmely turbín byly určeny pro  $P_{T1}=21,98 \text{ kW}$  a pro  $P_{T2}=31,27 \text{ kW}$ .

Další důležitá část v návrhu malé vodní elektrárny, byla volba vhodných generátorů pro zvolené turbíny. Jako generátory byly zvoleny asynchronní stroje od firmy Siemens, a to z typové řady 1LG6. Přísněji se jedná generátor G1 typu 200L 1LG6 6AA1 a výkonu  $22 \text{ kW}$  a dále generátor G2 typu 225M 1LG6 223 6AA o výkon  $30 \text{ kW}$ . Jako další byla určena velikost kompenzační baterie pro účinník  $\cos\varphi=0,98$ , tj.  $29 \text{ kVAr}$ . Kompenzační baterie má celkový výkon  $43 \text{ kVAr}$ . Kompenzační stupně jsou do sítě vpínány pomocí kompenzační regulace NOVAL. Pro vvedení výkonu z elektrárny určen vodič 1-AYKY  $3 \times 70+50$ .

Na závěr této práce bylo provedeno ekonomické zhodnocení investice. Celkové náklady na zhotovení investice byly určeny částkou  $7\,018\,000 \text{ Kč}$ . Z odtokové charakteristiky jsem dále určil celkové množství energie výroby za jeden rok. Toto množství lehce přesahovalo  $182 \text{ MWh}$  při zanedbaní vlivu Divokého potoka. Teoretický navýšení vyrobené energie by bylo zhruba o  $4 \text{ MWh}$ , ale pro nedostatečné informace o průtocích na potoce, jsem se rozhodl výhody

vyplívající z Divokého potoka zanedbat, a průtok ponechat jako pokrytí možných ztrát. Při standardizované nákupní ceně elektrické energie 3190 Kč/MWh je tedy roční výnos MVE na řece Desné 580 580 Kč. Z finančního toku MVE jsem poté zjistil že návratnost projektu je 14let při financování z vlastních zdrojů.

Při Zapůjčení větší části investice od finančního ústavu by se projekt stával pomalu neefektivním.

Jako další možnost financování můžeme brát v úvahu přidělení dotace na výstavbu obnovitelného zdroje elektrické energie. Tyto dotace jsou individuální a mohli by případnou dobu návratnosti zkrátit až o polovinu.

Z celkové zhodnocení možnosti realizace je viditelné, že je stavba proveditelná a efektivní a vzhledem k výstupům této práce. Dále je také možné výpočet rozšířit o výhody plynoucí z Divokého potoka.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] GABRIEL, Pavel; ČIHÁK, František; KALANDRA, Petr. *Malé vodní elektrárny*, Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 321 s. ISBN 80-01-01812-1.
- [2] BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2 : Turbíny*, Vydavatelství. Praha : SNTL, 1989. 240s.
- [3] PAŽOUT, František; *Malé vodní elektrárny 1 : Ekonomika – Předpisy*, Vydavatelství. Praha : SNTL 1990. 540s.
- [4] HOLOTA, Miroslav; *Malé vodní elektrárny: Projektování a provoz*, Vydavatelství. AV ČR , 2002. 267s. ISBN 80-200-0828-4.
- [5] *Mapy - Obrázky* [online]. Dostupné z:  
<http://mapy.cz/>
- [6] MELICHAR, Jan, VOJTEK, Jan, BLÁHA, Jaroslav. *MALÉ VODNÍ TURBÍNY : Konstrukce a provoz*. 1. Vydavatelství. Praha : VUT, 1998. 299 s. ISBN 80-01-01808-0.
- [7] *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Dostupný z WWW:  
<http://www.chmi.cz/>.
- [8] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupný z WWW:  
<http://mve.energetika.cz/>.
- [9] *Zámecká elektrárna v parku* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z WWW:  
<http://old.mesto-vlasim.cz/kraftwerk.htm>.
- [10] *Turbíny* [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW:  
<http://www.sigma.sk/program/turbiny.htm>.
- [11] ZEZ-SILKO. *Katalog* [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z WWW:  
<http://www.zez-silko.cz/PDFs/pfcnew.pdf>.
- [12] JAROSLAVA ORSÁGOVÁ, *Rozvodné zařízení*, VUT v BRNĚ, 2002, 152 STRAN, ISBN 80-901985-0-3
- [13] SPVEZ. *Výkupní ceny pro rok 2012* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z WWW:  
<http://www.spvez.cz/pages/podpory.htm>.
- [14] Siemens s.r.o. *Nízkonapěťové motory* [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: WWW:  
[http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data\\_files/katalogy/k15/cat\\_k15\\_2012-02\\_cz.pdf](http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/katalogy/k15/cat_k15_2012-02_cz.pdf).
- [15] CHMELA, Michal. *Ekonomika a řízení* 1. vyd. Brno : Vydavatelství VUT, 12.9.2007. SKRYPRTA PRO VUT.
- [16] P-S. *Turbína 3Th* [online]. [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: WWW: [http://www.p-s.cz/editor\\_img/Turbina\\_3Th-schema.JPG](http://www.p-s.cz/editor_img/Turbina_3Th-schema.JPG).
- [17] MATOUŠEK, Antonín. *Výroba elektrické energie*. 1. vyd. Brno : Vydavatelství VUT, SKRYPRTA PRO VUT.