

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh malé vodní elektrárny v lokalitě Plasy**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin MATOUŠEK**  
Osobní číslo: **E10B0633P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**  
Název tématu: **Návrh malé vodní elektrárny v lokalitě Plasy**  
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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


1. Popište princip výroby elektřiny v malých vodních elektrárnách (MVE) a možnosti jejich realizace.
2. Shrňte právní předpisy týkající se výstavby a provozování MVE.
3. Zhodnoťte hydroenergetický potenciál vybrané lokality.
4. Navrhněte vhodné technické řešení MVE v této lokalitě včetně možnosti jejího připojení do distribuční sítě.
5. Posuďte provedený návrh z hlediska energetického, ekologického i ekonomického.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**  
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:


**1. Bude upřesněno konzultantem a vedoucím práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Pavla Hejtmánková, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2012**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **7. června 2013**

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



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce zpracovává možnost instalace zařízení malé vodní elektrárny do tělesa hráze pohyblivého jezu v lokalitě Plasy i s jejím napojením na elektrizační soustavu. Zabývá se zejména shrnutím možnosti využití hydroenergetického potenciálu vodního díla včetně ekonomického zhodnocení a vlivu na okolní ekosystém. Dále shrnuje základní legislativu v oblasti výstavby a provozování malých vodních elektráren.

## **Klíčová slova**

Malá vodní elektárna, hydroenergetický potenciál, Kaplanova turbína, asynchronní generátor, návratnost investice, legislativa.

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on possibility to build a small hydro plant in Plasy including connection to power system of Czech Republic. It is aimed to summarize opportunity for using a hydroenergetic potential of this place and calculating the payback period of investments.

## **Key words**

Small hydro power station, hydropower potential, Kaplan turbine, asynchronous generator, payback period of investment, legislation.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V Plzni dne 3.6.2013

Martin Matoušek

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Pavle Hejtmánkové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení při zpracování této bakalářské práce.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2 TEORETICKÝ ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
2.1 PŘÍRODNÍ ZDROJE ENERGIE .....	12
2.1 VODNÍ ENERGIE, ZDROJE, VYUŽITÍ.....	12
2.1.1 <i>Využívání energie vody v historii</i> .....	12
2.1.2 <i>Druhy vodní energie</i> .....	13
2.1.3 <i>Získávání energie z vody</i> .....	14
2.1.4 <i>Vodní elektrárny</i> .....	14
2.1.4.1 <i>Rozdělení vodních elektráren</i> .....	15
2.2 STAVEBNĚ-TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MVE .....	15
2.3 STROJNÍ ZAŘÍZENÍ MVE.....	16
2.3.1 <i>Vodní kola</i> .....	16
2.3.2 <i>Vodní turbíny</i> .....	17
2.3.2.1 <i>Kaplanova turbína</i> .....	18
2.3.2.2 <i>Francisova turbína</i> .....	20
2.3.2.3 <i>Peltonova turbína</i> .....	20
2.3.2.4 <i>Vodní turbína Ossberger</i> .....	21
2.4 ELEKTROTECHNICKÉ VYBAVENÍ MVE .....	22
2.4.1 <i>Asynchronní stroj</i> .....	22
2.4.2 <i>Synchronní stroj</i> .....	24
<b>3 NÁVRH MVE V LOKALITĚ PLASY</b> .....	<b>26</b>
3.1 ZHODNOCENÍ HYDROENERGETICKÉHO POTENCIÁLU .....	27
3.2 NÁVRH TURBÍNY PRO MVE PLASY .....	29
3.2.1 <i>Návrh podle diagramů výrobce</i> .....	29
3.3 PŘIPOJENÍ NA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVU .....	32
3.3.1 <i>Řízení a kompenzace jalového výkonu</i> .....	33
3.3.2 <i>Elektrické schéma připojení MVE na elektrizační soustavu</i> .....	34
3.3.2.1 <i>Silnoproudá zařízení MVE</i> .....	35
3.3.2.2 <i>Ochrany, regulace a měření na MVE</i> .....	35
3.4 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ MVE PLASY .....	36
3.4.1 <i>CELKOVÉ NÁKLADY</i> .....	37
3.4.2 <i>VÝKUPNÍ CENY, BONUSY</i> .....	37
3.4.3 <i>VÝNOS MVE</i> .....	38
3.4.4 <i>HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI INVESTICE</i> .....	38
3.4.4.1 <i>METODA ČISTÉ SOUČASTNÉ HODNOTY</i> .....	39
3.4.4.2 <i>METODA INDEXU ZISKOVOSTI</i> .....	41
3.4.4.3 <i>NÁVRATNOST INVESTICE</i> .....	41



3.5	MVE VE VZTAHU K OKOLÍ.....	42
3.5.1	<i>Ekologické aspekty</i> .....	42
3.5.1.1	<i>Rybí přechody</i> .....	42
3.5.2	<i>Vodohospodářské aspekty</i> .....	43
3.5.3	<i>Právní předpisy a normy</i> .....	44
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>48</b>
	<b>PŘÍLOHY: .....</b>	<b>49</b>
	<i>1.Francisova turbína-vertikální a horizontální</i> .....	<i>49</i>
	<i>2.Regulace přívodu vody na vertikální Francisovu turbínu:</i> .....	<i>50</i>
	<i>3.Princip Peltonovy turbíny</i> .....	<i>50</i>
	<i>4.Nabídky firem</i> .....	<i>51</i>

## Seznam symbolů a zkratk

Q..... průtok	[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]
H.....spád	[m]
η.....účinnost	[%]
P..... výkon	[W]
A..... výroba el.energie	[Wh]
ρ ..... měrná hmotnost vody	[kg.m <sup>-3</sup> ]
g..... gravitační zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
P <sub>T</sub> .....teoretický výkon turbíny	[kW]
P <sub>G</sub> .....elektrický výkon generátoru	[kW]
C <sub>0</sub> <sup>2</sup> .....střední rychlost vody	[m.s <sup>-1</sup> ]
s.....skluz	[-]
n <sub>s</sub> .....otáčky mg.pole statoru	[ot.min <sup>-1</sup> ]
n.....otáčky rotoru	[ot.min <sup>-1</sup> ]
D.....průměr oběžného kola	[m]
Q <sub>gen</sub> .....jalový výkon generátoru	[VAr]
MVE....malá vodní elektrárna	
PDS.....provozovatel distribuční soustavy	
OZE.....obnovitelné zdroje energie	

# 1 Úvod

V dnešní době rostoucích cen energií a zvyšujícího se tlaku na ochranu životního prostředí se stále více uplatňují obnovitelné zdroje energie. V počátcích jejich využívání se jednalo pouze o alternativní způsob získávání elektrické energie vůči klasickým zdrojům, jako jsou fosilní paliva či jaderná energie, a bylo na ně pohlíženo spíše pouze z ekologického hlediska.

S klesajícími zásobami ropy a uhlí se však v nynější době dostávají obnovitelné zdroje opět do popředí zájmu. Nemalou roli zde hrají i stále se zvyšující ceny elektrické energie. Vzhledem ke geografické poloze České republiky lze prakticky využívat ve větším měřítku pouze několik druhů obnovitelných zdrojů – Slunce, vítr a vodu.

Předkládaná práce se zabývá pouze získáváním energie z vodních zdrojů. Vodní díla jako taková mají v České republice hlubokou tradici. Již v roce 1930 bylo na našem území registrováno více než 10 000 malých hydroenergetických děl. Další období výstavby vodních děl začalo po roce 1945, kdy byla vybudována první etapa Vltavské kaskády[1]. Poté došlo ke stagnaci a až v nynější době se vzhledem k vysokým cenám elektrické energie obnovuje výstavba a rekonstrukce malých vodních děl. Tato práce si klade za cíl poukázat na způsoby získávání energie z vodních zdrojů a přiblížit základní zařízení a vybavení v malých vodních elektrárnách.

V druhé části je shrnuta možnost využití vodního díla v lokalitě Plasy k vestavbě zařízení na výrobu elektrické energie včetně jejího napojení na energetickou soustavu. Je zde posouzen hydroenergetický potenciál dané lokality včetně ekonomického posouzení návratnosti investice. Dále je zde posouzen vliv na okolní prostředí a shrnutí základních norem a právních předpisů, které se zabývají výstavbou a provozováním vodních děl, ze kterých vyplývá, že stavba zcela nového vodního díla je v dnešní době téměř nemožná, a proto je vhodné se zaměřit spíše na rekonstrukce stávajících děl.

## 2 Teoretický úvod

### 2.1 Přírodní zdroje energie

Energie vyskytující se v přírodě, ať už ji dokážeme využít či nikoliv se označuje jako *surová energie*. Z této celkové energie však člověk dokáže využít pouze zlomek, který se označuje jako *užitková energie*. Zdroje, ze kterých tuto energii získáváme, se označují jako přírodní zdroje energie a dělíme je do 4 skupin.

- a) *vyčerpateľné zdroje* – zásoby této energie jsou omezené a patří mezi ně fosilní paliva pevná, tekutá i plynná
- b) *stále se obnovující zdroje* – zásoby omezeny přírodními podmínkami; rostlinná paliva
- c) *nevyčerpateľné zdroje* – sluneční záření, geotermální energie, vodní energie, větrná energie,...
- d) *jaderná energie* – vznikající rozpadem jader v reaktoru

### 2.1 Vodní energie, zdroje, využití

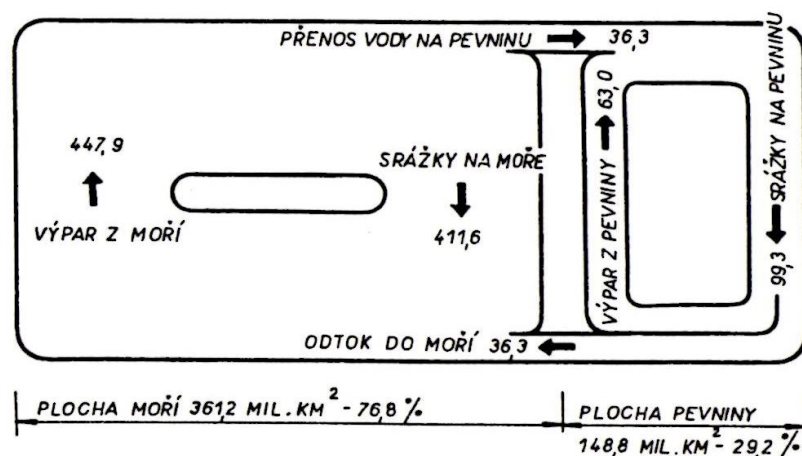
#### 2.1.1 Využívání energie vody v historii

Voda, jako zdroj energie, je známá již po tisíciletí (r. 1000 př.n.l.), kdy se využívalo vynálezu nakloněné roviny, šroubovice a vodních kol k přečerpávání vody do vodních kanálů. Ve středověku byla voda dále používána jako zdroj mechanické energie, kdy pomocí vodních kol bylo poháněno množství manufaktur, mlýnů a pil. Koncem 18. a začátkem 19. století však vynálezem parního stroje ustoupilo využívání vodní energie do pozadí a docházelo pouze k vylepšování již vynalezených turbín. S rostoucí populací a zvyšující se poptávkou na elektrickou energii na začátku 20. století však začala být vodní energie znovu využívána a to až do doby rozvoje levných a výkonných tepelných elektráren. V nynější době, kdy se velmi hledí i na ekologické aspekty výroby elektrické energie, však dochází k opětovné výstavbě vodních elektráren.

## 2.1.2 Druhy vodní energie

Ačkoliv je voda nositelem celkem tří druhů energie, lidstvo dokáže v přijatelné míře využívat pouze dva druhy.

- **chemická energie** – je reprezentována solnými roztoky, které však i přes jejich velké množství (každoročně vodou rozpuštěno cca  $27 \cdot 10^6$  tun pevných látek) zatím nedokážeme využít
- **tepelná energie** – získávání této energie je založeno na principu tepelných spádů, kdy se využívá rozdílných teplot vody-např. v tropických mořích je rozdíl teploty na hladině a u dna až  $25^\circ\text{C}$
- **mechanická energie**- dána koloběhem vody na Zemi, který se dá považovat za nevyčerpatelný zdroj elektrické energie, jelikož zdrojem energie, který tento koloběh zajišťuje je Slunce; mechanická energie vody je v přírodě reprezentována energií atmosférických srážek, energií ledovců, energií moří a oceánů a energií vodních toků



Obr.1: Koloběh vody na Zemi (v 1000 km<sup>3</sup>) [1]

- energie atmosférických srážek- v praxi nevyužívána vzhledem k nerovnoměrnosti, nestálosti a malé koncentraci srážek
- energie ledovců – ukrývá pouze potenciální energii ve své hmotnosti, avšak pro praktické využití se považuje za nevyužitelný zdroj energie

- *energie moří a oceánů* – lze využít jak energie vln, které jsou však nestálé, tak energii slapových jevů, což se zdá být výhodnější vzhledem k velkému potenciálu této energie (využitím slapových jevů by se teoreticky dalo získat až 1TW energie)
- *energie vodních toků*- v současnosti nejvíce využívaná energie získávána z vody v přírodě, ačkoliv jde pouze o malý zlomek energetické bilance Země; odhaduje se, že je využíváno pouze 10% z celkového využitelného potenciálu všech kontinentů-tato hodnota se pohybuje okolo 370 GW

### 2.1.3 Získávání energie z vody

V této práci se nadále budu zabývat pouze energií získávanou z vodních toků, a to energií mechanickou. K tomu abychom mohli tuto energii nadále využívat, ji musíme přeměnit na mechanickou práci a tuto práci nadále můžeme transformovat na energii elektrickou. K této přeměně používáme zařízení nazvané *vodní motor*. Mezi vodní motory patří veškerá vodní kola, turbíny a ostatní vodní stroje. S maximální teoretickou účinností 95% jsou vodní turbíny nejúčinnější mechanické motory vůbec.

### 2.1.4 Vodní elektrárny

Využití vodní energie a její přeměna na energii elektrickou bylo umožněno zdokonalením turbín a hlavně zdokonalením přenosu elektrické energie na delší vzdálenosti. To umožnilo výstavbu malých vodních elektráren na začátku 20. století. První vodní elektrárnou na našem území byla vodní elektrárna vybudovaná na řece Otavě ve městě Písek, která byla vybudována již v roce 1888. [2] V roce 1930 bylo na našem území již více než 10 000 vodních děl. Po roce 1945 bylo vybudováno i několik větších děl (Slapy, Lipno, Orlick,…) avšak vzhledem k velké zalidněnosti nelze realizovat další velké vodní elektrárny, a proto se pozornost opět vrací k malým vodním elektrárnám. K roku 2008 byl celkový instalovaný výkon vodních elektráren na našem území 2191,8 MW. [3]

### 2.1.4.1 Rozdělení vodních elektráren

Vodní elektrárny lze dělit dle několika kritérií, které jsou obsaženy v normě ČSN 75 01 28. Tato norma rozděluje VE do mnoha kategorií, avšak pro naše potřeby stačí čtyři.

- **Podle velikosti instalovaného výkonu**
  - Velké vodní elektrárny nad 200MW
  - Střední vodní elektrárny od 10MW do 200MW
  - Malé vodní elektrárny do 10MW
  - Průmyslové vodní elektrárny od 1MW do 10MW
  - Vodní minielektrárny od 100kW do 1MW
  - Domácí vodní elektrárny do 35kW
- **Podle velikosti spádu**
  - Nízkotlaké se spádem do 20m
  - Středotlaké se spádem od 20m do 100m
  - Vysokotlaké se spádem nad 100m
- **Podle charakteru pracovního režimu**
  - Průtočné bez ovlivnění průtoku
  - Akumulační využívající regulovaný průtok z akumulární nádrže
  - Přečerpávací
- **Podle účasti na pokrývání diagramu zatížení**
  - Základní
  - Pološpičkové
  - Špičkové
  - Samostatné

## 2.2 Stavebně-technické řešení MVE

V přípravné fázi výstavby MVE je téměř celá činnost zaměřena na nejvyšší možné využití hydroenergetického potenciálu stavby a lokality. Obecně lze tuto stavební část rozdělit do větších skupin

- **vtokový objekt**, který zajišťuje přívod vody z vodní nádrže a zásobuje MVE vodou k výrobě elektrické energie

- **přiváděcí a odpadní zařízení**, které může být beztlakové nebo tlakové (štola, kanál, náhon, potrubí,..)
- **výrobní objekty**, které sdružují strojovnu, rozvodnu a obslužná zařízení

V případě MVE Plasy se jedná o již realizovanou stavbu vodní nádrže, a proto je problém s realizací vtokových, přiváděcích a odpadních zařízení již vyřešen a je tedy nutné zabývat se výrobními objekty a optimalizací jejich parametrů pro vestavbu do tělesa hráze.

## 2.3 Strojní zařízení MVE

Nejdůležitější strojní částí MVE je bezesporu vodní motor. Základní dělení rozděluje vodní stroje na turbíny, vodní kola a ostatní stroje. Tyto základní skupiny lze dále dělit podle mnoha různých hledisek.

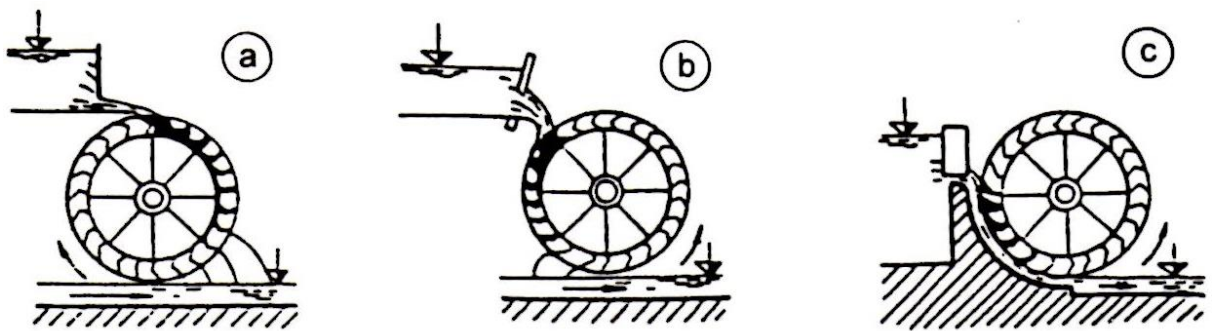
### 2.3.1 Vodní kola

Vodní kola jsou nejstaršími vodními stroji vůbec a byla používána už kolem roku 1000 před našim letopočtem k zavlažování. S jejich vývojem byla používána jako pohon v mlýnech a později i v pilách. V dnešní době se vodní kola nevyužívají kvůli jejich poměrně malé účinnosti 60-80% (moderní turbíny dosahují účinnosti kolem 90%). Jejich největší výhodou je schopnost využívat vodní energii i při velmi malých spádech pod 0,5m. Vodní kola lze rozdělit do dvou základních skupin podle druhu mechanické energie vody, kterou využívají.

- **Lopatková** vodní kola, která využívají kinetickou energii vody a jsou schopna využívat i velmi malých spádu
- **Korekční** vodní kola využívající potenciální energii vody

Lopatková kola se skládají ze dvou bočních věnců s lopatkami a hřídelí. Energie je získávána pádem vody na vnitřní hranu lopatky a jejím dalším pohybem po lopatce směrem ven. Tím je zajištěno, že při dostatečném průtoku se voda nedostane k hřídeli a předá svoji energii na lopatkách, čímž je dosaženo největší účinnosti. Podle druhu nátoky lze vodní kola rozlišovat na kola s horním, středním nebo spodním nátokem.





Obr.2: Uspořádání vodních kol: a)vrchní nátok b)střední nátok c)spodní nátok [1]

### 2.3.2 Vodní turbíny

K rozvoji vodních turbín došlo v 17. a 18.století po objevení základních principů hydrauliky a hydromechaniky a schopnosti využití těchto poznatků pro přeměnu mechanické energie vody na mechanickou energii na hřídeli. Nejběžnější dělení turbín je dle způsobu využití vodní energie na turbíny *akční* (rovnotlaké) a *reakční* (přetlakové). Rozdělení probíhá na základě stupně reaktivnosti turbíny  $\lambda$

$$\lambda = 1 - \left( a * c_0^2 / 2 * g * H \right) \quad [-] \quad (1.1)$$

, kde  $c_0^2$  ... je střední rychlost vody [m.s<sup>-1</sup>]

H..... užitný spád turbíny [m]

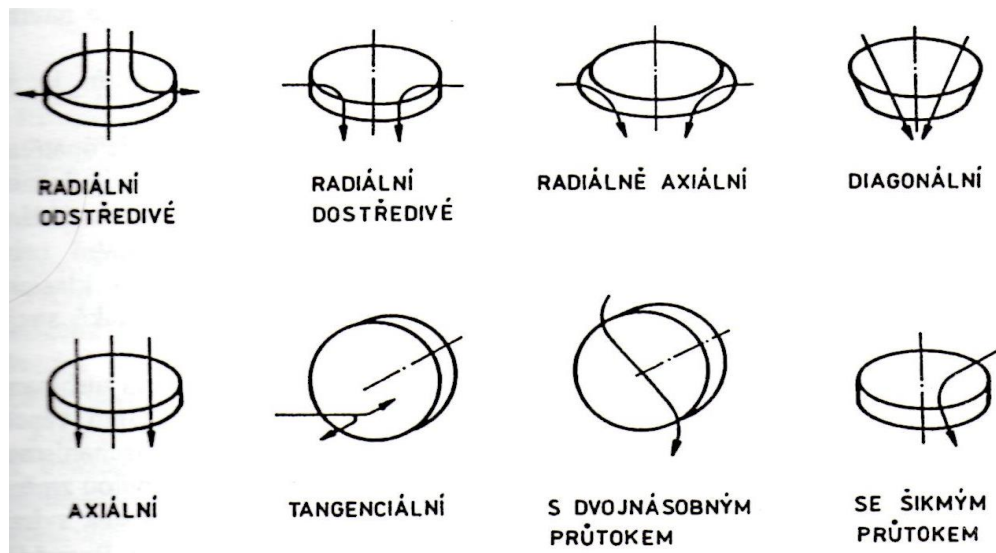
g .....gravitační zrychlení [m.s<sup>-2</sup>]

pro  $\lambda > 0,5$  se tyto turbíny nazývají reakční, patří mezi ně Francisovy a Kaplanovy turbíny a vyznačují se tím, že turbína využívá více tlakovou energii vody než kinetickou

pro  $\lambda < 0,5$  se jedná o turbíny akční a patří mezi ně hlavně turbíny Peltonovy.

Kromě tohoto dělení dle přeměny energie na oběžném kole lze turbíny dělit podle průtoku vody oběžným kolem. Na oběžném kole dochází k vlastní přeměně hydraulické energie vody na mechanickou energii turbíny. Proud vody dopadající na oběžné lopatky mění v oběžném kole svůj směr a dle principu akce a reakce působí voda stejnou silou i na lopatky. Lopatky se působení této síly snaží vyhnout, a proto ustupují pod tlakem vody a roztáčí vlastní oběžné

kolo i s hřídelí a tím získávají energii z vody. Podle směru proudění vzhledem k ose rotace oběžného kola se vodní turbíny rozlišují následovně [5]:



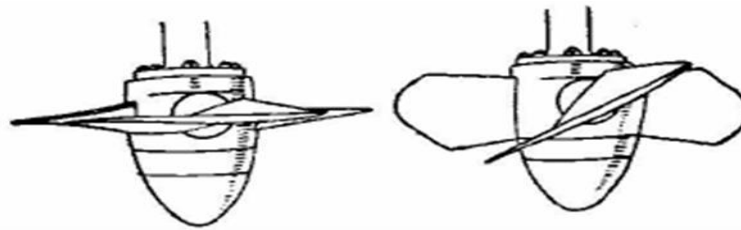
Obr.3: Rozdělení turbín podle směru proudění [5]

Od historického objevu vodního kola až po současnost bylo vynalezeno velké množství různých variant turbín, které byly většinou pojmenovány po svých vynálezcích. Jedná se například o turbínu Howdovu, Dériazovu, Michellovu či Bánkiho turbínu. V současnosti se však téměř výlučně používají tři druhy turbín a jejich různě upravené varianty. Jedná se o turbínu Kaplanovu, Francisovu a Peltonovu.

### 2.3.2.1 Kaplanova turbína

Tato turbína byla pojmenována po svém vynálezci, rakouském profesorovi Viktoru Kaplanovi, vyučujícím v Brně. Tato turbína a všechny další varianty od ní odvozené lze zařadit do skupiny přetlakových axiálních turbín. Tato turbína je vzhledem ke svým vlastnostem, kdy ji lze využít pro velké rozpětí spádů (od 1m až do 70m) a širokou škálu velikosti průtoků (od 0,15 až do desítek  $m^3$ ), zřejmě nejpoužívanější vodní turbínou vůbec. Těchto parametrů lze využít díky složité a velice účinné možnosti regulace natočení lopatek. Lopatky jsou umístěny na náboji kola a jejich regulace je prováděna za provozu regulačním mechanismem uvnitř tohoto náboje. [5] Počet lopatek oběžného kola je malý vzhledem nutnosti jejich regulace a obvykle se pohybuje mezi 3 (pro spád do 5m) až 10 (spád nad 60m). Oběžné kolo se nachází za nejužším místem přívodního ústrojí turbíny, čímž je

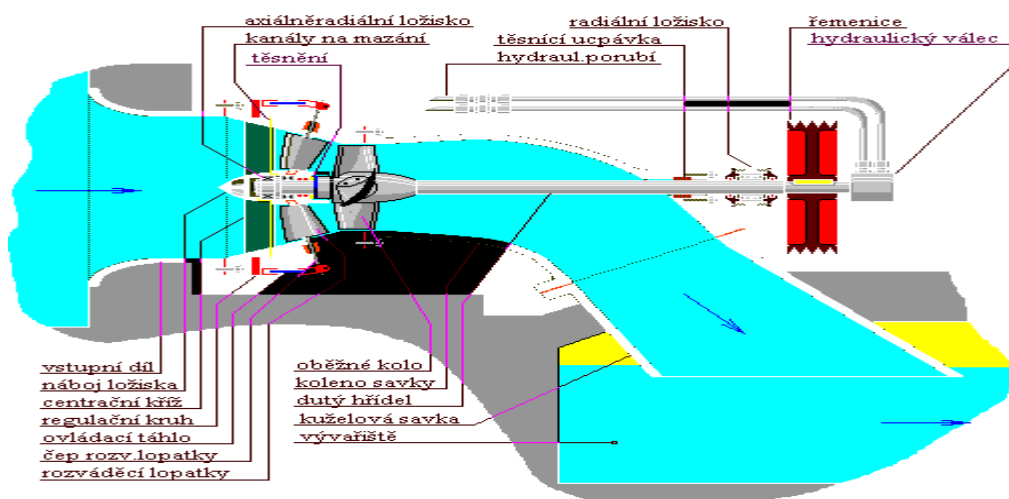
dosažené největší rychlosti vody při dopadu na lopatky dle Bernoulliho rovnice. Voda za oběžným kolem má stále ještě vysokou rychlost, čímž pomáhá díky podtlaku nasávat další přívodní vodu. Kaplanova turbína dosahuje nejvyšší účinnosti ze všech vodních turbín, a to kolem 95%. Je to umožněno již zmíněnou regulací a také mnohým variantám této turbíny.



Obr. 4: Ukázka natočení lopatek díky regulaci Kaplanovy turbíny

Regulace Kaplanovy turbíny nám umožňuje i úplné uzavření proudění vody turbínou. Pro tuto možnost musí být však celé soustrojí vybaveno zavzdušňovacím ventilem. Při uzavření turbíny by vlivem setrvačnosti vody došlo k vytvoření velkého podtlaku a tím k přetržení vodního sloupce. Důsledkem by byl návrat sloupce vody zpětně k oběžnému kolu a tím k rázu, který by mohl dokonce utrhnout či nadzvednout celé soustrojí. [1]

Nejčastěji používanou variantou Kaplanovy turbíny je tzv. S-turbína, která je pojmenována podle tvaru celého ústrojí. Využívá se nejvíce pro spády 1,5 – 5,5m a průtok 250 až 6000litrů. Výhoda tohoto uspořádání je, že hřídel je vytažena mimo ústrojí v horizontální poloze, což umožňuje přímé napojení napojení většinou asynchronního generátoru, čímž odpadá ztráta v převodech. Umístění generátoru je navíc mimo vodní kanál a nad hladinou vody, což nám zajišťuje i zabezpečení proti zaplavení. Vzhledem k těmto parametrům by bylo vhodné použít tuto turbínu i pro MVE Plasy.[6]



Obr. 5: Kaplanova S-turbína

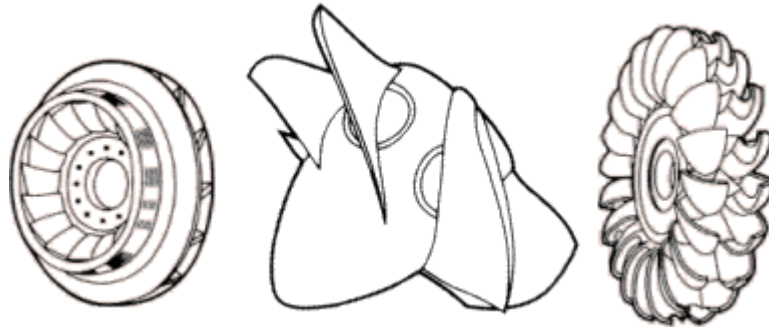
### 2.3.2.2 Francisova turbína

Základem pro vznik Francisovy turbíny byly vynálezy a patenty jiných autorů. V roce 1826 vynalezl a sestrojil Benoit Fourneyor turbínu s tangenciálním přívodem vody a s dosud nedosažitelnou účinností 80%. Jean-Victor Poncelet a později S.B.Howd zdokonalovali tento princip a až v roce 1848 James B. Francis využil poznatky svých předchůdců a představil svoji turbínu s dosažitelnou účinností 90%, čímž předčil i parní stroj. Francisovy turbíny lze rozdělit do dvou kategorií- *horizontální a vertikální*. (Rozdíl viz Příloha č.1)

- **Vertikální Francisova turbína** byla velmi často používána v minulosti jako pohon pro pily, hamry a mlýny. Voda je z prostoru pro vodu (tzv. kašny) přiváděna na regulovatelné rozváděcí lopatky, kde získá potřebnou rychlost (viz Příloha č.2) a poté je přivedena na samotné lopatky oběžného kola. Jelikož osa stroje je ve vertikální poloze, dochází ke ztrátám v převodech. Toto uspořádání je vhodné pro vodní díla s malými spády do 5m avšak se středními až velkými průtoky
- **Horizontální Francisova turbína** má shodné uspořádání soustrojí jako vertikální, ale osa leží v horizontální rovině, čímž odpadá problém s převody a zvyšuje se tak i účinnost (cca o 2%) . Pro využití nám stačí menší průtok, avšak potřebujeme větší spád, abychom získali potřebnou energii.

### 2.3.2.3 Peltonova turbína

Tato rovnotlaká tangenciální turbína byla vynalezena Lesterem Allanem Peltonem v roce 1880 a je hojně využívána především díky schopnosti pracovat i s malými průtoky a obrovským rozsahem spádů (15m až 1800m). Voda je přiváděna k lopatkám potrubím kruhového průřezu zakončeného dýzou, která nám zajišťuje dostatečnou rychlost proudící vody. Tato voda dopadá na lopatky lžicovitého tvaru, které jsou rozděleny břitem. Lžicovitý tvar lopatky se snaží otočit směr vody. Tato změna je doprovázena předáním energie z vody na lopatky. (viz Příloha č.3)



Obr.6: Tři nejčastěji používané turbíny: zleva Francisova, Kaplanova a Peltonova [7]

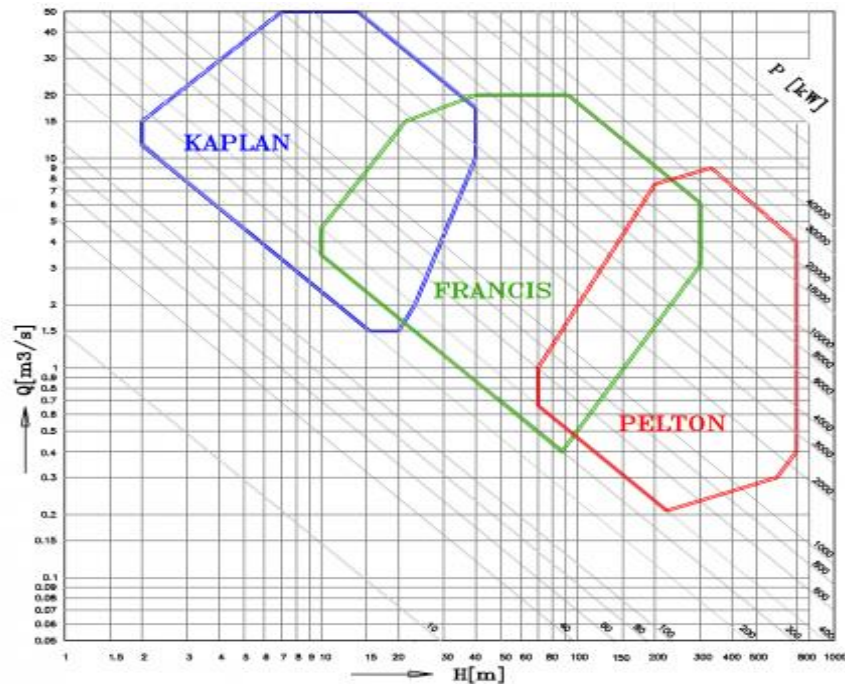
#### 2.3.2.4 Vodní turbína Ossberger

Vodní turbína Ossberger se řadí mezi průtokové radiální, mírně přetlakové s tangenciálním ostřikem oběžného kola. Proud vody je přiváděn na vnitřní lopatky oběžného kola přes rozváděcí ústrojí a po předání energie je voda odváděna do vnější skříně turbíny. Pro svoji jednoduchost, široký rozsah možností použití a dlouhou životnost je používána zejména pro jednodušší provozy.



Obr. 7: Vodní turbína Ossberger

Vzhledem k omezenému využití vodních toků a zdrojů energie z vody lze říci, že k získávání energie se používají téměř výhradně tři turbíny - Kaplanova, Francisova a Peltonova. Jsou schopny na základě svých vlastností pokrýt celý rozsah spádů a průtoků (viz obr.8) při vysoké účinnosti a tím téměř vytlačily ostatní turbíny do pozadí.



Obr.8: Rozdělení využitelnosti jednotlivých turbín vzhledem ke spádu a průtoku

## 2.4 Elektrotechnické vybavení MVE

Do této části zařízení v MVE lze zařadit veškeré vybavení kromě stavebních a strojních součástí-rozvaděče, regulátory, řídicí techniku, kabeláže, záložní zdroje, apod. Nejdůležitější součástí je však generátor. Generátor je elektrický točivý stroj, který přeměňuje mechanickou energii z hřídele na energii elektrickou. Nejčastěji se jedná o střídavé trojfázové stroje, ale lze se ojediněle setkat i se stroji stejnosměrnými (dynami), zejména u menších výkonů či jako zdroje energie pro vlastní spotřebu elektrárny, jelikož stejnosměrná energie není vhodná pro distribuci na vzdálenější místa. Jsou i konstrukčně náročnější, a proto se v nynější době využívá zejména střídavých točivých strojů – *asynchronní a synchronní*.

### 2.4.1 Asynchronní stroj

Asynchronní motor pracující na střídavý proud je nejrozšířenějším elektrickým strojem vůbec. Jeho jednoduchá konstrukce, nízká cena a nenáročnost umístění jej předurčují k široké škále použití. Asynchronní stroj má hlavní výhodu, že ho lze použít jak v motorickém, tak i generátorickém chodu bez jakýchkoliv úprav. Samotný motor se skládá ze dvou větších částí-pevného statoru a pohyblivého rotoru. Základním principem je vytvoření točivého

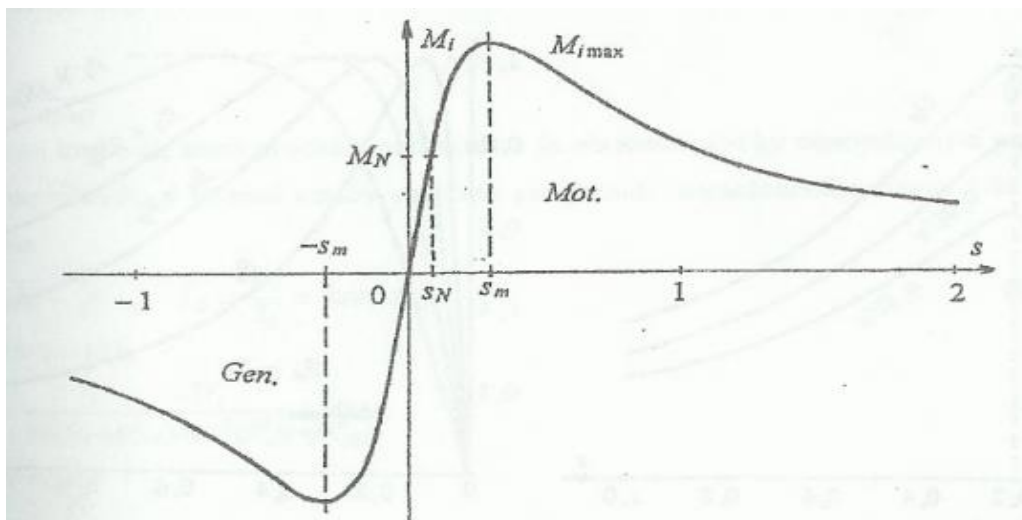
magnetického pole vlivem průchodu střídavého proudu statoru motoru. Toto magnetické pole indukuje střídavé napětí v rotoru, které vyvolá silové účinky. Tyto síly poté otáčejí rotorem. Rotor stroje může být buď vinutý, nebo s klecí nakrátko, což se u generátorů pro MVE využívá častěji vzhledem k menší poruchovosti a snazší údržbě.

O tom, zda se jedná o motorický, či generátorický chod, rozhoduje veličina nazvaná skluz.

$$s = (n_s - n) * 100 / n_s \quad [-] \quad (1.2)$$

, kde  $n_s$  jsou otáčky magnetického pole statoru a  $n$  otáčky rotoru

Skluz vyjadřuje míru rozdílu otáček statoru a rotoru. Rozdílná rychlost magnetického pole statoru a rychlost otáčení rotoru je základní podmínkou fungování asynchronního stroje. V případě rovnosti otáček by se rotor vůči statoru nepohyboval a nevznikalo by střídavé indukované napětí v rotoru a motor by se zastavil.



Obr.9: Momentová charakteristika asynchronního stroje [8]

Podle hodnot skluzu lze rozdělit pracovní oblast asynchronního stroje do tří oblastí:

- $s = (-\infty, 0)$  generátorický chod
- $s = (0, 1)$  motorický chod
- $s = (1, \infty)$  brzda

Při rozběhu asynchronního stroje do stavu, aby dodával elektrickou energii do sítě je nutné využít dvou těchto oblastí. Nejdříve se stroj připojí do sítě jakožto motor. Při dosažení asynchronních otáček se připojí přes spojku k hřídeli vodního stroje, který je již předem roztočen přívodem vody na otáčky vyšší, než asynchronní. Důsledkem toho je i elektrický stroj roztočen na otáčky vyšší než asynchronní a dostává se tím do generátorického chodu. Odpojování se provádí v opačném pořadí.

## 2.4.2 Synchronní stroj

Synchronní stroje jsou oproti asynchronním strojům většinou větší, složitější na regulaci a dražší. Nejdůležitější podmínkou jejich fungování je shodná rychlost pole statoru a rychlost otáčení rotoru. Samotný stroj je stejně jako u asynchronního stroje, tvořen pevným statorem a pohyblivým rotorem. Rotor stroje je tvořen elektromagnetem, nebo permanentními magnety, které se snaží udržet stejnou polohu vůči magnetickému poli statoru vytvářeného napájecím střídavým proudem. Samotný rotor však při zátěži není schopen ideálně reagovat na pohyblivé pole statoru a za tímto polem se nepatrně zpožďuje o *skluz*, který je závislý na zátěži. Při překročení maximálního momentu stroje však stroj vypadne ze synchronních otáček a vznikají nebezpečné proudové rázy. Rozběh synchronního stroje je nejčastěji u jednoduchých strojů realizován pomocným asynchronním vinutím. U složitějších strojů se pak jedná o rozběh za přispění pomocného motoru, umístěného na hřídeli stroje, nebo pomocí frekvenčních měničů. Synchronní generátory jsou v dnešní době nejčastěji používané stroje k získávání elektrické energie z energie mechanické. Lze je rozdělit na dvě základní skupiny a to podle druhu použití na:

- **turboalternátory** s hladkým rotorem pracujícím při konstantních otáčkách 3000ot/min, což nám zajišťuje frekvenci 50 Hz v elektrizační síti, používané zejména v tepelných elektrárnách
- **hydroalternátory** s vyniklými póly pracujícími za nižších otáček ve vodních elektrárnách



Synchronní stroje vynikají zejména schopností držet trvale stabilní otáčky po dlouhou dobu, avšak pro jejich rozběh je nutné dalších zařízení, které nám využití prodraží. V dnešní době však s rozvojem výkonové elektroniky a jejím zlevňováním tyto nevýhody odpadají a synchronní stroje tak nacházejí uplatnění i jako trakční motory.

### 3 Návrh MVE v lokalitě Plasy

Při obecném návrhu MVE je velmi důležité brát ohledy na mnoho faktorů, které ovlivňují využitelnost vodního díla. Může jít o okolnosti, které mohou výstavbu prodražit, zdržet či dokonce zabránit v její realizaci, a proto je nutné zjistit si mnoho informací a podkladů před samotným zahájením projekčních prací. Jde zejména o majetkově-právní vztahy, vhodnosti lokality k výstavbě, problematika ochrany životního prostředí, apod. V lokalitě Plasy však mnoho těchto problémů odpadá, jelikož výstavba MVE by byla realizována na již zbudovaném vodním díle. Samotný návrh MVE tedy spočívá v posouzení vhodnosti tohoto vodního díla pro výstavbu MVE a zvolení nejvhodnější varianty výstavby.



Obr.10: Vodní dílo Plasy

Přehradní nádrž ze 60.let 20.století se nachází na řece Střele, cca na ř.km 19. Řeka Střela pramení v Tepelské vrchovině nedaleko Toužimi a ústí do Berounky. S plochou povodí 921,85 km<sup>2</sup> a délkou toku 101,65 km se řadí spíše mezi středně velké až malé toky. Ačkoliv se toto vodní dílo nazývá přehradní nádrží, jde ve skutečnosti o vysoký pohyblivý jez.

### 3.1 Zhodnocení hydroenergetického potenciálu

Základní parametry, které charakterizují každé hydroenergetické dílo jsou průtok  $Q$ , spád  $H$ , účinnost  $\eta$ , výkon  $P$  a výroba elektrické energie  $E$ . [4]

- **Průtok** lze definovat jako celkové množství vody protékající turbínou za jednotku času a to včetně prosáklé vody v oblasti turbíny a tím ztracené pro energetickou přeměnu.
- **Spád  $H$**  je v obecném smyslu výškový rozdíl dvou bodů hladiny. U vodních elektráren je spád vodní hladiny výškový rozdíl mezi vtokem a před vyústěním do odpadu vodní elektrárny. [4]

Voda, která protéká z horní nádrže do nádrže spodní vykonává práci. Jsme-li schopni využít spád využívaný vodní elektrárnou  $H$  [m] a průtok  $Q$  [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ], pak je teoretický výkon vodní turbíny elektrárny

$$P_T = \rho * g * Q * H * \eta_{turbíny} \quad [kW] \quad (1.3)$$

kde  $\rho$ ...měrná hmotnost vody [ $1000\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]  
 $g$ ...gravitační zrychlení [ $9,81\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]

po dosazení do (1.3) dostáváme zjednodušený výraz pro výpočet teoretického výkonu

$$P_T = 9,81 * Q * H * \eta_{turbíny} \quad [kW] \quad (1.4)$$

Vzhledem k nedokonalostem a ztrátám při přeměně hydraulické energie na mechanickou v turbíně a dále při přeměně mechanické energie na elektrickou bude tento teoretický výkon menší. Výpočet těchto ztrát je složitý, a proto se používá zjednodušeného vzorce pro předběžný odhad výkonu turbíny u MVE

$$P_T = (5\text{ až }7) * Q * H * \eta_{turbíny} \quad [kW] \quad (1.5)$$

Dále je nutné vypočítat elektrický výkon generátoru, ve kterém dochází také ke ztrátám energie vlivem nedokonalosti soustrojí a omezené účinnosti zařízení

$$P_G = P_T * \eta_{\text{převodů}} * \eta_{\text{generátoru}} \quad [kW] \quad (1.6)$$

Dílčí účinnosti dosahují hodnot

$\eta_{\text{turbíny}}$	$\eta_{\text{převodů}}$	$\eta_{\text{generátoru}}$
0,85-0,92	0,95-1	0,88-0,94

Tab.1: Účinnosti dílčích zařízení

Pro konkrétní hodnoty získané pro MVE v Plasích z dat Českého hydrometeorologického ústavu a z dat Povodí Vltavy, s.p můžeme vypočítat hydroenergetický potenciál vodního díla Plasy a získat tak předběžné informace pro zhodnocení využitelnosti vodní nádrže v Plasích pro výrobu elektrické energie

měsíc	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Průtok Q[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	3,18	4,95	6,83	5,22	2,95	2,3	1,64	1,21	1,18	1,57	2,12	3,02
P <sub>T</sub> [kW]	128,4	198	217,6	207,6	119	91,4	63,5	42,7	42,5	60,4	83,6	121,1
P <sub>G</sub> [kW]	121	186,6	205,1	195,5	112	85,7	59	39	38,9	56	78,3	114

Tab.2: Roční výroba el. energie

Z výše uvedené tabulky (tab.2) lze vyčíst hodnoty výkonu vodní elektrárny. Vodní elektrárna však nedokáže využít tento energetický potenciál během celého roku (8760hodin) vzhledem ke kolísání průtoku a spádu, poruch, oprav a revizí, a proto je hodnota skutečně vyrobené roční elektrické energie menší, než tyto teoretické hodnoty výkonu vodní elektrárny. Výroba elektrické energie je tedy

$$A = \Sigma(P_G) * T \quad [kWh] \quad (1.7)$$

Kde T je doba využitelnosti výkonu vodní elektrárny, tato hodnota se liší i v rámci jednotlivých měsíců

Pro hodnoty MVE Plasy

$$A = 937\,702 \text{ kWh} \quad (1.8)$$

Z těchto dat lze vyvodit, že lokalita v Plasích má vhodný hydroenergetický potenciál, pro vybudování MVE. Stavba je koncipována tak, že celá zástavba strojního zařízení by byla realizována mimo vodní část a otvor v hrázi by byl vyříznut až po provedení celé stavby snížením horní hladiny prostřednictvím otevření segmentů hráze.

## 3.2 Návrh turbíny pro MVE Plasy

Návrh MVE a jejích součástí je vždy realizován s ohledem na hospodárnost a náklady. Proto je vždy navrženo několik variant s cílem nalézt optimální řešení. Je třeba navrhnout veškeré části MVE od vtokových objektů a elektrického zařízení až po nejdůležitější část – vodní turbínu. Návrh jejího druhu, typu a rozměrů je velmi složité a zabývají se jimi přímo výrobci turbín. S ohledem na možnost jednoduššího výpočtu se používají pouze přibližné návrhy turbín:

- *Návrh podle charakteristik turbín*
- *Návrh podle diagramů výrobce turbín*
- *Návrh turbín podle specifických otáček*

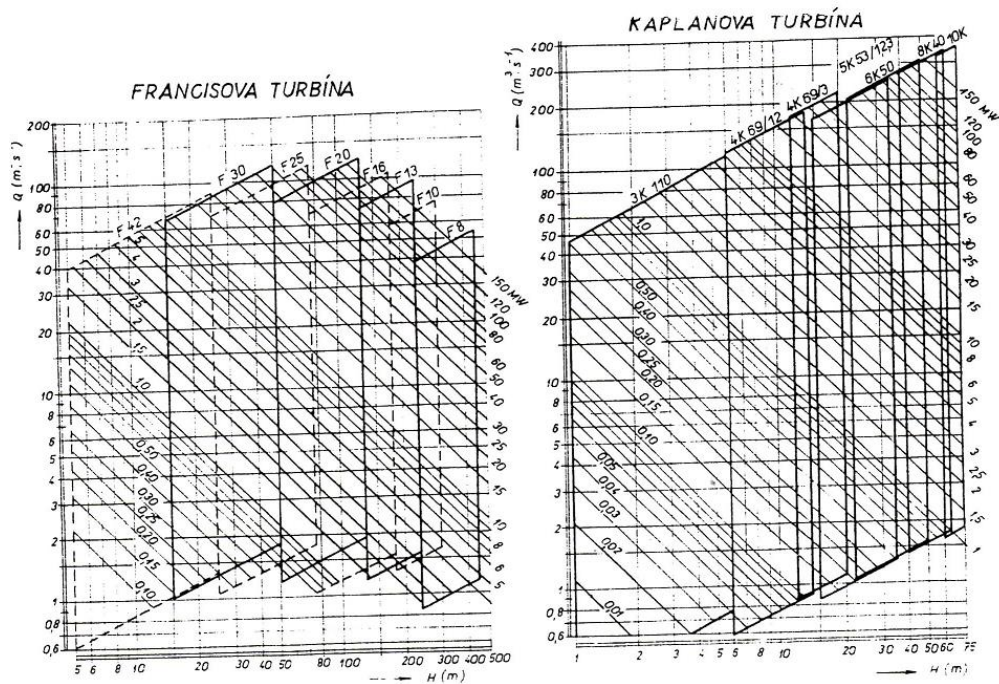
Pro naše účely je nejvýhodnější použít *návrh podle diagramů výrobce*, neboť v případě instalace turbíny půjde o již průmyslově vyráběnou turbínu a nebude použit individuální výrobek.

### 3.2.1 Návrh podle diagramů výrobce

Vzhledem k potřebě rychlých a jednoduchých předběžných návrhů zpracovalo ČKD metodiku návrhů pomocí diagramů. Podle těchto diagramů lze podle hodnot průtoků  $Q$  a hodnot spádů  $H$  rozhodnout mezi Kaplanovou a Francisovou turbínou a poté provést výběr vhodného typu turbíny, pro který se provede orientační návrh. Pro daný typ turbíny lze poté určit i další parametry – průměr oběžného kola, provozní otáčky turbíny, účinnost turbíny, výkon turbíny, maximální otáčky, hmotnost oběžného kola,...

**Výchozí hodnoty:**  $H=4,6\text{m}$ ,  $Q=3,15\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ ,  $H_{\text{max}}=6\text{m}$ ,  $H_{\text{min}}=4\text{m}$

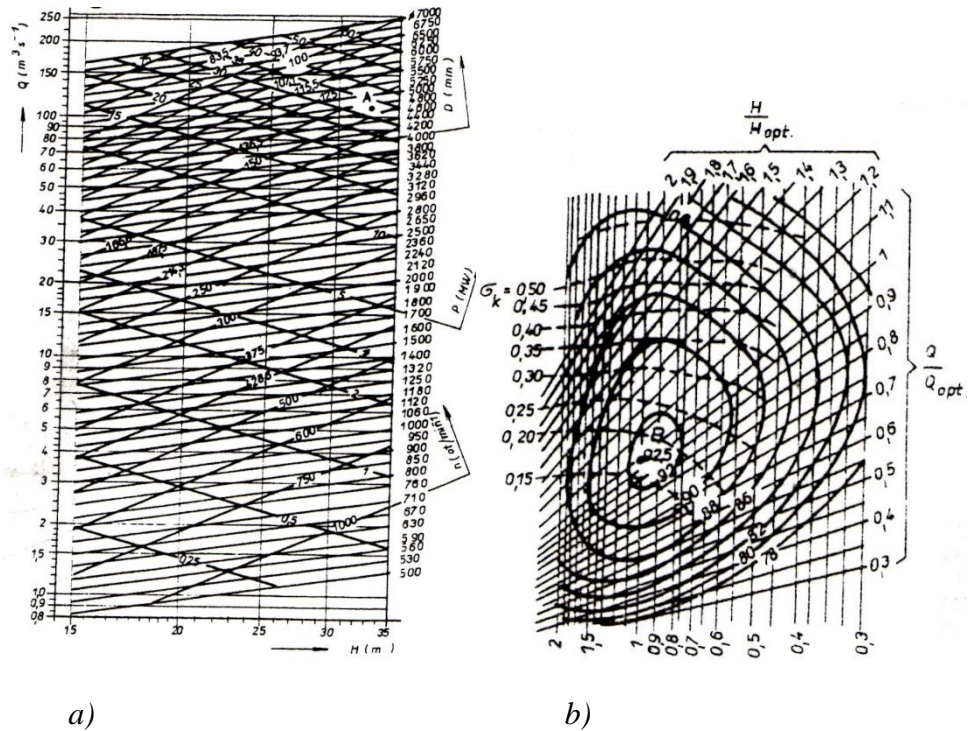
**Volba turbíny:**



Obr.11: Diagram pro volbu typu turbíny [4]

Z diagramu (obr.11) zvolíme podle průtoku a spádu vhodnou turbínu, pro náš případ nám vychází jako vhodnější turbína Kaplanova. Dále z diagramu Q-H (obr.12.a) lze určit předběžně průměr oběžného kola  $D$  [m] a synchronní otáčky  $n_s$  [ot.min<sup>-1</sup>]. Pro naše zadané hodnoty vychází nejbližší možné normované údaje

$$D=1180\text{mm} \quad n_s=250\text{ ot.min}^{-1}$$

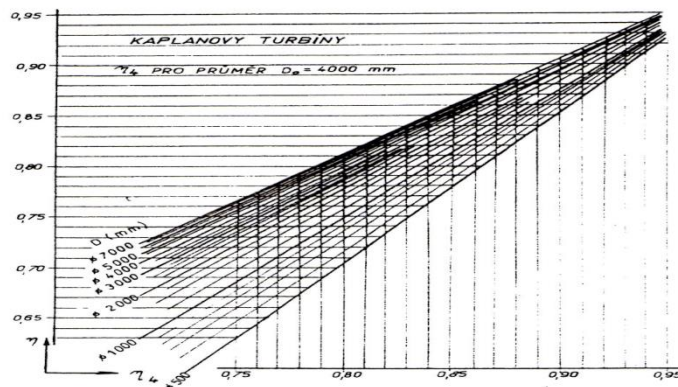


Obr. 12: a) Q-H diagram pro Kaplanovu turbínu [4]  
 b) Diagram univerzální charakteristiky [4]

Z průsečíku těchto hodnot si určíme z Q-H diagramu zpětně optimální hodnoty průtoku  $Q_{opt}$  a spádu  $H_{opt}$ .

$$Q_{opt} = 3,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \quad H_{opt} = 4,2 \text{ m}$$

V diagramu účinností (obr.12.b) odečteme pro dané tři hodnoty spádů  $H$ ,  $H_{min}$  a  $H_{max}$  a volené hodnoty průtoků  $Q$ ,  $Q_{0,75}$  a  $Q_{0,5}$  odpovídající účinnosti. Tyto účinnosti jsou vztaženy k oběžnému kolu o průměru  $D=4000\text{mm}$ , a proto je nutné je ještě přepočítat na účinnosti k průměru kola  $D=1180\text{mm}$ . Tento přepočet se určuje z diagramu pro přepočet účinností (obr.14).



Obr. 13: Diagram pro přepočet účinností [4]

Po určení a přepočtu účinností můžeme ještě předběžný návrh doplnit o výpočet výkonu turbíny

$$P = Q \cdot H \cdot \eta \cdot 9,81 \quad [\text{kW}] \quad (1.9)$$

Všechny údaje můžeme doplnit do přehledné tabulky

H[m]		H/Hopt	Q[m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]	Q/Qopt	η <sub>4</sub>	η	P[kW]	
H <sub>max</sub>	6	1,428	Q	3,15	0,984	0,82	0,78	144,619
			Q <sub>0,75</sub>	2,36	0,738	0,86	0,84	116,6841
			Q <sub>0,5</sub>	1,575	0,492	0,82	0,78	72,30951
H	4,6	1,095	Q	3,15	0,984	0,87	0,845	120,1141
			Q <sub>0,75</sub>	2,36	0,738	0,905	0,87	120,8514
			Q <sub>0,5</sub>	1,575	0,492	0,92	0,9	83,43405
H <sub>min</sub>	4	0,952	Q	3,15	0,984	0,87	0,845	104,4471
			Q <sub>0,75</sub>	2,36	0,738	0,91	0,89	123,6295
			Q <sub>0,5</sub>	1,575	0,492	0,92	0,9	83,43405

Tab.3: Parametry turbíny dle předběžného návrhu

Dále můžeme určit i maximální průběžné otáčky  $n_{max}$  [ot.min<sup>-1</sup>]

$$n_{max} = 324 \cdot \frac{\sqrt{H}}{D} = 324 \cdot \frac{\sqrt{4,6}}{1,18} = 589 \quad \text{ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (2.0)$$

V porovnání s nabídkami poptávaných společností je patrné, že předběžné návrhy nejsou zcela přesné, ale stačí pro hrubou představu o parametrech turbíny.

### 3.3 Připojení na distribuční soustavu

Při připojování MVE na distribuční síť je nutné dodržování Pravidel provozování distribuční soustavy vydaných Energetickým regulačním úřadem. Jde o několik základních pravidel určených tak, aby nové výrobní místo neovlivnilo a neohrozilo distribuční síť. Nejdůležitějším pravidlem je *řízení a kompenzace jalového výkonu*.



### 3.3.1 Řízení a kompenzace jalového výkonu

Výrobní místa připojená do sítí VN musí být při dodávce činného výkonu  $P$  vybavena pro některý z následujících režimů řízení jalového výkonu:

- *Udržování zadaného účinníku*
- *Udržování hodnoty účinníku  $\cos\varphi=f(P)$*
- *Udržování zadané hodnoty jalového výkonu v rámci provozního diagramu stroje (PQ diagram)*

Pro zdroje do 400kW požaduje Provozovatel distribuční soustavy (PDS), aby činný výkon, dodávaný generátorem do sítě pracoval s účinníkem  $\cos\varphi=0,85$  až 1 (jalový výkon induktivního charakteru) a s kapacitním účinníkem  $\cos\varphi=1$  až 0,95 (generátor v podbuzeném stavu). Obecně se v distribučních sítích provádí kompenzace *individuální* a *skupinová*. Vzhledem k malému výkonu asynchronního generátoru umístěného v MVE je výhodnější použití individuální kompenzace, která je realizována kondenzátorem (skupinou kondenzátorů), který je spínán současně s generátorem. Dalším parametrem, který je nutno dodržet je velikost a frekvence napětí na svorkách generátoru. Pro návrh kompenzace generátoru bylo použito hodnot udávaných výrobcem generátoru GAK 560 S20, společností TES.

$$U_s = \sqrt{3} \cdot 400V$$

$$\eta_{gen} = 94,2\%$$

$$\cos\varphi = 0,79$$

$$I = 230A$$

$$P_N = 215 kW$$

Jalový výkon generátoru:

$$Q_{gen} = P_N \cdot \tan\varphi = 215 \cdot 0,77 = 165,55 \text{ kVAr} \quad (2.1)$$

Generátor musíme vykompenzovat na hodnotu danou PDS  $\cos\varphi=0,95$  až 0,98. Do kompenzace také zasahuje jalový výkon, který je podle pravidel připojování PDS možno dodávat ze sítě.

$$Q_{sítě} = U_S \cdot I_{vin} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 230 \cdot \sin \varphi = 97,697 \text{ kVAr} \quad (2.2)$$

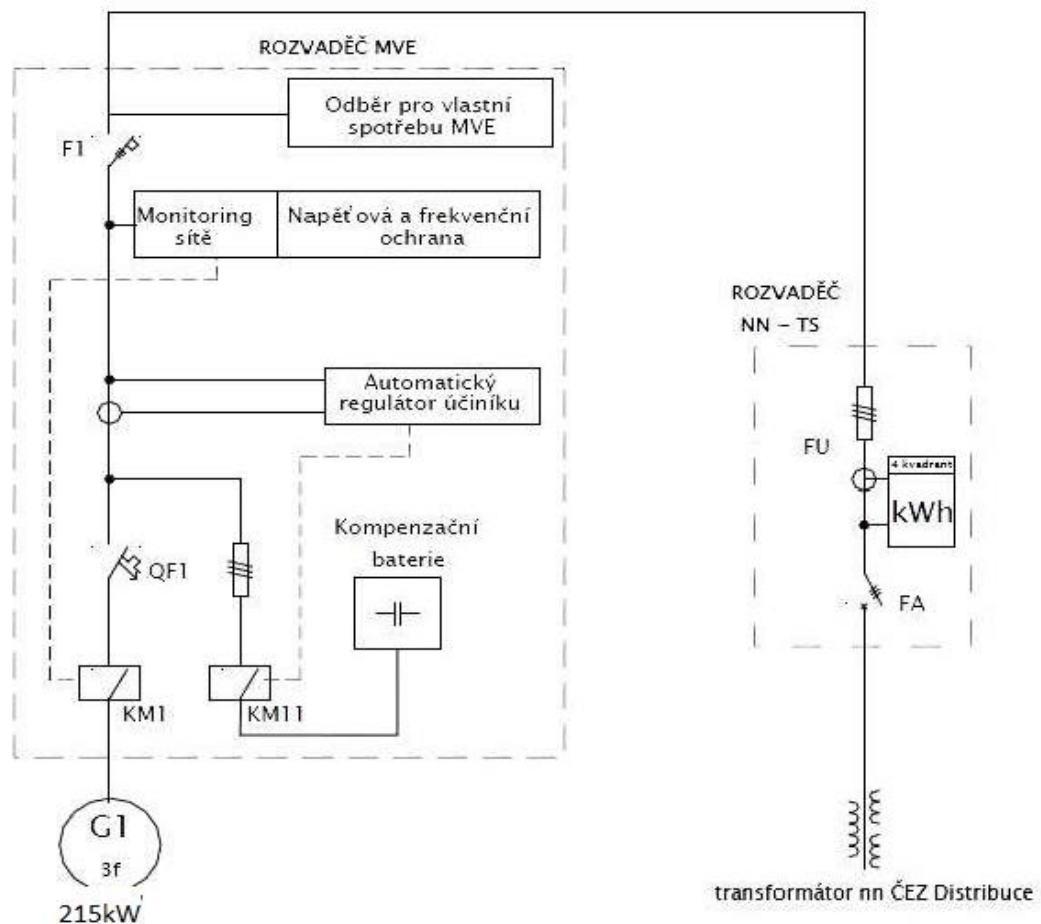
Z toho nám vychází výsledný jalový výkon pro kompenzaci

$$Q = Q_{gen} - Q_{sítě} = 165,55 - 97,697 = 67,853 \text{ kVAr} \quad (2.3)$$

Tento jalový výkon je tedy třeba kompenzovat před připojením do sítě.

### 3.3.2 Elektrické schéma připojení MVE na elektrizační soustavu

Připojení asynchronního generátoru na elektrizační soustavu i jednotlivé zapojení spotřebičů v MVE řeší elektrické schéma. Toto schéma musí zajistit účelné a spolehlivé vyvedení elektrické energie ze zdroje a napájení vlastních spotřebičů MVE. Obecně lze elektrické schéma rozdělit na hlavní, které zobrazuje vyvedení výkonu do sítě a poté na schéma vlastní spotřeby, které řeší již podrobněji zapojení spotřebičů v MVE.

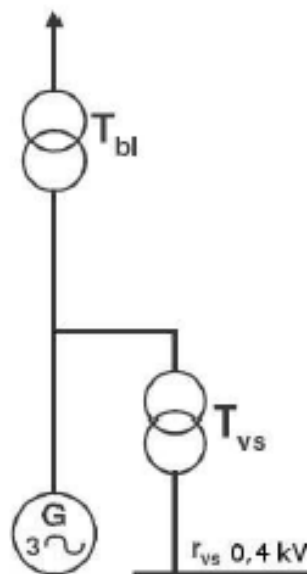


Obr.11: Obecné schéma připojení MVE

### 3.3.2.1 Silnoproudá zařízení MVE

Silnoproudá zařízení jsou určena pro přenos, transformaci, spínání a jištění vyrobené energie, dále k napájení pohonů a dalších elektrických spotřebičů zahrnutých do vlastní spotřeby vodní elektrárny. [4]

Vzhledem k nutnosti přenosu elektrické energie na delší vzdálenosti je nutné omezit co nejvíce ztráty ve vedení. Toho docílíme tím, že elektrickou energii transformujeme na vysoké napětí. Ke změně napětí vyrobeného generátorem MVE používáme *hlavní transformátory*. Dále je nutné zajistit rozvod elektrické energie pro vlastní spotřebiče, které jsou obvykle na hladině 230/400V, což je realizováno pomocí *transformátorů pro vlastní spotřebu*.



Obr.12: Zapojení transformátoru vlastní spotřeby

Zde je zobrazen 3-fázový generátor, hlavní transformátor  $T_{hl}$ , který realizuje přenos elektrické energie do distribuční soustavy, a transformátor vlastní spotřeby  $T_{vl}$ .

### 3.3.2.2 Ochrany, regulace a měření na MVE

Soustrojí bude pracovat v automatickém režimu s občasným dohledem. Provoz bude paralelní se sítí. Při výpadku napětí nebo při poruše soustrojí MVE bude automaticky uzavřen průtok turbínou a dojde k odpojení od sítě. Sběr dat soustrojí a jeho řízení a přenos informací bude zajištěn řídicím automatem soustrojí. Kontrola a *řízení* bude probíhat v následujících parametrech:

- *Automatické najetí*
- *Hladinová regulace*
- *Kontrola poruch a funkce*
- *Kontrola teploty*
- *Kontrola počtu otáček*
- *Hlášení poruch*

Zároveň musí být zajištěna *ochrana* soustrojí i z hlediska elektrického:

- *Nadproudová zkratová*
- *Přetížení*
- *Proudová nesymetrie*
- *Podpětí*
- *Frekvenční*

Na místě připojení MVE k distribuční soustavě musí být také umístěn měřicí přístroj, který měří vyrobenou (popř. spotřebovanou energii) a je v majetku provozovatele sítě. Zaznamenává činnou vyrobenou energii, činnou spotřebovanou energii a jalovou spotřebovanou energii. Vzhledem k možnosti odběru/dodávky energie jsou tyto měřicí přístroje dvoutarifové.

### **3.4 Ekonomické vyhodnocení MVE Plasy**

Odhad ročního příjmu za prodanou energii vychází z předpokládané roční vyrobené energie. Ta se odvíjí od množství vody (průtoku řeky Střely) a druhu použité turbíny. Z ročního příjmu pak lze dopočítat návratnost celé investice. Pro další výběr je nutné zohlednit i druh použité MVE, náklady na údržbu, možnosti regulace, atd. Z technických hledisek se jeví výhodnější použití turbín s možností regulace. Jak je patrné z uvedených nabídek firem (příloha č.4), nejvýhodnější je instalace plně regulované S-Kaplanovy turbíny, a to i za cenu vyšších pořizovacích nákladů v porovnání s jinými druhy turbín. Svými parametry nejlépe odpovídá zadání investora nabídka od firmy ČKD Blansko Small Hydro.

### 3.4.1 Celkové náklady

	ks	Cena (Kč)
Stavební práce		2 500 000,-
Přívodní kanál k turbíně	1	1.570.000,-
Turbína včetně savky	1	8.490.000,-
Regulační zařízení	1	357.000,-
Pomocná zařízení	1	149.000,-
Asynchronní generátor GAK 560 S20 B3	1	796.000,-
elektročást	1	734.600,-
Prováděcí projekty strojní a elektročástí	1+1	275.000,-
<b>Celková cena</b>		<b>14.872.100,-</b>

Tab.4: Cenová nabídka firmy ČKD Blansko

### 3.4.2 Výkupní ceny, bonusy

Díky měřicím přístrojům umístěným v přípojkové skříně může provozovatel distribuční soustavy zjistit okamžité hodnoty energie spotřebované či dodané MVE. Na základě těchto údajů a výkupních cen elektrické energie vydaných Energetickým regulačním úřadem lze vypočítat předpokládaný roční výnos z prodeje elektrické energie do sítě.

Vzhledem ke snaze zvýšit podíl energie z obnovitelných zdrojů jsou podporovány zdroje této energie i tzv. Zeleným bonusem. Ten je stálý vzhledem k datu připojení MVE na elektrizační soustavu po celou dobu životnosti zdroje.

Datum uvedení výroby do provozu		Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
1.1.2006	31.12.2007	2775	1775
1.1.2008	31.12.2009	2938	1938
1.1.2010	31.12.2010	3193	2193
1.1.2011	31.12.2011	3122	2122
1.1.2012	31.12.2012	3254	2254
1.1.2013	31.12.2013	3230	2230

Tab.5: Výkupní ceny a zelené bonusy dle ERÚ

Kvůli složitosti stavebního a povolenáckého řízení není nyní známa doba spuštění MVE Plasy, a proto budeme uvažovat dokončení v roce 2013.

### 3.4.3 Výnos MVE

Výnos z prodeje elektrické energie do elektrizační sítě vypočítáme z množství vyrobené energie a výkupní ceny.

Vyrobená energie [MWh]	Výkupní cena [Kč]	Zelený bonus [Kč]	Výnos [Kč]
937,702	3230	2230	5 119 853

Tab.6: Výnos z prodeje elektrické energie z MVE včetně Zeleného bonusu

### 3.4.4 Hodnocení efektivnosti investice

Pro zhodnocení efektivnosti investice existuje mnoho metod, které lze rozdělit do dvou základních skupin

- **Podle zohlednění faktoru času**
  - *Statické metody*-nerespektují čas
  - *Dynamické metody* – respektují čas
- **Podle pojetí efektu z investice**
  - *Nákladové metody*- jako kritérium se používá úspora nákladů
  - *Ziskové metody* – jako kritérium čistý zisk
  - *Příjmové metody* – kritérium příjem –čistý zisk + odpisy

Základní používané metody hodnocení efektivnosti investičního projektu jsou:

- **Metoda průměrných ročních nákladů**
- **Metoda diskontovaných nákladů**
- **Metoda čistě současné hodnoty a metoda indexu ziskovosti**
- **Metoda vnitřního výnosového procenta**
- **Metoda průměrné výnosnosti**
- **Metoda návratnosti [12]**

Pro výpočty návratnosti a zhodnocení efektivnosti investice zvolíme následující data:

Vstupní hodnoty	
Investiční náklady	14 872 100 Kč
Provozní náklady	50 000 Kč
Životnost	20let
Požadovaný výnos	5%
Vyrobená energie za rok	937,7MWh
Výkupní cena	3230Kč/MWh

Tab.7: Vstupní hodnoty

### 3.4.4.1 Metoda čisté současné hodnoty

Tato metoda hodnotí rozdíl mezi celkovými příjmy za dané období a pořizovacími náklady:

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j} - K \quad (2.4)$$

Kde NPV....čistá souč.hodnota  
 n.....doba životnosti  
 P<sub>j</sub>.....peněžní příjem v j-tém roce  
 i.....roční úroková míra  
 K<sub>i</sub>.....pořizovací náklady

Penežní příjem v j-tém roce se určí podle vztahu

$$P_j = Z_j + N_{odpj} \quad (2.5)$$

Kde Z<sub>j</sub>.....je čistý zisk v j-tém roce  
 N<sub>odpj</sub>.....odpisy v j-tém roce

Pro větší přehlednost vypočtené údaje zpracujeme do tabulky:

rok	Roční tržby [Kč/rok]	Roční provozní náklady [Kč/rok]	Odpisy[Kč/rok]	Hrubý zisk [Kč/rok]	Čistý zisk [Kč/rok]	Návratnost investice
1	3028777,46	50000,00	0,00	2978777,46	2531960,84	-12340139,16
2	3028777,46	51500,00	0,00	2977277,46	2530685,84	-9809453,32
3	3028777,46	53045,00	0,00	2975732,46	2529372,59	-7280080,73
4	3028777,46	54636,35	0,00	2974141,11	2528019,94	-4752060,78
5	3028777,46	56275,44	0,00	2972502,02	2526626,72	-2225434,07
6	3028777,46	57963,70	636043,27	3606857,02	3065828,47	840394,40
7	3028777,46	59702,61	636043,27	3605118,11	3064350,40	3904744,80
8	3028777,46	61493,69	636043,27	3603327,03	3062827,98	6967572,78
9	3028777,46	63338,50	636043,27	3601482,22	3061259,89	10028832,67
10	3028777,46	65238,66	636043,27	3599582,07	3059644,76	13088477,42
11	3028777,46	67195,82	636043,27	3597624,91	3057981,17	16146458,59
12	3028777,46	69211,69	636043,27	3595609,03	3056267,68	19202726,27
13	3028777,46	71288,04	636043,27	3593532,68	3054502,78	22257229,05
14	3028777,46	73426,69	636043,27	3591394,04	3052684,93	25309913,99
15	3028777,46	75629,49	636043,27	3589191,24	3050812,55	28360726,54
16	3028777,46	77898,37	636043,27	3586922,36	3048884,00	31409610,54
17	3028777,46	80235,32	636043,27	3584585,40	3046897,59	34456508,14
18	3028777,46	82642,38	636043,27	3582178,34	3044851,59	37501359,73
19	3028777,46	85121,65	636043,27	3579699,07	3042744,21	40544103,94
20	3028777,46	87675,30	636043,27	3577145,42	3040573,61	43584677,55

Tab.8: Vypočtené předpokládané zisky (pozn. Míra inflace zvolena 3%, daně z příjmu 15%, odpisy možné po 5letech, maximálně však 15let, nezapočítáván Zelený bonus-nejisté podmínky)

Z rovnice ( 2.4) vyplývá:

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j} - K = 43043585 - 14872100 = 28171485 \quad (2.6)$$

NPV<0            investiční projekt je neefektivní

NPV>0            investiční projekt je efektivní



### 3.4.4.2 Metoda indexu ziskovosti

$$PI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j}}{K} = \frac{43043585}{14872100} = 2,894 \quad (2.7)$$

Kde PI je index ziskovosti a platí

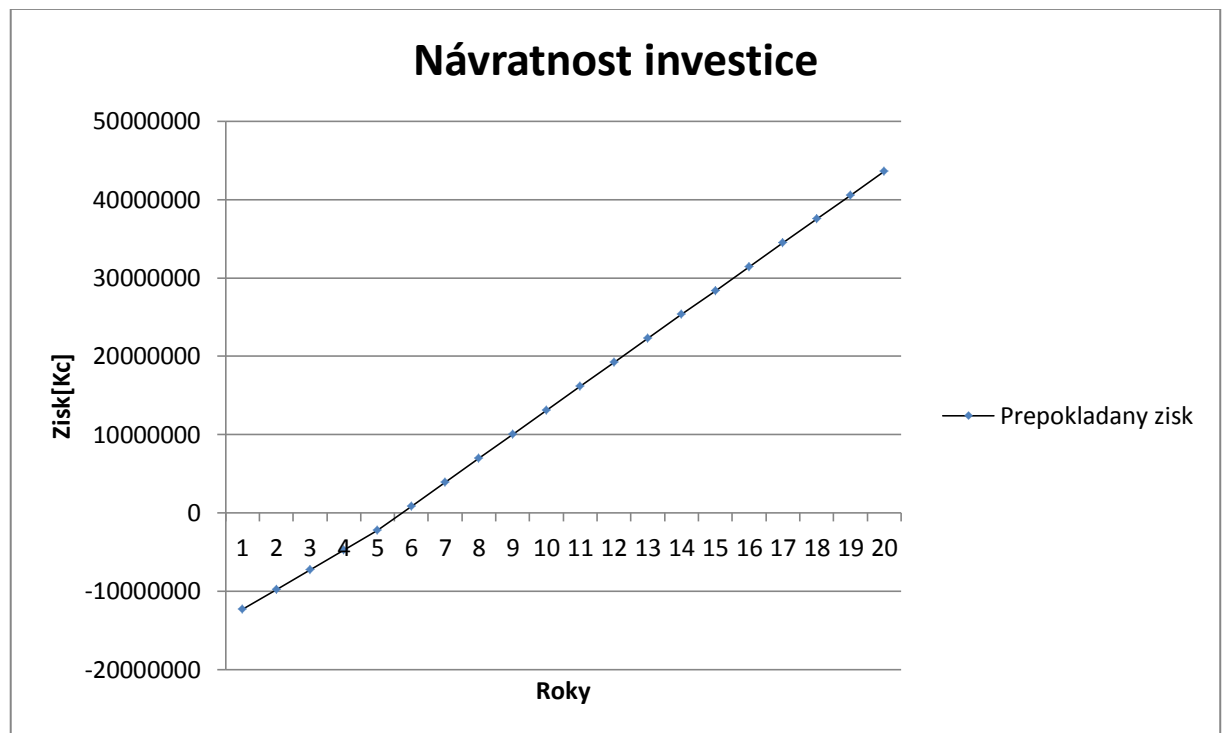
PI < 1 investiční projekt je neefektivní

PI > 1 investiční projekt je efektivní

Pro obě metody platí, že čím vyšší je index (NPV a PI), tím je zvolená investice výhodnější.

### 3.4.4.3 Návratnost investice

Hodnoty vypočtené v tabulce č.8 můžeme pro větší názornost vynést do grafu, ze kterého můžeme snáze vypočítat předpokládanou návratnost investice.



Graf 1: Předpokládaná návratnost investice

Z tabulky (tab.8) a grafu č.1 vyplývá, že vložená investice by se měla vrátit za stávajících podmínek podpory výkupu elektrické energie z obnovitelných zdrojů do 6let.

### 3.5 MVE ve vztahu k okolí

V přípravném období na realizaci MVE se musí investor zavázat ke splnění mnoha podmínek, ať už z hlediska interakce s okolními ekosystémy, či ve vztahu k veřejným a vodohospodářským zájmům. V nynější době se však značná část obyvatelstva pod vlivem médií a ekologů staví velmi negativně proti výstavbě nových vodních děl. Hlavní motivací tohoto postoje je zejména obava z ohrožení či devastace přírodních komplexů. Tento problém by měl být řešen již ve fázi přípravy projektové dokumentace, kde by mělo být nové dílo citlivě zakomponováno do okolní krajiny a mělo by splňovat požadavky na něj kladené. Tyto požadavky se dají rozdělit do dvou větších skupin – *ekologické aspekty* a *vodohospodářské požadavky*.

#### 3.5.1 Ekologické aspekty

Při výstavbě nové MVE dochází ke změně okolní krajiny, ale především ke změně přirozeného prostředí pro vodní živočichy žijící v říčním toku a jeho blízkosti. Vybudováním tělesa hráze dojde k přerušení přirozené migrační cesty ryb, což může být vyřešeno pomocí *rybích přechodů*.

##### 3.5.1.1 Rybí přechody

Rybí přechod neboli rybovod je stavba určená k překonání hrází vodních děl, rybníků či vzdouvacích zařízení. Zajišťuje migraci živočichů, zejména ryb, pomocí rozdělení výšky hráze na mnoho menších stupňů. V praxi se používají tři typy rybích přechodů – *kaskádový*, *meandrový* a *biokoridor*.

- **Kaskádový** je nejčastější a nejjednodušší rybí přechod, který je schopný na velmi malém zastavěném území překonat velký spád. Realizace může být provedena přímo na tělese hráze. Mezi nevýhody patří zanášení jednotlivých stupňů sedimenty a možnost migrace pouze ryb.
- **Meandrový** je méně známý, avšak pro svůj menší sklon je vhodnější pro migraci i ostatních druhů živočichů, nejen ryb. Nevýhodou je, že pro překonání větších spádů je nutné vybudování značně delší stavby.



Obr. 11: Rybí přechod na vodním díle John Day Dam na řece Columbia

- **Biokoridor** je nejpřirozenějším způsobem, jak překonat překážku v podobě vodního díla. V podstatě jde o nový, menší přirozený vodní kanál, který vede okolo vodního díla a zajišťuje tak možnost migrace všech druhů živočichů. Po určité době se sám stává součástí přirozeného ekosystému.



Obr. 12: Biokoridor

### 3.5.2 Vodohospodářské aspekty

Při přípravě výstavby vodního díla se investor setkává s požadavky mnoha organizací, od ekologických až po požadavky správce vodního toku, obecními úřady či majiteli ostatních pozemků. Investor musí předložit tzv. Manipulační řád, zpracovaný podle normy ON 73 6808 Manipulační řády vodních děl. Tímto dokumentem se zavazuje, že bude plnit podmínky udělené vodohospodářskými orgány ve věci nakládání s povrchovými vodami. Zejména se jedná o hlediska bezpečnosti a účelnosti funkcí MVE, dodržování mezních hodnot,

stanovených orgány a zajištění kvality a kvantity vody. Jedná se především o tři stavy: *období minimálních průtoků, výskyt povodňových průtoků a období zimního provozu.*

- **Období minimálních průtoků** zejména v létě zhoršuje parametry MVE, kdy v extrémních případech může dojít i k úplnému odstavení MVE, avšak nesmí být ohrožen přirozený průtok. MVE také zajišťuje okysličení vody pod tělesem hráze.
- **Výskyt povodní** zvyšují namáhání hráze a riziko poškození vybavení MVE. Může dojít i k zatopení strojovny, avšak častější je mechanické poškození hráze plovoucími předměty.
- **Zimní období** zhoršuje plynulost průtoků v tocích a ohrožuje těleso hráze množstvím ledu. MVE také musí zajistit regulaci vodního toku, aby nedocházelo k záplavovým vlnám.

### 3.5.3 Právní předpisy a normy

Výše popsané skutečnosti, ale i mnoho dalších povinností velmi podrobně popisují právní normy a předpisy. Výčet zákonů, nařízení vlády, vyhlášky a metodické pokyny zde uvedených se bezprostředně týkají MVE a úzce souvisí s Českou technickou normou ČSN 75 2601 s názvem a označením: *Malé vodní elektrárny - Základní požadavky.*

Důležité právní předpisy jsou následující:

*Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon);* účelem zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovování hospodárných podmínek pro využívání těchto zdrojů. Pomocí aplikací zákona se snižují nepříznivé účinky povodní a období sucha, zajišťuje se bezpečnost vodních děl. Zákon má chránit vodní ekosystémy a k nim přiléhající suchozemské ekosystémy. Důležitými paragrafy z právních předpisů

výše zmíněného zákona týkající se MVE jsou :

- § 8 odst. 1; podmínky, za jakých je třeba disponovat oprávněním k nakládání s povrchovými nebo podzemními vodami,
- § 9 odst. 1; povolení k nakládání s vodami se vydává na dobu časově omezenou,
- § 9 odst. 5; povolení k nakládání s vodami, které lze vykonávat pouze užíváním vodního díla lze vydat pouze současně se stavebním povolením k takovému vodnímu dílu ve společném řízení,

- § 9 odst. 6; povolení k nakládání s vodami pro využívání jejich energetického potenciálu nemůže být vydáno na dobu kratší než 30 let,
- § 36 odst. 1; minimální zůstatkový průtok (MZP) je průtok povrchových vod, který ještě umožní obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku. MZP stanovuje vodoprávní úřad, kdy při povolení k nakládání s vodami přihlédne k § 26,
- § 52 odst. 1; vlastníci staveb a zařízení v koryt vodních toků jsou povinni odstraňovat předměty zachycené či ulpělé na těchto stavbách a zařízeních,
- § 57; pokud má prospěch z vodního díla jiný oprávněný než vlastník tohoto díla, je povinen podílet se na úhradě nákladů na údržbu tohoto vodního díla. To neplatí v případě, že osoba oprávněná k nakládání s vodami podle § 8 užívá vodu pouze za účelem využití energetického potenciálu k výrobě elektřiny ve vodních elektrárnách do celkového instalovaného výkonu výroby 10 MWe.

*Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí);* pro výstavbu malých zdrojů energie využívající OZE se tento výše uvedený právní předpis uplatňuje na vodních elektrárnách s celkovým instalovaným výkonem nad 50 MWe a u vodních elektráren s výkonem v rozmezí od 10 MWe do 50 MWe.

*Zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů);* Dle § 1 odst. 2 je účelem toho zákona v zájmu ochrany klimatu a ochrany životního prostředí podpořit využití OZE. Zejména, v rámci MVE, se jedná o tyto části výše zmíněného zákona č. 180/2005 Sb. :

- § 2, odst. 2d; definice zeleného bonusu,
- § 4, odst. 1; ukládá provozovateli přenosové soustavy nebo provozovatelům distribučních soustav povinnost připojení OZE do soustavy při splnění podmínek daných zákonem,
- § 4, odst. 3; výrobce elektřiny z OZ, na níž se vztahuje podpora, si může vybrat, zda nabídne svoji elektřinu k výkupu nebo zda na ni bude požadovat zelený bonus. Výběr lze změnit po jednom roce od počátku užívání podpory.

*Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (energetický zákon);* zákon upravuje (§ 1) podmínky podnikání v energetických odvětvích, výkon státní správy a regulaci elektroenergetiky, plynárenství a teplárenství.

*Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií;* předmětem tohoto zákona je zvyšování hospodárnosti užití energie a nakládání s ní, dále zákon určuje pravidla pro tvorbu státní energetické koncepce

*Zákon č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů,*

*Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon);*

*Zákon ČNR č. 114/1992 Sb., o ochraně krajiny a přírody;*

*Vyhláška Českého úřadu bezpečnosti práce a českého báňského úřadu č. 50/1982 Sb.;*

vyhláška dle § 1 stanovuje odborné způsobilosti (dále jen „kvalifikace“) pracovníků kteří obsluhují nebo provádějí práce na elektrických zařízeních a další činnosti související s elektrickými zařízeními dle § 1 výše zmíněné vyhlášky.

*Vyhláška Ministerstva životního prostředí České republiky č. 395/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny;*

*Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 432/2001 Sb., o dokladech žádosti o rozhodnutí nebo vyjádření o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu;*

*Vyhláška č. 470/2001 Sb., kterou se stanoví seznam významných vodních toků a způsob provádění činnosti související se správou toků;*

*Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly;*

*Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 195/2002 Sb., o náležitostech manipulačních řádů a provozních řádů vodních děl;*

*Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla, ve znění vyhlášky č. 367/2005;*

*Vyhláška č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě;*

*Metodický pokyn č. 9 odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích – Věstník MŽP č. 5/1998.*

## 4 Závěr

Tato práce shrnuje možnosti získávání elektrické energie z vodních zdrojů a přibližuje druhy vodní energie, jejich využití a jednotlivé vodní stroje. Je patrné, že vzhledem k rostoucím cenám energií bude význam vodních elektráren v budoucnu neustále růst.

V lokalitě Plasy je situace zjednodušena tím, že vodní dílo (v našem případě pohyblivý jez) je již postaveno a tím odpadá složité legislativní a schvalovací procesy, kvůli kterým je často výstavba nového díla nereálná. Vzhledem k předběžným výpočtům hydroenergetického potenciálu se zdá být tato lokalita k výstavbě vhodná, neboť poskytuje potenciál v hodnotě 937,7 MWh elektrické energie za rok. Z jednoduchých výpočtů a nabídek firem vyplývá, že pro výstavbu MVE se jeví jako nejvhodnější instalace S-Kaplanovy turbíny a asynchronního generátoru. Celé zařízení by bylo automaticky řízené s občasným dohledem.

Pro ekonomické výpočty byly uvažovány předběžné nabídky firem, zabývajících se dodávkou zařízení pro MVE, a předběžně byla vypočítána návratnost cca do 6let. Tato krátká doba návratnosti je způsobena zejména tím, že v ceně je zahrnuta pouze dodávka a montáž vodní turbíny a asynchronního generátoru. V jiných lokalitách by musela být započítána i stavba samotného vodního díla, což v našem případě odpadá. Dále se na krátké době návratnosti podílí i strategie Energetického regulačního úřadu, který podporuje výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů dotovanými výkupními cenami, které jsou v našem případě téměř dvojnásobné oproti výkupním cenám z klasických zdrojů, jako jsou tepelné elektrárny.

Z výsledků této práce vyplývá, že výstavba MVE v lokalitě Plasy se jeví jako výhodná i z důvodu, že vodní dílo patří soukromé společnosti, která by tímto novým zdrojem elektrické energie mohla zajistit i dodávku pro vlastní spotřebu a přebytek by mohl být dodáván do elektrizační soustavy. Negativem však zůstává vysoká počáteční investice.

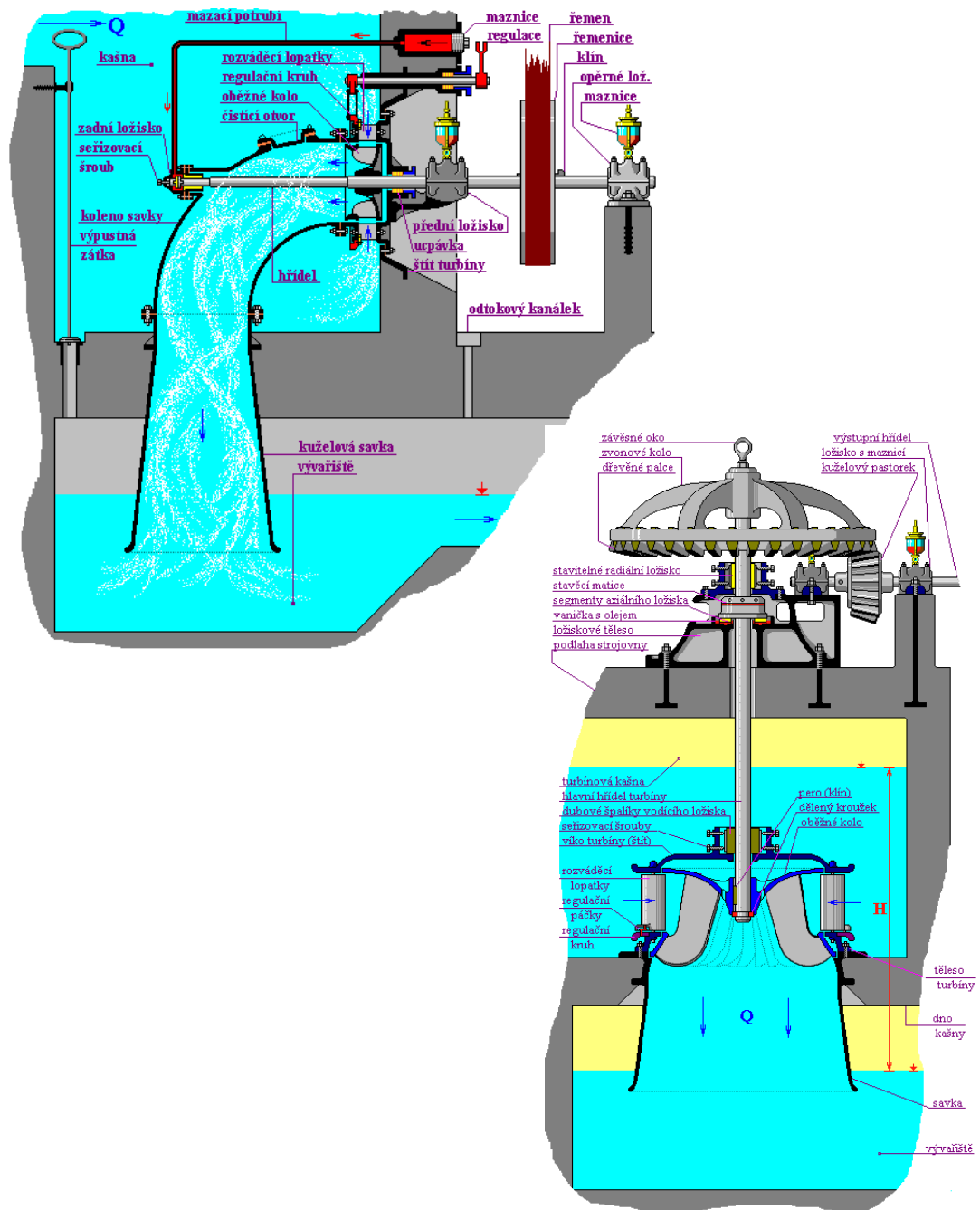
## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] GABRIEL, Pavel a Jitka KUČEROVÁ. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 321 s. ISBN 80-010-1812-1
- [2] [www.cez.cz](http://www.cez.cz), 12.2.2013
- [3] [www.nazeleno.cz](http://www.nazeleno.cz), 12.2.2013
- [4] GABRIEL, Pavel a Jitka KUČEROVÁ. *Navrhování vodních elektráren*. Vyd. 2. Praha: ČVUT, Stavební fakulta, 2000, 195 s. ISBN 80-010-2214-5
- [5] MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: konstrukce a provoz*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 299 s. ISBN 80-010-1808-3
- [6] [www.mve.energetika.cz](http://www.mve.energetika.cz), 12.2.2013
- [7] [www.energyweb.cz](http://www.energyweb.cz), 12.2.2013
- [8] BARTOŠ, Václav. *Teorie elektrických strojů*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006, 230 s. ISBN 80-704-3509-7
- [9] Hospodářská komora České republiky
- [10] Povodí vltavy, s.p.
- [11] Energetický regulační úřad
- [12] CHMELA, Michal. *Ekonomika a řízení*. 1. vyd. Brno : Vydavatelství VUT, 12.9.2007. SKRIPTA PRO VUT.



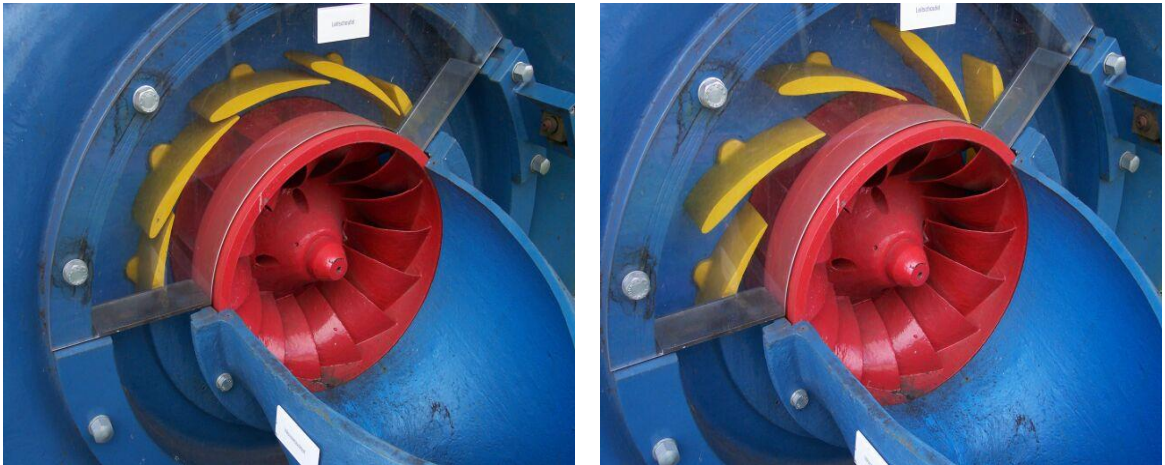
Přílohy:

1. Francisova turbína-vertikální a horizontální



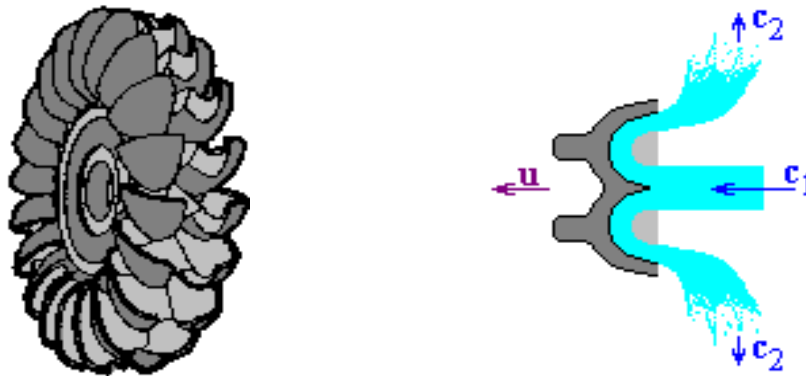
Obr. 13: Horizontální(vlevo) a vertikální Francisova turbína[6]

## 2.Regulace přívodu vody na vertikální Francisovu turbínu:



Obr.15: Rozdíl v nastavení rozváděcích lopatek u Francisovy turbíny - nastavení na malý průtok obrázek vlevo [6]

## 3.Princip Peltonovy turbíny



Obr.16: Princip Peltonovy turbíny [6]

#### 4. Nabídky firem

##### **Nabídka CKD Blansko**

##### Strojní zařízení

Pro řešení MVE Plasy byla nabídnuta přímoproudá Kaplanova S-Turbína typu 4 SK 115 o průměru oběžného kola 1150mm. Turbína je horizontální s regulovanými rozváděcími i oběžnými lopatkami s parametry:

Maximální spád [m]	4,6
Rozsah průtoku [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	1,5 – 5,5
Výkon na hřídeli [kW]	217,8
Jmenovité otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	306
Maximální průběžné otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	730

Tab.9: Parametry turbíny 4 SK 115

##### Asynchronní generátor

V dané lokalitě a pro dané parametry byl navržen asynchronní generátor GAK 560 S20 B3, který je propojen s turbínou pomocí spojky.

Výkon generátoru [kW]	215
Jmenovité otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	306
Průběžné otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	730
Napětí [V]	400
Účinník [-]	0,79
Účinnost generátoru [%]	94,2

Tab.10: Parametry generátoru GAK 560 S20 B3

V přehledu jsou zahrnuty pouze dvě nejdůležitější části MVE, avšak dodávka zahrnuje celou řadu dalších detailů, bez kterých by celé soustrojí nemohlo fungovat. Jde o zařízení stavebního charakteru jako česle a přívodní kanály, ale i elektrosoučásti typu regulace a řízení, rozvaděčů, odběru pro vlastní spotřebu, atd.

**Nabídka firmy MAVEL****Strojní zařízení**

Na základě hydrologických údajů firma MAVEL nabídla použití turbíny MAVEL KS850 K4 s oběžným kolem o průměru 850mm:

Maximální spád [m]	3,9
Maximální průtok [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ]	3,15
Maximální výkon turbíny [kW]	101
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	333

*Tab. 11: Parametry turbíny MAVEL KS850 K4*

**Asynchronní generátor**

Soustrojí bude pracovat v automatickém režimu paralelně se sítí. Při výpadku napětí nebo při poruše dojde k automatickému uzavření průtoku turbínou a odpojení od sítě. Instalován bude asynchronní generátor:

Nominální výkon [kW]	98
Napětí [V]	400
Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	333
Frekvence [Hz]	50

*Tab. 12: Parametry asynchronního generátoru*