

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh rekonstrukce vodní elektrárny

**vedoucí práce: Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.
autor: Bc. Petr Černožorský**

2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr ČERNOHORSKÝ**
Osobní číslo: **E11N0186P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Návrh rekonstrukce vodní elektrárny**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Navrhněte rekonstrukci malé vodní elektrárny.
2. Zvolte nejvýhodnější možnosti zvýšení účinnosti této elektrárny.
3. Proveďte zhodnocení výroby elektrické energie této malé vodní elektrárny.
4. Zhodnoťte ekonomickou návratnost této investiční stavby.

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


1. Mastný, P. a kol. : Obnovitelné zdroje elektrické energie, ČVUT Praha, 2011
2. Dle udání vedoucího práce.

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

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


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




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

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Moje diplomová práce se zabývá rekonstrukcí malé vodní elektrárny na Úhlavě v Přešticích. V této vodní elektrárně se bude rekonstruovat pouze strojní část, a to generátor a turbína. Dále se budu zabývat ekonomickým rozbohem návratnosti investice.

Klíčová slova

Hydroenergetický potenciál, malá vodní elektrárna, vodní turbína, generátor, rekonstrukce, spád, průtok, výkon, účinnost, elektrizační soustava, odtoková křivka.

Abstract

This diploma thesis deals with the reconstruction of a small hydropower plant on Úhlava river in Přeštice. In this hydroelectric power station only mechanical part will be reconstructed - the generator and the turbine. Further, I will deal with the economic analysis of return of investment.

Key words

Hydropower potential, small hydro power, water turbine, generator, reconstruction, gradient, flow, power, efficiency, power system, drainage curve.

Prohlášení

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

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

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

V Plzni dne 15/5/2013

Jméno, příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ	9
ÚVOD	11
1. HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL ČR	12
1.1. HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL	12
2. VODNÍ ELEKTRÁRNY	13
2.1. ROZDĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN	14
2.1.1. Přehradové vodní elektrárny (akumulální)	15
2.1.2. Jezové elektrárny	16
2.1.3. Derivační vodní elektrárna	16
2.1.4. Přečerpávací vodní elektrárna	17
2.2. ÚČINNOST PŘEČERPÁVACÍCH VODNÍCH ELEKTRÁREN	17
3. ROZDĚLENÍ VODNÍCH STROJŮ	18
3.1. DĚLENÍ TURBÍN	19
3.1.1. Peltonova turbína	20
3.1.2. Bánkiho turbína	21
3.1.3. Kaplanova turbína	22
3.1.4. Francisova vertikální turbína	24
3.1.5. Francisova horizontální turbína	26
3.1.5.1. Francisova horizontální turbína s mokrou savkou	27
3.1.5.2. Francisova horizontální turbína se suchou savkou	28
4. GENERÁTORY	29
4.1. Synchronní alternátor	29
4.1.1. Konstrukce synchronního alternátoru	29
4.2. Asynchronní alternátor	32
4.2.1. Třífázový proud	33
4.2.2. Zapojení do hvězdy	34
4.2.3. Zapojení do trojúhelníka	34
4.3. Dynamo	35
5. LEGISLATIVA TÝKAJÍCÍ SE MVE	37
6. POPIS LOKALITY MVE	43
6.1. Výběr turbíny a generátoru	45
6.2. Kompenzace jalového výkonu	47
6.3. Ekonomické hodnocení MVE	48
7. ZÁVĚR	52
8. SEZNAM POUŽITÉ A CITOVANÉ LITERATURY	53

Seznam symbolů

E_h	Energie potenciální
E_v	Energie kinetická
m	Hmotnost vody
H	Výškový rozdíl
P	Tlak
ρ	Měrná hmotnost vody
v	Rychlost
P	Výkon
Q	Objemový průtok vody
P_a	Užitečný výkon na svorkách
H_u	Užitečný spád
η_t	Účinnost turbíny
η_a	Účinnost hydroalternátoru
A	Vyrobená elektrická energie
V_o	Objem vody přes turbínu
P_d	Minimální výkon vodní elektrárny
K	Koeficient denního využití
η	Účinnost přečerpávací elektrárny
E_t	Energie získaná při turbínovém provozu
$E_{\check{c}}$	Energie spotřebovaná na čerpání vody do horní nádrže
H	Činný spád
H_2	Spád v kole
E_v	Energie kinetická
m	Hmotnost vody
H	Výškový rozdíl
P	Tlak
ρ	Měrná hmotnost vody
v	Rychlost
P	Výkon
Q	Objemový průtok vody
P_a	Užitečný výkon na svorkách

Hu	Užitečný spád
η_t	Účinnost turbíny
η_a	Účinnost hydroalternátoru
A	Vyrobená elektrická energie
V _o	Objem vody přes turbínu
P _d	Minimální výkon vodní elektrárny
K	Koeficient denního využití
η	Účinnost přečerpávací elektrárny
E _t	Energie získaná při turbínovém provozu
E _č	Energie spotřebovaná na čerpání vody do horní nádrže
H	Činný spád

Úvod

V dnešní době je zapotřebí hledat nové alternativní energetické zdroje a snažit se zlepšit obnovitelné zdroje, které již známe. Jedním z neustále se obnovujících zdrojů je vodní energie. Nejčastěji se využívá vodní energie k přeměně na energii elektrickou. Tento způsob, kterým energii získáváme, se nám jeví jako ekonomicky nejvýhodnější, přičemž je navíc ekologický.

Ve dvacátém století poznamenala reliéf krajiny výstavba velkých vodních děl, jejichž realizace nebyla ve většině případů zcela nutná. To je důvodem, proč se v dnešní době vracíme k malým vodním elektrárnám se zaručeným výkonem. Veškeré malé vodní elektrárny představují v souhrnu velký energetický zdroj. Tím nám možná ušetří na spotřebě mnoha tuhých, kapalných a plyných paliv, jejichž zpracování na výrobu elektrické energie velice škodí životnímu prostředí.

Vodní energie je nejdéle využívaný zdroj energie. Rozvoj této techniky se na dlouhá léta zastavil a její efektivnost se zvyšovala jen velikostí vodních kol. První přetlaková turbína byla vyrobena v roce 1827, Francisova turbína v roce 1847, Peltonova turbína v roce 1880 a Kaplanova turbína v roce 1918. První vodní elektrárna byla v provozu v roce 1896 na Niagaře v USA.[1]

Tato práce si klade za cíl navrhnout rekonstrukci malé vodní elektrárny (dále jen MVE) v Prešticích. Obsahem rekonstrukce bude pouze strojní část, a to turbína a generátor. Samotný návrh je pak zkoumán nejen po technické stránce, ale také z hlediska ekonomické návratnosti.

1. Hydroenergetický potenciál ČR

Větší část hydroenergetického potenciálu, kterou budeme moci ještě využít, je soustředěna v menších tocích. Pro výstavbu velkých elektráren VE nejsou už k dispozici příznivé podmínky. V úvahu můžeme brát pouze přečerpávací elektrárny (PVE).

Největší rozvoj hydroenergetiky v České republice nastal v roce 1990. Došlo tak k velkému posunu využití vodních toků.[1]

1.1. Hydroenergetický potenciál

Vodní toky v České republice jsou řízeny pěti správami. Jsou to: Povodí Labe, Vltavy, Ohře, Moravy a Odry. Do roku 2000 byly akciové společnosti, ale od roku 2001 se staly státními podniky. Řídí veškerou legislativu provozu, využívání vodních toků v povodí těchto řek. V České republice je hydroenergetický potenciál využíván nerovnoměrně, je to způsobeno právě hydroenergetickými podmínkami.[1]

POVODÍ	VÝKON (MW)	VÝROBA (GWh/rok)
Labe	114	420
Vltava	164	430
Ohře	78	300
Odra	56	100
Morava	100	250
CELKEM	512	1500

Tabulka 1: Hydroenergetický potenciál v ČR do 10 MW [1]

2. Vodní elektrárny

Velká část energie vod je získaná z vodních toků. Zdrojem této energie jsou atmosférické srážky. Energii vody můžeme využít buď prouděním (energie kinetická) a nebo jejího tlaku (energie potenciální) nebo využití těchto energií současně. Potenciální energie je vyjádřena vztahem $E_h = m \times g \times H$ nebo tlaková $E_p = m \times \frac{P}{\rho}$. Kinetická energie je vyjádřena

vztahem $E_v = \frac{1}{2} \times m \times v^2$. Výkon vodního toku lze určit ze vztahu: $P = 9.81 \times Q \times H$.

Užitečný výkon na svorkách alternátoru vodní elektrárny určíme ze vztahu:

$$P_a = 9.81 \times Q \times H_u \times \eta_t \times \eta_a \text{ a vyrobenou energii získáme ze vztahu: } A = \frac{Q \times H_u \times \eta_t \times \eta_a}{367.2}.$$

$$\text{K výrobě 1 kWh je zapotřebí přepustit přes turbínu objem vody: } V_o = \frac{367.2}{H_u \times \eta_t \times \eta_a}$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že elektrická energie ve vodní elektrárně při spádu H_u je závislá na množství protékané vody, která je daná poměrem odtoku řeky.

Určitá volnost je ve volbě výkonu, která bude určovat využití vody během dne. Z toho nám vychází, že minimální výkon vodní elektrárny P_d bude takový, který nám zajistí využití

celkového průtoku při práci po dobu 24 h. Výkon vodní elektrárny $P_d = \frac{A}{24}$ by byl však málo

účinný a umožňoval by pouze výrobu energie v základní části denního diagramu zatížení.

Jelikož při výstavbě vodních elektráren doplňkové pořizovací náklady nad výkon P_d jsou malé, tedy tvoří minimální podíl na celkovém rozpočtu ceny vodního díla, volíme výkon větší

a to $P_i = \frac{A}{24 \times k}$, kde k - je koeficient denního využití výkonu vodní elektrárny ($k < 1$). Tato

velikost musí být určena jak podle výkonové charakteristiky elektrizační soustavy, tak i podle

pořizovacích nákladů spojených se zvyšováním výkonu elektrárny. Doba ročního využití je

určena velikostí instalovaného výkonu elektrárny při určitých hydrologických poměrech:

4 000 ÷ 7 000 h - průtočné vodní elektrárny

1 500 ÷ 3 000 h - akumulární vodní elektrárny

1 000 ÷ 1 500 h - přečerpávací vodní elektrárny

[2]

2.1. Rozdělení vodních elektráren

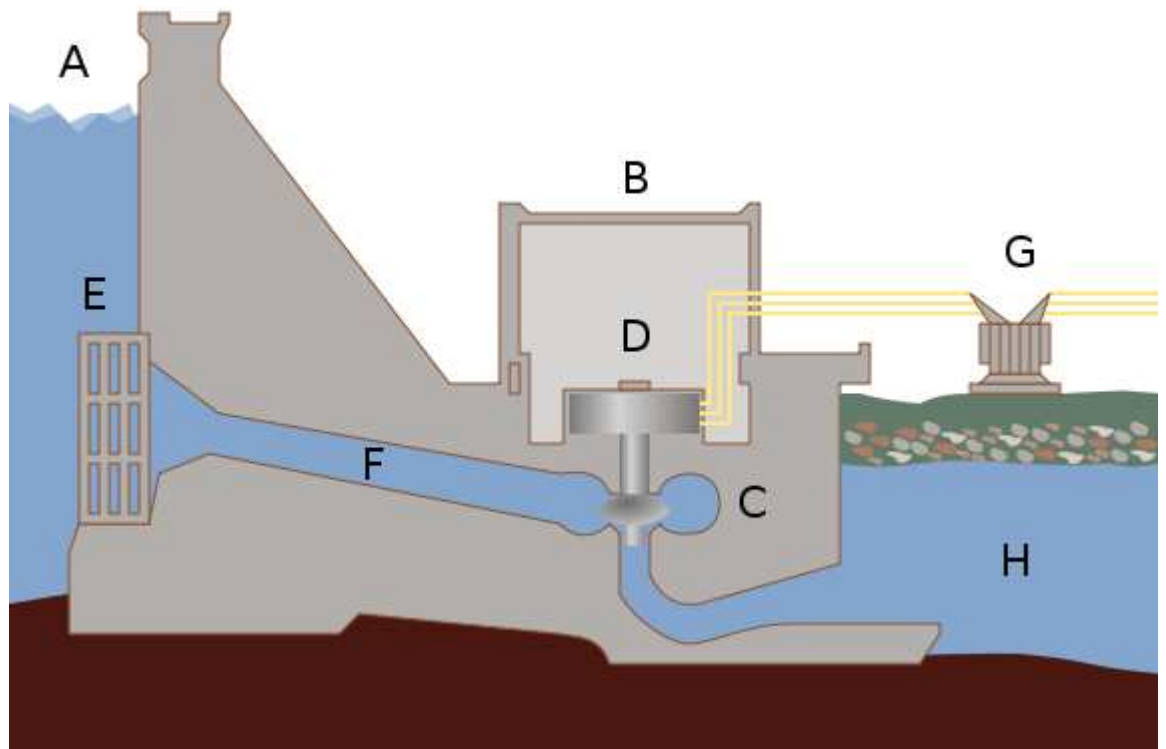
Vodní elektrárny rozdělujeme na přehradové, jezové, derivační, přečerpávací a přílivové. Rozdělujeme je také podle výškového spádu na nízkotlaké se spádem 25 m, středotlaké a vysokotlaké 50 m. Můžeme je rozdělovat i podle způsobu provozu na průtočné bez akumulace (pracují v základním pásu denního diagramu zatížení) a regulační (akumuláční) s přirozenou nebo umělou akumulací (pracují ve špičkové nebo pološpičkové části denního diagramu zatížení).

Většina vodních děl má buď všechny, nebo jen určité části objektů: vtokový objekt s přepadem, přívodní zařízení (náhon, potrubí, štola), odpadové zařízení (otevřené koryto nebo štola), nebo zvláštní provozní zařízení (stroje na čištění česlic, uzávěry, vyrovnávací komory). Výstavba vodních děl mimo vodních elektráren má mimořádný celostátní význam pro regulaci vodních toků a hospodaření s vodou.

Cílem využívání vodní energie je snaha využít celého vodního toku, proto se budují vodní elektrárny za sebou, čímž je vytvářena kaskáda hydroenergetických děl. Kaskády se mohou budovat z vodních elektráren s vysokou hladinou, derivačních i přehradově derivačních. Situování elektráren na toku souvisí s užitečným spádem a jejich postavení se navrhuje tak, aby se plně využil veškerý spád toku. Jednotlivé nádrže jsou umístěny a dimenzovány tak, aby bylo umožněno využití plného spádu při co nejnižších pořizovacích nákladech. To jsou pouze hlediska energetická. Musíme ale respektovat i hlediska vodohospodářská celostátního významu. To jsou např. škody záplavami, opatření průmyslové a užitkové vody, zavlažování. Dále musíme dodržet podmínky geologické a topografické. Při výstavbě vodních elektráren musí platit tyto obecné zásady: pokud máme možnost výběru lokality, dáváme přednost výstavbě na velkých vodních tocích a stavíme elektrárny na profilu toku tak, aby byl využit celkový spád toku každé elektrárny, který má být ekonomicky výhodný. Každá elektrárna má instalovaný výkon ekonomicky uplatněný v pokrytí špičkové části denního diagramu zatížení v elektrizační soustavě. Důvod pro poslední požadavek je veliké využití vodní elektrárny k dosažení rychlého a hospodárného spouštění a odstavení soustrojí a rychlé změny výkonu pro potřeby regulace frekvence a výkonu v elektrické soustavě.[2]

2.1.1. Přehradové vodní elektrárny (akumulační)

Přehrady jsou nejčastěji stavěny z betonu nebo sypaných zemin, musejí být nepropustné a udržovat nejvyšší dovolenou výškovou horní hladinu a funkčnost. Objekty přehrady musí kdykoliv umožnit přepouštění nejvyššího průtoku vody bez překročení úrovně přípustného maximálního zvýšení horní hladiny vody.



Obrázek 1 Akumulační elektrárna [3]

- A - hladina přehradní nádrže
- B - budova elektrárny
- C - turbína, kolem ní rozváděcí kolo a pod ní odtokový kanál
- D - generátor na společné ose s turbínou
- E - česle a uzávěr
- F - přívodní kanál
- G - transformátor, napojující elektrárnu do rozvodné sítě
- H - odtok

Vodní elektrárna, která je vystavěna u přehrady, musí mít vtok k turbíně umístěn pod dolní hladinou užitečného prostoru. Jsou možné jedině tyto typy elektráren: přehradová, jejíž strojovna je buď celkově nebo částečně umístěna v tělese přehrady, a podpřehradová, která

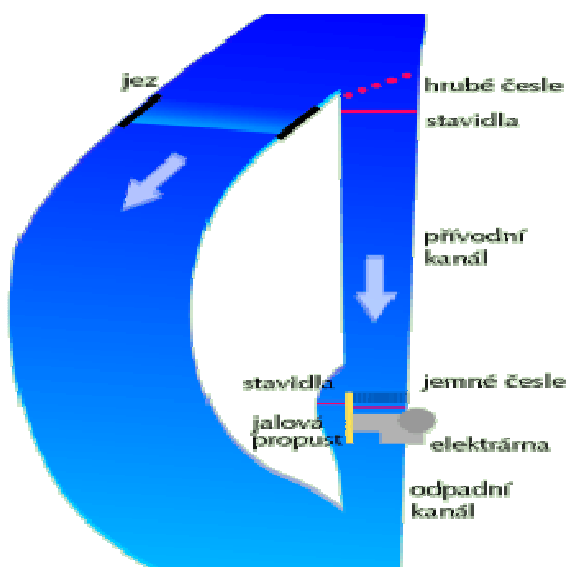
má strojovnu umístěnou pod přehradou, mimo přepadové bloky, pod přepady přehrady. Nejvíce užívaným typem je podpřehradová elektrárna umístěná těsně za přepady přehrady. [2]

2.1.2. Jezové elektrárny

Soustředěním spádu dosáhneme zvednutí horní hladiny vody jezem. Můžeme i umělým snížením hladiny dolní vody pod jezem. Toho docílíme vybagrováním dna řečiště. Nejčastěji využíváme nízkotlaké průtočné elektrárny. Tato volba nám umožňuje jen malou akumulaci vody. Tyto elektrárny jsou na řekách s malým sklonem dna a velkými průtoky vody. Strojovnu můžeme umístit buď těsně vedle jezu nebo přímo v tělese jezu, může to být například v pilířích nebo pod přepadem jezu. Pokud jí umístíme na širokou řeku, obvykle jsou strojovny umístěny v přímém pokračování jezu. Tyto budovy jezových elektráren se účastní na utváření spádu a v některých úsecích mohou nahradit i jez. Z tohoto důvodu se na budovy elektráren kladou stejné nároky jako na jez. [2]

2.1.3. Derivační vodní elektrárna

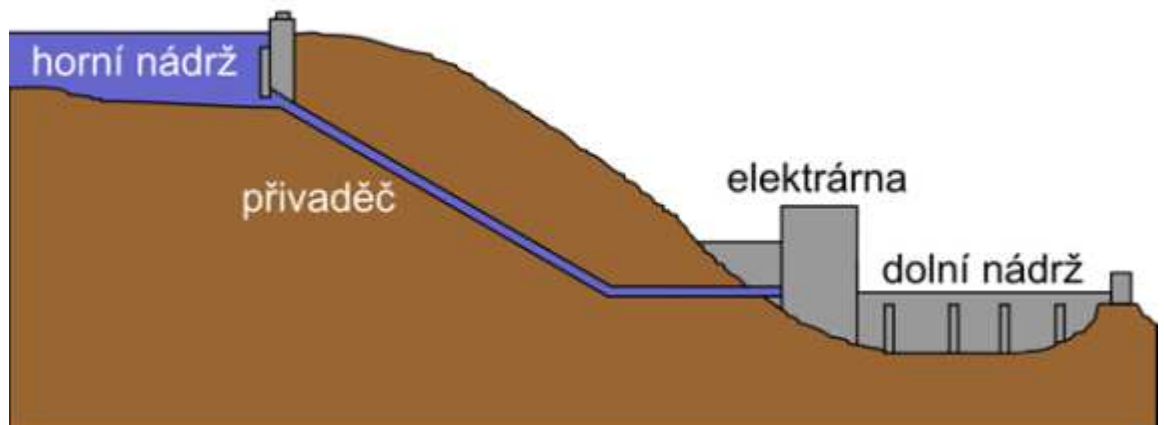
Cesta derivace může být vedena podél využívaného toku, zkracuje se oblouk využívaného toku, u derivačního kanálu vodní elektrárny může být beztlaková, tlaková a smíšená. Používají se také přehradově-derivační elektrárny. Zde se spád soustředí a voda akumuluje pomocí přehrady. Přívod vody se skládá z přivaděče s malým sklonem, který má tlakové potrubí s velkým sklonem a mezi nimi je umístěna vyrovnávací komora. [2]



Obrázek 2 Derivační elektrárna [4]

2.1.4. Přečerpávací vodní elektrárna

Akumulace mohou být primární, bez přečerpávacího zařízení, sekundární se zpětným přečerpáním vody do akumulací nádrže a nebo smíšené. Přečerpávací elektrárny s primární akumulací z hlediska akumulacích prostorů a hospodárnosti mají vždy výhodu před vodními elektrárnami se sekundární akumulací, u kterých lze vybudovat umělou horní akumulací nádrž. Tato elektrárna má nevýhodu, že lze dosáhnout pouze omezených prostorů. Proto je velice důležité využít obsah nádrže co nejúčinněji při největším možném spádu.



Obrázek 3 Schéma přečerpávací vodní elektrárny [5]

Pro vystavění a dosažení optimální účinnosti přečerpávací vodní elektrárny je nutno splnit tyto hlavní předpoklady:

1. dosáhnout co největšího užitečného obsahu horní akumulací nádrže
2. využít co nejvyššího spádu při minimální délce přivaděče
3. volba nejvýhodnějších parametrů instalovaných strojů z hlediska průtoku, výkonu a příkonu
4. umístění elektrárny v co nejmenší vzdálenosti od spotřeby elektrické energie při špičkovém zatížení s důrazem na ztráty a provozní bezpečnost přenosu elektrické energie[2]

2.2. Účinnost přečerpávacích vodních elektráren

Díky zdokonalené konstrukci strojů o velkých jednotkových výkonech lze dosáhnout účinnosti od 70 do 75 %. Energetickou bilanci provádíme k vstupnímu transformátoru

vysokého napětí. Účinnost je určena vztahem $\eta = \frac{E_t}{E_c}$

Při celkovém hodnocení účinnosti přečerpávací elektrárny musíme přihlížet i k dalším ztrátám. Máme ztráty přenosem elektrické energie ze základní elektrárny a z přenosu na místo spotřeby, musíme do toho zahrnout i ztráty jednotlivých strojů a potrubí. Posuzujeme-li přečerpávací elektrárnu z hlediska zhodnocení spotřeby primárních zdrojů energie, musíme si uvědomit funkčnost přečerpávací vodní elektrárny v ES. Ta nám zajišťuje vyrovnaní denního diagramu zatížení. Přečerpávací elektrárny jsou nejlepším a nejpružnějším zdrojem elektrické energie v elektrické soustavě pro rychlé starty a regulaci, jsou nejdůležitějším zdrojem pro najíždění z havarijního stavu v ES.[2]

3. Rozdělení vodních strojů

Vodní stroje jsou jedněmi z nejstarších strojů postavených člověkem. V nynější době jsou nejlepší vodní turbíny, které mají vysokou účinnost. Vodní turbíny jsou základní součástí vodní elektrárny a mají veliký vliv na ostatní zařízení, která jsou zapotřebí pro efektivní využívání vodní energie. [8]

- *vodní soustrojí* - je z vodního stroje a z hydroalternátoru nebo motorgenerátoru.
- *vodní stroj* - mění mechanickou energii vody na mechanickou energii tuhého tělesa nebo může převést mechanickou energii tělesa na mechanickou energii vody
- *vodní motor* - přeměňuje mechanickou energii vody na mechanickou energii rotující hřídele.
- *vodní čerpadlo* - mění mechanickou energii rotující hřídele na mechanickou energii vody.
- *vodní turbína* - je to rotační vodní motor, kterému předává voda svoji kinetickou energii na jeho lopatkové oběžné kolo.
- *vodní kolo* - je to nejjednodušší rotační vodní motor, který může využít veškerých složek mechanické energie vody k přeměně na energii mechanickou.
- *hydroalternátor* - je to vícepólový synchronní stroj, který přeměňuje mechanickou energii na elektrickou. Rotor hydroalternátoru je buzen stejnosměrným proudem, který nám vytvoří magnetické pole.
- *motorgenerátor* - je to vícepólový synchronní stroj s dvojitým vinutím, který

dokáže přeměnit mechanickou energii na elektrickou i opačně.[8]

3.1. Dělení turbín

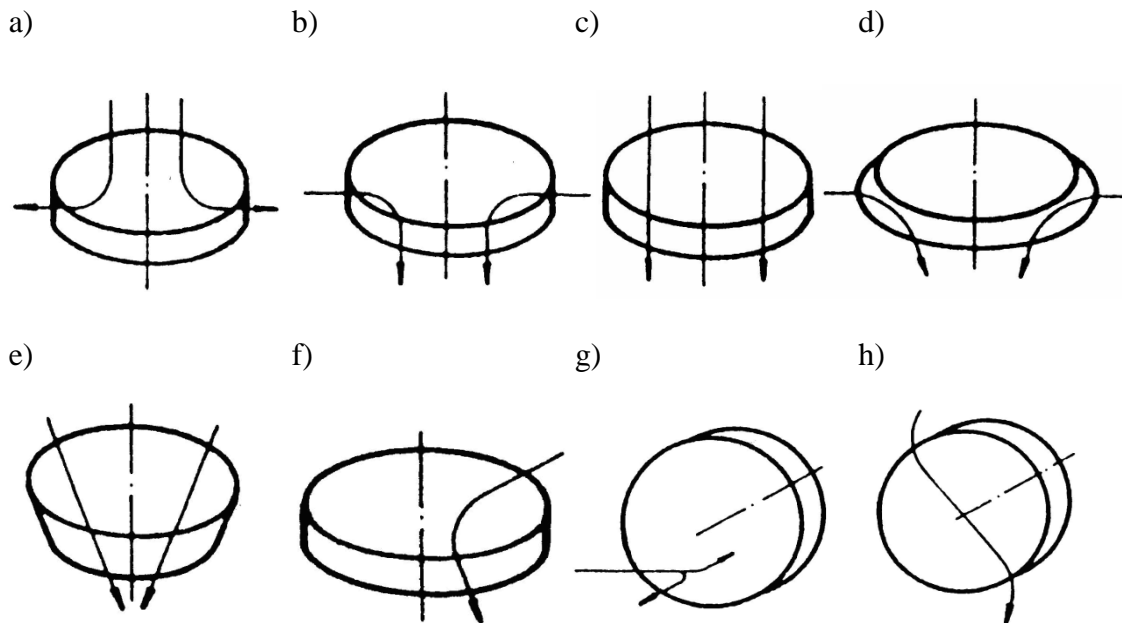
1. Turbíny dělíme dle způsobu přenosu energie vody na oběžné kolo.

- **Rovnotlaké turbíny:** v nich se mění tlaková energie vody v zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu v kinetickou měrnou energii. Proud vody působí na lopatky oběžného kola po celé délce stejným tlakem. Přitom nejsou průtočné kanály plně vyplněny a tím pádem musí být oběžné kolo umístěno nad hladinou dolní vody. Tento druh turbín se také nazývá akční. Patří sem Peltonova turbína nebo Bánkiho turbína.[8]
- **Přetlakové turbíny:** v těchto turbínách se v kanálech rozváděcího kola mění jen určitá část tlakové energie v kinetickou energii a zbylá energie se mění až při průchodu vody oběžným kolem. Tlak vody se zmenšuje od vstupu oběžného kola k výstupu a tím tam vznikne přetlak. Využití zbytku energie, která je odnášena proudem vody opouštějícím velkou rychlostí oběžné kolo, umožňuje savka turbíny.. Sáním savkami turbíny se nám plynule zmenší vytékající proud vody. Tento druh turbín nazýváme jako reakční, protože v kanálech oběžného kola dojde k reakčnímu působení. Patří sem Kaplanova, Francisova i Deriazova turbína.[8]

2. Dále můžeme turbíny dělit dle průtoku vody na oběžné kolo vzhledem k hřídeli turbíny:

- a) **radiální odstředivé:** s vnitřním vtokem vody, v nichž voda protéká oběžným kolem směrem od hřídele
- b) **radiální dostředivé:** mají vnější vtok vody, voda protéká oběžným kolem od hřídele
- c) **axiální:** voda protéká přes oběžné kolo ve stejné vzdálenosti od osy oběžného kola.
- d) **radiálně axiální:** voda proudí oběžným kolem ze začátku radiálně a poté, co se přiblíží k ose, se změní směr proudění na osový
- e) **diagonální:** voda protéká v šikmém směru k ose hřídele oběžného kola

- f) **se šikmým průtokem:** voda vstoupí z boční strany na oběžné kolo a vystoupí ve směru osy
- g) **tangenciální:** voda vstupuje v tangenciálním směru na lopaty oběžného kola
- h) **s dvojnásobným průtokem:** voda vstupuje na oběžné kolo dostředivě a vystupuje odstředivě.[8]



Rozdělení turbín dle průtoku vody oběžným kolem: a) centrifugální, b) centripetální, c) axiální, d) radiálně-axiální, e) diagonální, f) se šikmým průtokem, g) tangenciální, h) s dvojnásobným průtokem

3. Dle polohy hřídele dělíme turbíny na

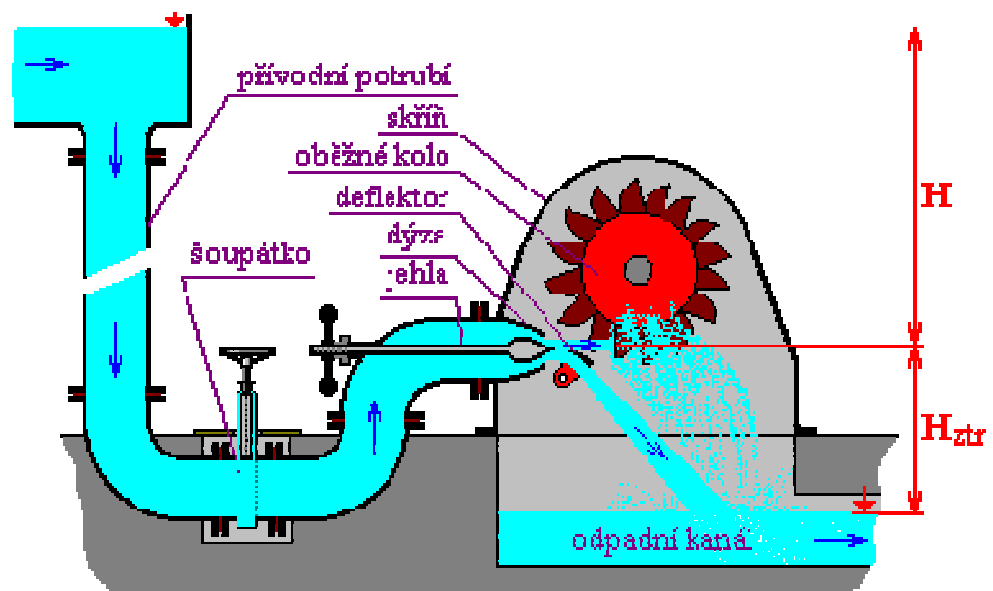
- **vertikální**
- **horizontální**
- **šikmé**

3.1.1. Peltonova turbína

Vodu přivádíme k turbíně potrubím s kruhovým průřezem, který vede k jedné nebo více dýzám. V dýze se veškerý spád vody přemění na pohybovou energii. Voda vstupuje

tangenciálně do oběžného kola, které je osazeno lžícovými lopatkami. Uprostřed lopatek je břit, který způsobuje rozdělení paprsku na dvě poloviny, čímž se nám otočí směr tekoucí vody zpět. Tato změna směru způsobí, že se předá energie oběžnému kolu. Vzájemným souběhem rychlosti vody tekoucí po lopatce při současném otáčení oběžného kola dochází k tomu, že voda opouští lopatky minimální rychlosti a volně odchází z obou stran a padá do potrubí ven.

Peltonovu turbínu používáme na spády nad 30 m. Výkon oběžného kola limituje pevnost lopatek, jejich upevňovacích šroubů a také pevnost hřídele. Pro velké spády může turbína dosáhnout vysokých otáček a je tedy velice důležité brát v potaz její odstředivou sílu, která působí na lopatky. U větších průtoků je rozdělujeme na více strojů. [7]

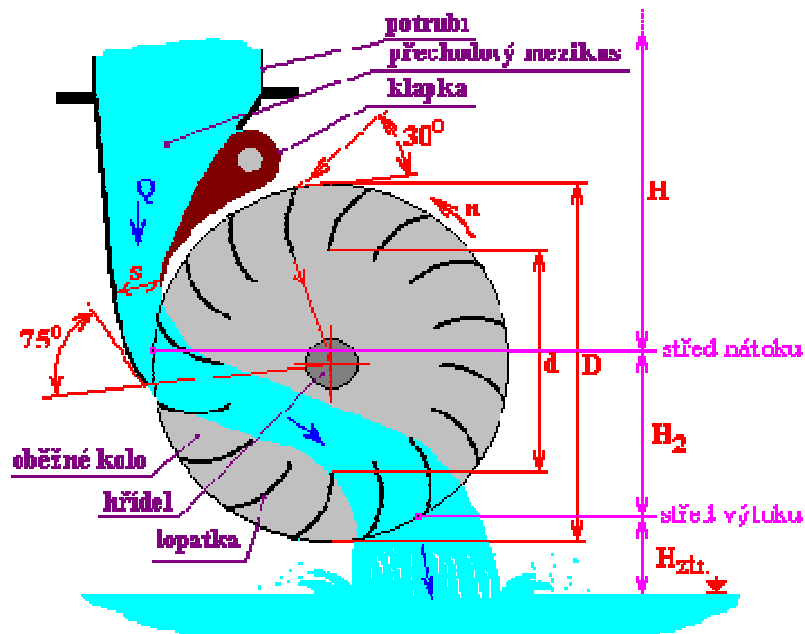


Obrázek 4 Peltonova turbína [6]

3.1.2. Bánkiho turbína

Vodu přivádíme k turbíně potrubím kruhového průřezu, ale před turbínou je umístěn mezikus, který má charakter obdélného průřezu. Regulační orgán se umísťuje na konec vstupního dílu, nejčastěji se používá klapka. Mezi klapkou a zakřivenou stěnou se celý spád vody přemění na energii pohybovou. Voda nám vstupuje tangenciálně na oběžné kolo, které je hustě osazeno dlouhými lopatkami. Snaha lopatek je odklonit směr tekoucí vody do středu kola k hřídeli. Tato změna způsobí předání energie oběžnému kolu. Důsledkem souběžných rychlostí hřídele turbíny s vytékající vodou nemíří vytékající paprsek na hřídel turbíny, ale

mine je volným prostorem. Poté vstupuje do lopatek na protější straně lopatkového věnce. Tím voda mění svůj směr a opět předává lopatkám další energii.[10]



Obrázek 5 Bankiho turbína [9]

3.1.3. Kaplanova turbína

Kaplanova turbína patří mezi nejčastěji používané hnací stroje ve vodních elektrárnách s malým spádem vody. Díky jejímu regulačnímu rozsahu lze docílit lepšího využití vodního toku. Nachází se u vodních elektráren typu jezová, derivační s otevřeným přivaděčem na menších spádech. Je to turbína horizontální a pohání především asynchronní generátory, ale můžeme ji použít i u synchronních generátorů, a to z důvodu, dobré regulovatelnosti.

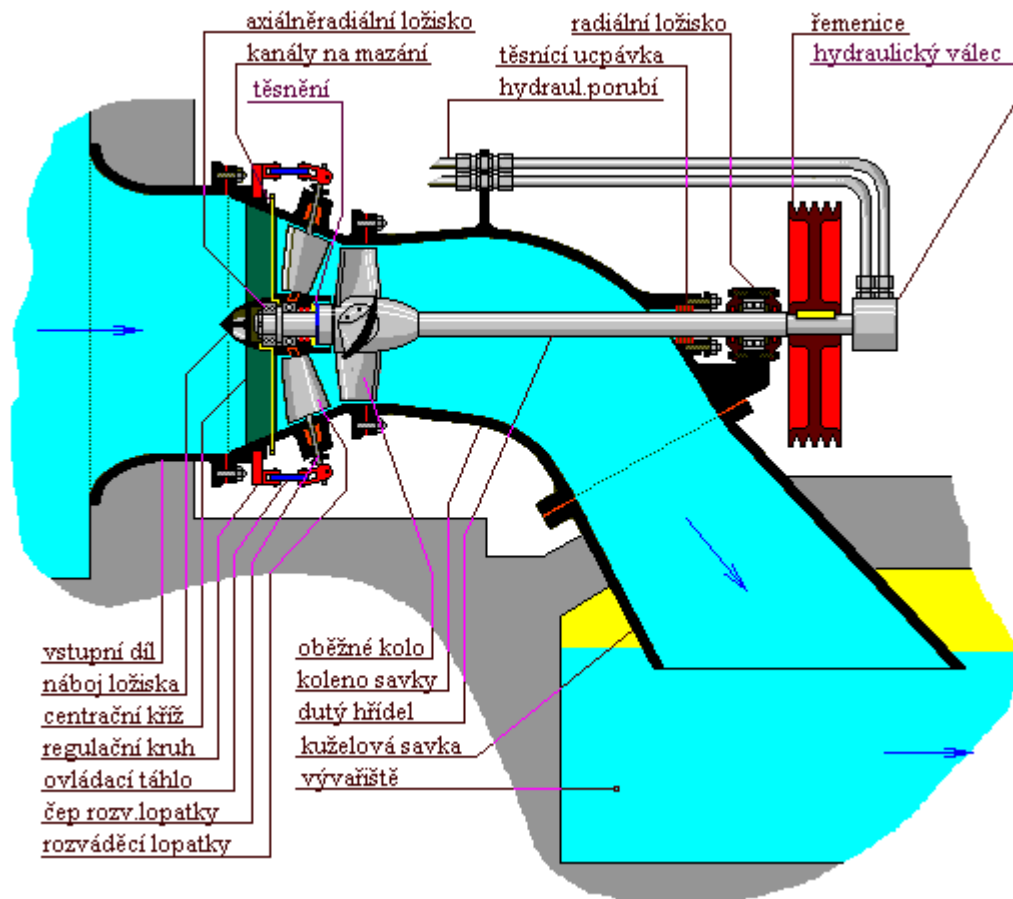
Díky jejímu technickému uspořádání lze využívat výškový spád od 1,5 do 5,5 m a průtok od 250 až do 6000 l/s, ale nejčastěji se s Kaplanovou turbínou setkáme na spádech o velikosti 2 až 4 m a při průtoku 500 až 3000 l/s. Jednou z výhod této turbíny jsou malé stavební náklady a také to, že nepotřebuje žádnou kašnu. Turbína nám umožňuje vodorovné vyvedení hřídele a to nám vnáší výhodu, že můžeme umístit generátor dostatečně vysoko a tím ho ochránit před případnou záplavou. Aby hřídel turbíny mohl snadno opustit těleso stroje, musí být savka turbíny esovitě zahnutá a to nám způsobí snížení účinnosti až o několik procent oproti provedení se savkou přímou. Spojení generátoru s turbínou je provedeno u malých elektráren pomocí řemene. U velkých elektráren je to pomocí ozubeného soukolí v uzavřené převodovce, nebo přímým spojením s generátorem, ale pouze u elektráren s

velkými spády, které dosahují vysokých otáček.

Veliká výhoda tohoto soustrojí je malá stavební výška a tedy i výstavba v malých strojovnách jezových elektráren nebo v jezových pilířích. Regulovatelný rozvaděč ve spolupráci s regulací oběžného kola umožní efektivní nastavení a využití průtoku vody ve velkém rozsahu. Můžeme téměř zastavit průtok vody strojem. Vstup do turbíny se osazuje havarijním uzávěrem, bývá nejčastěji stavidlo, u větších spádů je to klapka nebo hradící deska.

Jednou z nevýhod je značná mechanická náročnost a od toho se odvíjející vysoká pořizovací cena a vyšší náklady na údržbu. Proto tento typ turbíny instalujeme pouze do lokalit, které splňují hydrologický charakter. Do těchto lokalit patří elektrárny bez možnosti akumulace vody a do povodí, ve kterých během roku kolísá průtok vody a kde by použití jednodušších strojů přineslo velké ztráty.

Turbínu umístíme do spodní části strojovny a je přes přírubu spojena s přechodovým kusem, který nám zajistí přívod vody. Vodu přivádíme do difuzoru stroje, který se nám kuželovitě zužuje a tím se nám zrychlí průtok vody. Přivedená voda míjí centrální kříž, který nám zajišťuje držení hlavice ložiskového tělesa, a tím nám vstupuje na rozváděcí lopatky. Lopatky nám upraví směr a rychlost vody pro vstup do oběžného kola. Dále pokračuje do oběžného kola umístěného v nejužším průřezu, protože zde voda proudí největší rychlostí. V tomto místě je plášť kulovitě vyklenutý a to nám umožňuje měnit sklon lopatek oběžného kola. Počet lopatek se volí vzhledem jejich regulovatelnosti vždy sudý, nejčastěji se setkáváme s čtyřvrtulovou turbínou. Zakřivení lopatek turbíny je uzpůsobeno tak, aby se mezilopátkové kanály ve směru proudění zužovaly. Voda, která dopadá na lopatky, musí zvyšovat rychlost a měnit směr, to nám způsobí reakční sílu, která uvádí oběžné kolo do pohybu. Voda poté opouští oběžné kolo se značnou zbytkovou energií. Zbytkovou energii dále využívá savka turbíny a přeměňuje ji na zápornou tlakovou energii, která nám podpoří proudění průtoku vody strojem. Turbínu musíme regulovat vždy současně s rozváděcími lopatkami i se sklonem lopatek oběžného kola, tak abychom docílili toho, že proudění vody na výstupu z oběžného kola je rovnoběžné s hřídelem a tedy bez parazitní rotace. Jinak bude v savce docházet k velkým ztrátám a ke snížení účinnosti. Savka může končit ve vývařišti, její okraj musí být i při zastávce pod hladinou vody.[11]



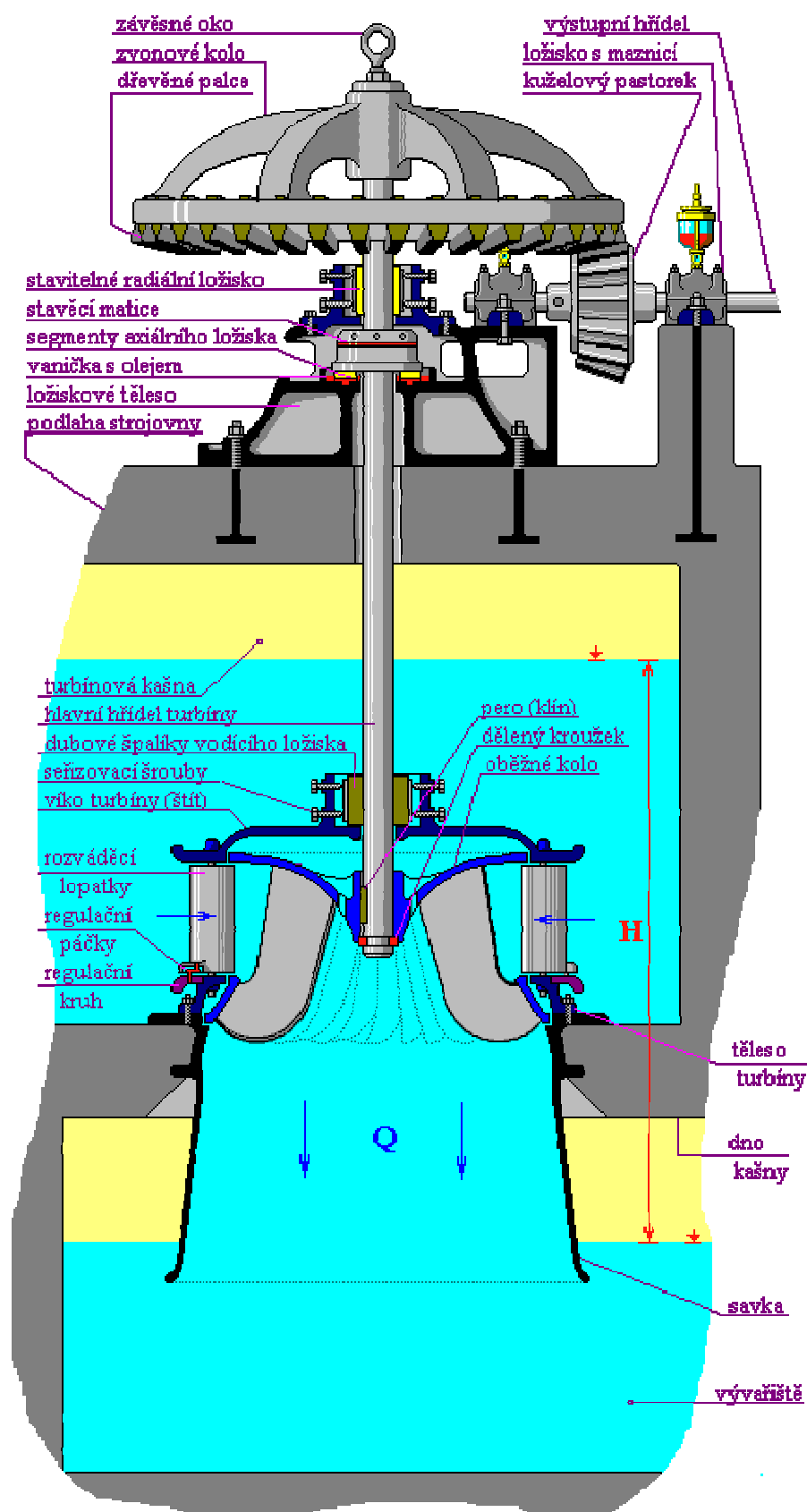
Obrázek 6 Kaplanova turbína [11]

3.1.4. Francisova vertikální turbína

V minulosti byla tato turbína hodně rozšířeným přetlakovým vodním motorem. Mohli jsme se s ní setkat na vodních dílech typu jezová a derivační s otevřeným přivaděčem. Turbína byla používána jako hlavní mechanický pohon větších mlýnů, městských elektráren a průmyslových závodů. V dnešní době jsou tyto stroje po rekonstrukci a setkáváme se s nimi pouze u vodních elektráren, které vyrábějí desítky až stovky kilowattů.

Tato turbína se používá při spádu od 1,5 m do 4 - 5 m při průtocích vody od 600 až 8000 l/s. Pokud srovnáme horizontální a vertikální turbínu, má vertikální turbína o trochu větší účinnost kvůli přímé savce, ale to se ztratí v převodu. Při menším spádu za ozubeným převodem následuje druhý řemenový převod. Při modernizaci si někdy vystačíme pouze s řemenovým převodem na vertikálně postavený pomaloběžný generátor. U velkých turbín se setkáváme s generátory, které jsou mnohopólové. U menších a starších turbín se můžeme setkat s oběžným kolem normaloběžným, ale většina strojů je konstruována s rychloběžným

kolem.[12]



Obrázek 7 Francisova vertikální turbína [12]

3.1.5. Francisova horizontální turbína

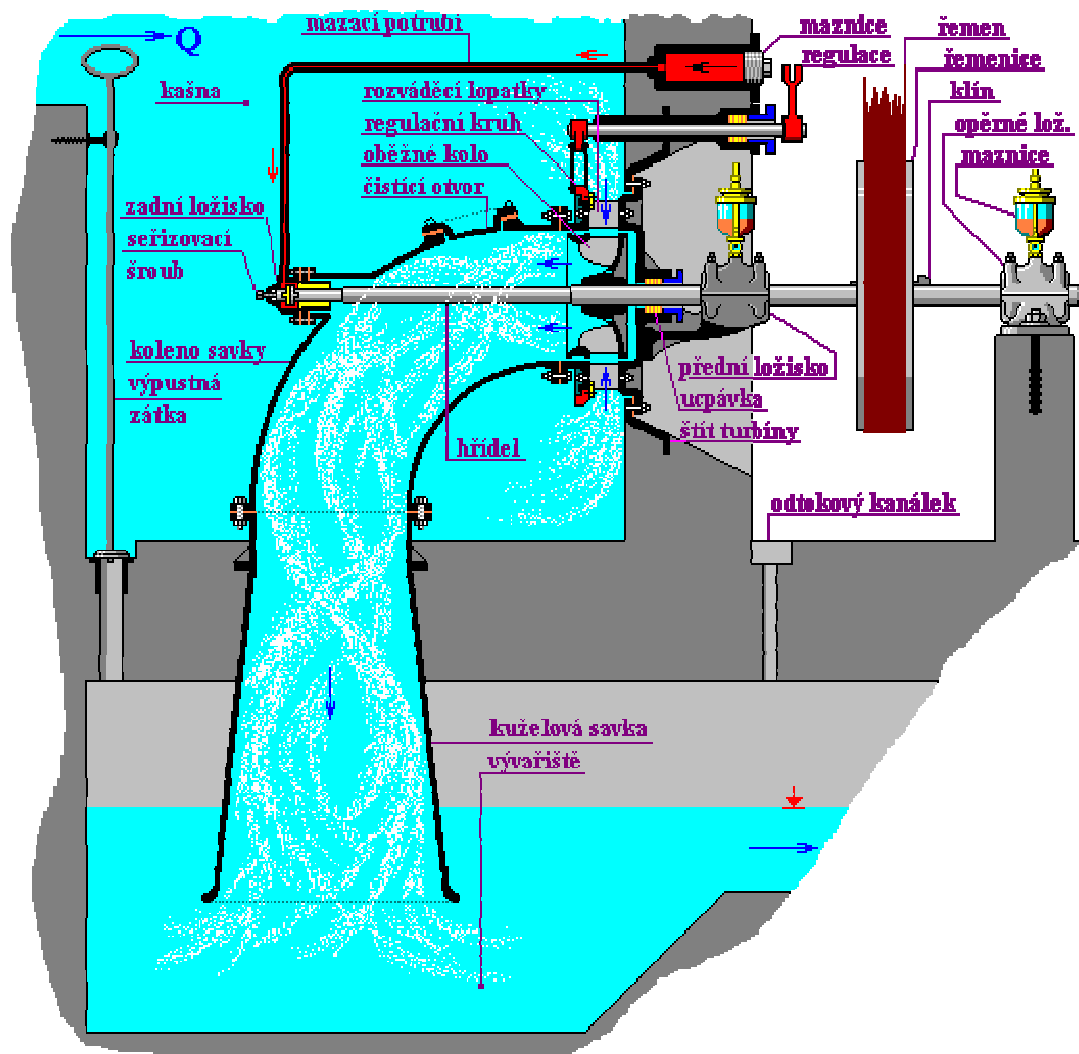
Horizontální kašnová turbína je jedním z nejrozšířenějších přetlakových vodních motorů, které se používaly v minulosti. Byla instalována na vodní díla typu derivační s otevřeným přivaděčem nebo tlakovým přivaděčem s otevřenou kašnou. Konstruovaly se v typizovaných řadách, které byly odstupňované podle průměru oběžného kola. Výrobní řadu jsme zvolili, na každý spád a průtok se našla vhodná turbína nebo kombinace dvou turbín. Nejčastěji se používaly jako hlavní pohon mlýnů, ale také byly používány jako doplňkové pohony mlýnů a pil. V dnešní době se s nimi setkáváme na starších vodních elektrárnách.

Tento mechanismus se používá při spádech 2 až 8 metrů a při průtoku od 100 do 2000 l/s. Vertikální turbína v porovnání s horizontální turbínou má menší účinnost, ta má oproti vertikální jistou výhodu - horizontální hřídel, která vychází přímo do prostoru strojovny a tím nám usnadní převody. Proto můžeme využít jen řemenový převod, a tak se nám celková účinnost vyrovná. S řemenovým převodem se setkáváme u normáloběžných turbín. Generátor, který je spojený s hřídelí, je pouze u rychloběžných turbín.

Turbína je vložena ve stěně turbínové kašny, která je naplněna vodou. Osa turbíny je dostatečně vysoko nad spodní hladinou vody, aby nedošlo k zaplavení stroje. Voda vytéká z kašny na regulované lopatky, které jsou po celém obvodu turbíny. Voda při průtoku rozváděcími lopatkami získává potřebnou rychlost a směr pro vstup do oběžného kola. V oběžném kole předává svoji energii a poté se odvede do odpadního kanálu. Protože máme turbínu vysoko nad hladinou spodní vody a k tomu uloženou ve stěně kašny, řešíme odpadní potrubí za pomoci kolenové savky. Ta je kruhového průřezu a je horizontálně uložena. Pokud turbína nepracuje, a to může být nedostatkem potřebného průtoku, dojde za oběžným kolem k rotaci vodního sloupce. Protože nechceme, aby docházelo k velkým ztrátám, nesmí savka působit tomuto proudění velký odpor. Z toho důvodu má koleno savky velký poloměr ohybu, aby v něm mohl sloupec vody bez problému rotovat. Máme dva způsoby, kudy můžeme vést koleno savky, a to buď uvnitř kašny, pak tedy mluvíme o savce mokré, nebo strojovnou, to mluvíme o savce suché.[13]

3.1.5.1. Francisova horizontální turbína s mokrou savkou

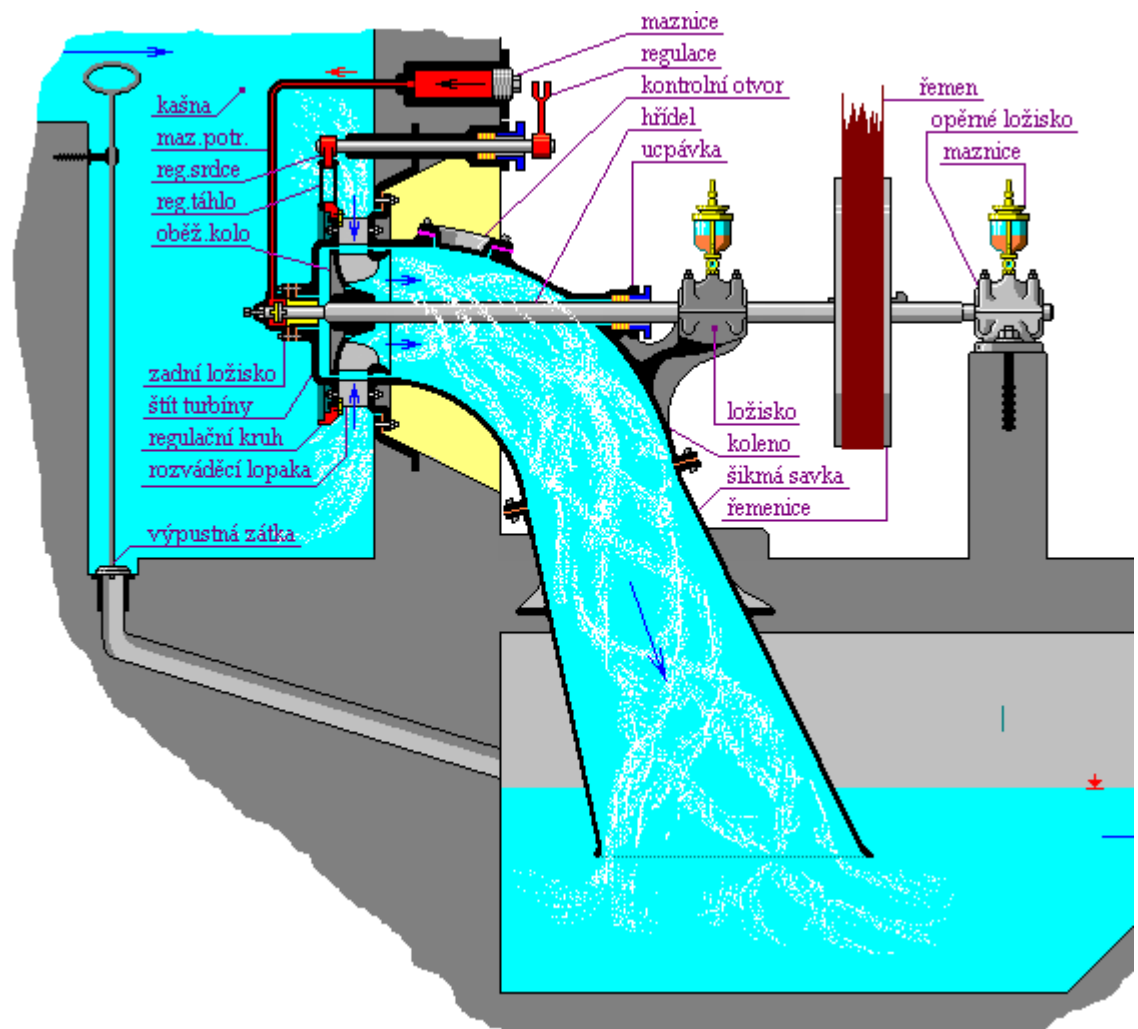
Pro toto zařízení je potřebné udělat dostatečně velké vývřiště pod vlastní kašnou. Kašna musí být postavena mimo strojovnu. Nejčastěji ji můžeme nalézt tam, kde byla kašna vybudována, a to v prostoru náhonu vodního kola, tzv. lednice, kde je dostačující hloubka. Pokud máme nestabilní podloží nebo je kašna až příliš hluboká, nepoužívá se. Velkou výhodou je, že turbína zabírá málo místa ve strojovně.[13]



Obrázek 8 horizontální turbína s mokrou savkou [13]

3.1.5.2. Francisova horizontální turbína se suchou savkou

Pokud nemůže být pod kašnou vývaňišť, řešíme to pomocí suché savky. Výhodné použití je na místech, kde odpadní kanál vede pod strojovnou. Kašna může být hlubší a menší, protože její dno je stabilní. Toto použití se nachází u strojoven, které jsou postavené blízko hrází. Další výhodou je, že turbína v kašně zabírá málo místa, a tak zůstává dostatek místa na montážní práce. Při čištění stačí pouze odmontovat štít v kašně, není tedy zapotřebí rozmontovat celý stroj. Jednou z nevýhod je, že koleno savky zasahuje přímo do strojovny a také turbína musí mít vždy jedno ložisko, které pracuje pod vodou. Další nevýhoda je snížení účinnosti tím, že hřídel přímo prochází savkou. Často se to vynahrazuje tak, že ústí savky jde šikmo do vývaňišť, nemusí tedy opisovat tak velký oblouk, a proto klade menší odpor.[13]



Obrázek 9 horizontální turbína se suchou savkou [13]

4. Generátory

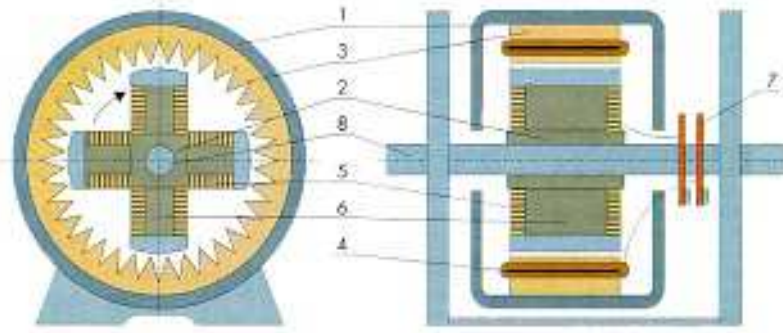
Generátory nám přeměňují mechanickou energii na elektrickou, pracují na základě elektromagnetické indukce. Generátory mohou být synchronní, asynchronní nebo stejnosměrné. Pokud nám generátory vyrábějí střídavý proud, mluvíme o alternátorech, a pokud stejnosměrný proud, mluvíme o dynamech.

4.1. Synchronní alternátor

Synchronní alternátory využívají točivé magnetické pole a tím vytvářejí třífázový střídavý proud. Třífázové alternátory jsou hlavním zdrojem elektrické energie. Alternátor se skládá z rotoru a statoru. Alternátor má třífázové vinutí na rotoru, tak zvané budící vinutí. Za pomoci turbíny roztáčíme rotor a vzniká nám točivé magnetické pole. Díky budícímu vinutí, ve kterém prochází stejnosměrný proud, vznikne na statoru za pomoci indukce trojfázové střídavé napětí. Třífázový střídavý proud začne proudit vinutím statoru, jakmile připojíme na alternátor zátěž. Alternátory dělíme dle zařízení, které je pohání, na turboalternátory a hydroalternátory. [14]

4.1.1. Konstrukce synchronního alternátoru

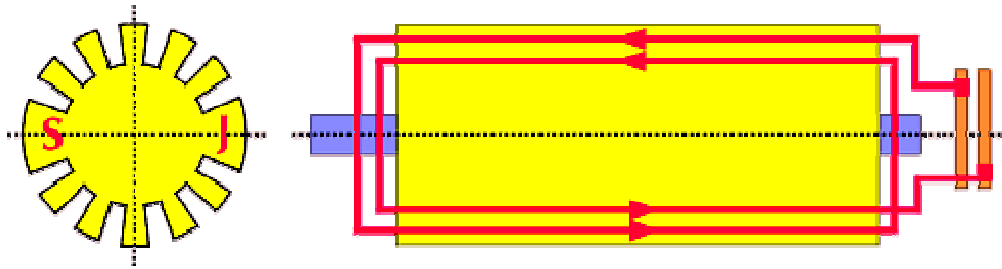
Ve statoru se nachází magnetický obvod, který je složen z izolovaných plechů. Plechy jsou izolované buď lakem nebo papírem. Jsou zde vytvořeny kanály, které slouží k chlazení alternátoru. Kanály proudí vzduch nebo voda, které odvádějí ztrátové teplo z alternátoru. Na vnitřní straně plechů jsou drážky s měděnými vodiči, které vytvářejí třífázové vinutí. Začátky vinutí jsou připojeny na svorky alternátoru. Ze svorek odebíráme elektrický proud, který dál pokračuje do rozvodny a ke spotřebitelům. Konce vinutí jsou spojeny do uzlu.



Obrázek 10 konstrukce synchronního stroje [14]

- 1) stator
- 2) rotor
- 3) magnetický obvod statoru
- 4) statorové vinutí
- 5) rotorové vinutí
- 6) póly
- 7) sběrací kroužky
- 8) hřídel

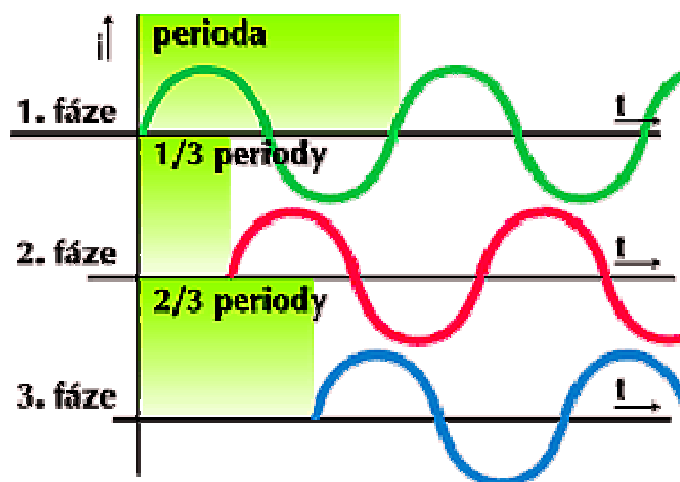
Dle konstrukce rotoru rozlišujeme synchronní stroje s vyniklými póly a nebo s hladkým rotorem. Se synchronními stroji s hladkým rotorem se setkáváme u tepelných elektráren. Jelikož turboalternátor dosahuje vysokých otáček 3000/min, dochází k velkým odstředivým silám. Vzhledem k velkému magnetickému odporu vzduchu je vzduchová mezera mezi statorem a rotorem řádově milimetry. Rotor se vyrábí z jednoho kusu oceli, má tvar válce s podélnými drážkami po obvodu. Zabírají přibližně 2/3 obvodu a jsou souměrně rozloženy v obvodu rotoru. Maximální průměr rotoru turboalternátoru je 1 m. Budící vinutí je uloženo v drážkách rotoru, které napájíme stejnosměrným proudem. Vinutí statoru a rotoru je izolováno např. bavlnou, textilní páskou nebo papírem. Rotor a stator jsou impregnovány izolačním lakem. Rotory turboalternátorů jsou nejčastěji dvoupólové. [14]



Obrázek 11 Hladký rotor turboalternátoru [14]

Rotory s vyniklými póly se používají u hydroalternátorů. Mají velký průměr a malou délku, neboť hydroalternátory mají malé otáčky. Na hřídeli rotoru je magnetové kolo s určitým počtem pólů. Může jich být 4 až 80. Na každém pólu je umístěno budící vinutí napájené stejnosměrným proudem. Budící cívky zapojujeme tak, aby střídavě vznikal severní a jižní pól. Hydroalternátor se od turboalternátoru liší velkým počtem pólů, velkým průměrem a malou délkou. Na hřídeli rotoru jsou upevněny sběrací kroužky, na které jsou připojena budící vinutí. Stejnosměrný budící proud se přivádí na budící vinutí pomocí kartáčů, které dosedají na sběrací kroužky. Ten pak vytváří stejnosměrné magnetické pole. U velkých hydroalternátorů bývá ještě tlumič, který zamezí kývání rotoru vznikajícímu rázovými proudy. Póly tlumiče jsou vždy z plechů, vinutí je z měděných nebo bronzových tyčí. Synchronní alternátor potřebuje pro svoji funkci budič, který napájí budící vinutí stejnosměrným proudem, který vyvolá na rotoru magnetické pole. Jako nejčastější budiče se používají usměrňovače nebo dynamo, která jsou na společné hřídeli s alternátorem. Chladí se pomocí vzduchu nebo destilované vody.

Pokud budícím vinutím prochází stejnosměrný proud, vzniká na rotoru magnetické pole. Jakmile roztáčíme rotor, magnetické pole rotoru začne protínat vinutí na statoru a začne se v něm indukovat střídavé napětí. Na svorkách alternátoru je možné naměřit střídavé napětí. Jakmile připojíme k alternátoru nějaký spotřebič, začne obvodem procházet střídavý proud a vzniká nám točivé magnetické pole. Alternátory nám vyrábějí střídavé napětí a proud s frekvencí 50 Hz. [14]



Obrázek 12 Třífázový proud v čase [14]

Alternátory na síti připojujeme paralelně a z toho vyplývá, že musejí mít stejnou frekvenci a stejně velké napětí ve stejné fázi. Napětí sítě a alternátoru musí být stejná a též stejný sled fází. Měření se provádí za pomoci menšího asynchronního motoru, který se připojí na síť a pak na svorky alternátoru. Pokud se asynchronní motor otáčí ve stejném směru, je dosaženo stejného sledu fází. Napětí v elektrické síti musí být konstantní. Napětí na alternátoru regulujeme pomocí budícího vinutí. Shoda frekvencí se dosahuje regulací otáček. Po splnění veškerých požadavků je možné přifázovat alternátor k síti. [14]

4.2. Asynchronní alternátor

S asynchronním alternátorem se nejčastěji můžeme setkat v malých vodních elektrárnách. Stator asynchronního generátoru se skládá z plechů s drážkami, ve kterých je uloženo trojfázové vinutí. Rotor se skládá z plechů a v drážkách má klecové vinutí spojené nakrátko. Konstrukce je shodná s 3 fázovým asynchronním motorem. Jakmile turbína zvýší svoji rychlost, zvětší se rychlost otáčení rotoru. Vznikají tím nadsynchronní otáčky rotoru, začne předbíhat točivé magnetické pole a alternátor začne dodávat elektrickou energii do sítě. U vodních elektráren závisí množství dodávané energie do sítě pouze na průtoku vody. S asynchronními motory se můžeme setkat u výtahů, při cestě dolů se asynchronní motor dostane do generátorového chodu a vrací energii zpět do sítě. Velkou výhodou asynchronního generátoru je jednoduchá konstrukce, spolehlivost při provozu a konstantní otáčky. Turbína tedy nepotřebuje regulátor otáček. Dle rotoru můžeme rozdělovat asynchronní stroje na stroje

kroužkové a stroje nakrátko. Rotor, který má kroužky, se nepoužívá jako alternátor. Má trojfázové vinutí zapojené do hvězdy a sběrací ústrojí jsou uhlíkové kartáče, které dosedají na kroužky. [14]

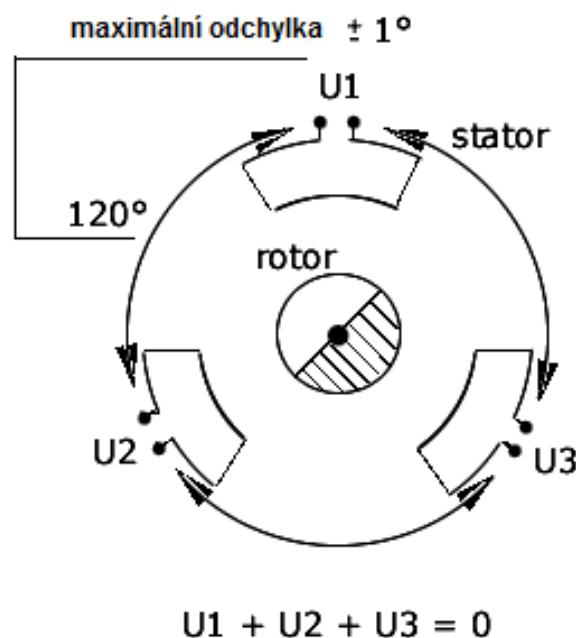
4.2.1. Třífázový proud

V alternátoru se vyrábí napětí jak sdružené, tak i fázové.

- malé alternátory – nacházejí se v automobilech (12 a 24 V) a mobilní elektrocentrále
- velké alternátory - elektrárny s velkým výkonem od 1 až 1000 MW.

Stator má tři cívky, které jsou od sebe natočeny o 120° . V každé cívce se indukuje proud, který je fázově posunut o 120° . Obvykle rozeznáváme dvě zapojení třífázového proudu, a to buď do hvězdy (Y) a nebo do trojúhelníka (D).

- hvězda (Y) - zapojují se domácnosti a malé průmysly
- trojúhelník (D) - zapojují se průmysly a elektrická zařízení o velkých výkonech, například: elektromotory a pece (1000 kW)



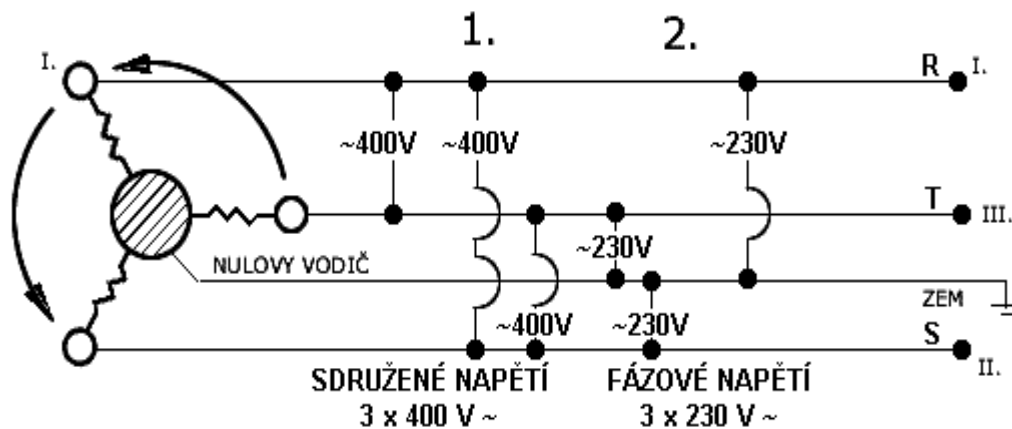
Obrázek 13 fázorové posunutí cívek [14]

Standardní 3 fázové motory mají uspořádanou svorkovnici tak, že lze zapojit jak do trojúhelníka (D), tak i do hvězdy (Y).

V síti se setkáváme s napětím $3 \times 230/400 \text{ V}$ a s frekvencí 50 Hz. Magnetické pole se tedy otáčí dle schémat 3000 otč./min. Nezatížený motor tedy má 3000 otč./min., protože dochází ke skluzu magnetického pole rotoru a statoru. Tím se tedy bude točit motor pomaleji. V praxi se můžeme setkat s asynchronním motorem, který bude mít štítkové hodnoty například 2,2 kW a otáčky 2880 otč./min. Jak můžeme vidět, tohle jsou otáčky při plném zatížení. Motory, které obsahují více cívek pro každou fázi, se budou točit pomaleji. Základní otáčky máme 3000 otč./min a lze je tedy dělit celým číslem, a tak dostáváme hodnoty otáček, které mohou být 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 otč./min.. S pomalejšími motory se v praxi setkáváme jen málokdy. Skutečná hodnota otáček díky skluzu je o 2 až 5 % menší.[14]

4.2.2. Zapojení do hvězdy

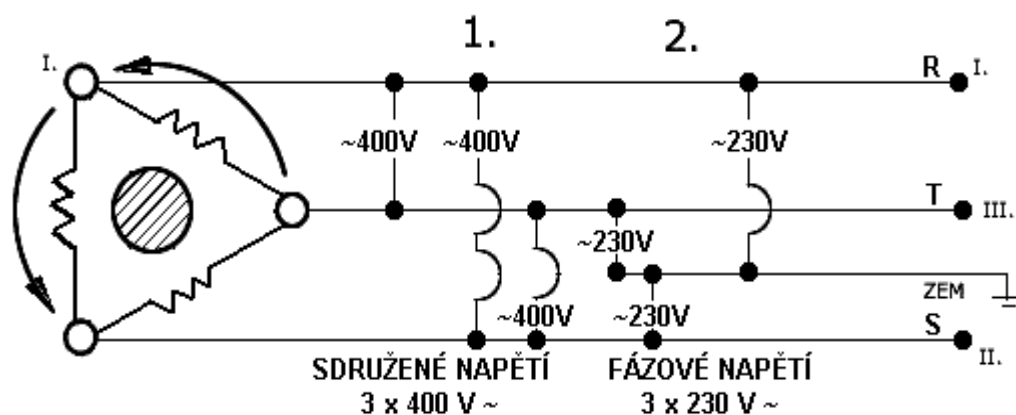
S ímto zapojením se můžeme setkat u 3 fázových alternátorů, transformátorů a u rozvodu NN. Při nerovnoměrném zatížení protékají nulovým vodičem vyrovnávací proudy.



Obrázek 14 zapojení do hvězdy[14]

4.2.3. Zapojení do trojúhelníka

Takto se zapojují motory na velký výkon. Když spouštíme motor s velkým výkonem, nejdříve ho spustíme do hvězdy. Až se motor rozběhne, přepneme ho do trojúhelníka. Děláme to z důvodu velké náběhové špičky.[14]



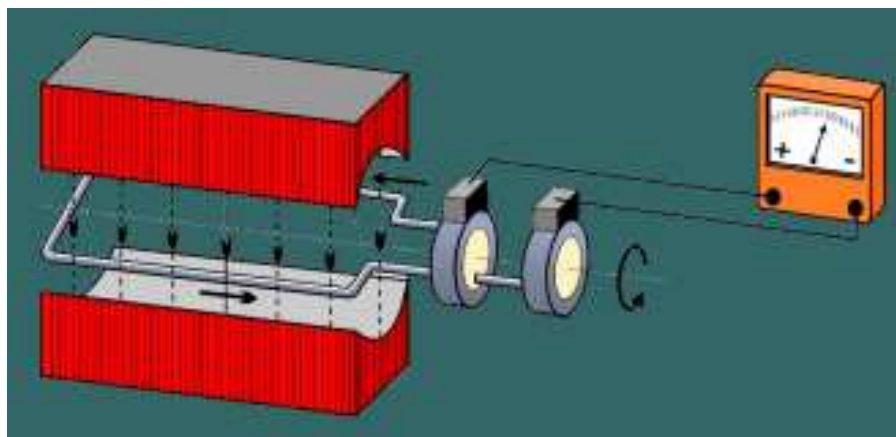
Obrázek 15 zapojení do trojúhelníka[14]

4.3. Dynamo

Stejnoseměrný generátor se nazývá dynamo. Stejnoseměrný stroj může pracovat jak jako dynamo, tak i jako motor. Můžeme se s nimi setkat v průmyslových pohonech a v dopravě. Činnost dynama je také založena na elektromagnetické indukci. Budící proud vyvolává na statoru magnetický tok. Při otáčení rotoru v magnetickém poli se do jeho vinutí indukuje střídavé napětí, které se komutátorem usměrňuje a vznikne tím stejnosměrné napětí. Komutátor, který je připevněn na hřídeli rotoru se stejnosměrným napětím, odvede napětí za pomoci kartáčů, které jsou na svorkovnici stroje. Odtud si bereme potřebný elektrický proud.

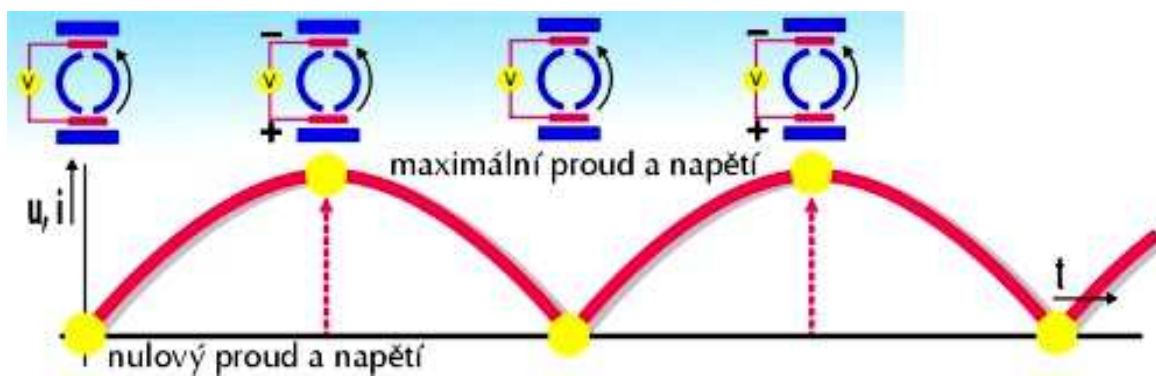
Stator dynama je složen z elektrotechnických plechů. Ke statoru jsou přidělané hlavní a pomocné pólové nástavce. U novějších zařízení se můžeme setkat s tím, že hlavní a pomocné póly jsou složeny z plechů. Na hlavních pólech jsou budící cívky, které napájíme stejnosměrným proudem. Polarita hlavních pólů se střídá.

Rotor je vyroben z izolovaných elektrotechnických plechů o tloušťce 0,5 mm. Rotor má tvar drážkového válce a na jeho hřídeli je upevněn komutátor. Výhody rotorového vinutí cívek, které jsou uloženy v drážkách rotoru, je, že jsou připájeny k lamelám komutátoru. Komutátor nám slouží k přepojování vodičů z jednoho kartáče na druhý, tedy plní funkci usměrňovače. Převádí nám střídavé napětí na stejnosměrné.[14]



Obrázek 16 Dynamo [14]

Komutátor je složen z několika vzájemně izolovaných měděných lamel. Ke každé lamelle je připevněn vodič od dvou různých cívek. Celé vinutí rotoru je propojeno přes komutátor. Abychom docílili stabilnějšího stejnosměrného napětí, je zapotřebí mít více lamel na komutátoru, tím docílíme menšího zvlnění. Sběrací ústrojí odvádí proud mezi vnějším obvodem a vinutím rotoru. Na komutátorové lamely dosedají uhlíkové kartáče, které jsou přidělaný v držácích v rotoru. Pomáhají nám ke správnému nastavení polohy. Kolik má dynamo hlavních pólů, tolik je zapotřebí kartáčů.[14]



Obrázek 17 průběh komutátoru dynama [14]

5. Legislativa týkající se MVE

Právních předpisů, které se týkají předmětu diplomové práce, je celá řada, např. zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon, který je základním předpisem, upravujícím oblast energetiky, dále pro rekonstrukci vodní elektrárny nezbytný zákon č. 54/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), a to společně se zákonem č.83/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), zákon **č. 165/2012 Sb.**, o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, a další. Vzhledem k tomuto rozsahu rozeberu jen ty nejdůležitější.

Základním předpisem v oblasti energetiky je zákon č.458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). Ten upravuje, jak je stanoveno v jeho § 1 a jak částečně vyplývá z jeho názvu, podmínky podnikání a výkon státní správy v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, jakož i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené. Toto vymezení je však velice obecné a ne vše nás bude zajímat. Zaměřím se tedy především na právní úpravu elektroenergetiky.

V té se zákon zabývá hned v úvodu definicemi pojmů. Nejdůležitější je pak vzhledem k předmětu diplomové práce definice výroby elektřiny, kterou je dle § 2 odst.2 písm.b) bodu18. *„energetické zařízení pro přeměnu různých forem energie na elektřinu, zahrnující všechna nezbytná zařízení“*. V tomtéž ustanovení se dále stanoví, že *„výrobna elektřiny o celkovém instalovaném elektrickém výkonu 100 MW a více, s možností poskytovat podpůrné služby k zajištění provozu elektrizační soustavy, je zřizována a provozována ve veřejném zájmu“*.

Další oblastí úpravy, kterou se energetický zákon zabývá, je udělování, změny či zánik licencí pro podnikání v energetických odvětvích, jehož je dle § 3 odst.1 výroba elektřiny předmětem a která je pro podnikání v energetických odvětvích nezbytná.

V obecné části dále upravuje výkon státní správy v energetických odvětvích, přičemž působnost náleží ministerstvu průmyslu a obchodu, Energetickému regulačnímu úřadu a Státní energetické inspekci. Postavení, působnost a pravomoc ERÚ je upravena také v obecné části, úprava postavení a působnosti SEI je pak trochu nesystematicky zařazena až do předposlední hlavy zákona.

Dalším důležitým ustanovením je pro nás § 23, který je zařazen ve zvláštní části zákona v 1.díle, jenž se zabývá elektroenergetikou. Jedná se o stěžejní ustanovení pro výrobce elektřiny, protože jsou v něm stanovena jejich práva a povinnosti.

Výrobce elektřiny má mimo jiné právo připojit své zařízení, pokud splňuje podmínky připojení k elektrizační soustavě, k přenosové soustavě nebo k distribučním soustavám, dodávat elektřinu vyrobenou v jím provozované výrobně elektřiny ostatním účastníkům trhu s elektřinou, dodávat elektřinu vyrobenou ve vlastní výrobně elektřiny pro vlastní potřebu, pokud mu to podmínky provozování přenosové soustavy a distribučních soustav umožňují, nabízet a poskytovat podpůrné služby k zajištění provozu elektrizační soustavy za podmínek stanovených Pravidly provozování přenosové soustavy nebo Pravidly provozování distribuční soustavy a omezit, přerušit nebo ukončit dodávku elektřiny svým zákazníkům při neoprávněném odběru elektřiny.

Mezi povinnosti výrobce elektřiny patří především povinnost na své náklady zajistit připojení svého zařízení k přenosové nebo distribuční soustavě, umožnit a uhradit instalaci měřicího zařízení provozovateli přenosové nebo distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena, zpřístupnit měřicí zařízení provozovateli přenosové soustavy nebo provozovateli distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena, podílet se na úhradě oprávněných nákladů provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy spojených s připojením výrobní elektřiny a řídit se pokyny technického dispečinku provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy.

Výrobce elektřiny má také relativně rozsáhlou oznamovací povinnost, je totiž povinen předávat operátorovi trhu technické údaje vyplývající ze smluv o dodávce elektřiny a další nezbytné informace pro plnění povinností operátora trhu, poskytovat provozovateli přenosové nebo distribuční soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena, potřebné údaje pro provoz a rozvoj soustavy, operátorovi trhu údaje potřebné pro plnění jeho povinností, předávat provozovateli soustavy, ke které je výrobní elektřiny připojena, informace nezbytné pro dispečerské řízení, poskytovat provozovateli přenosové nebo distribuční soustavy informace nezbytné pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu a rozvoje elektrizační soustavy.

Konečně pak jsou upraveny i povinnosti týkající se samotné výroby elektřiny, a to povinnost dodržovat parametry kvality dodávané elektřiny stanovené Pravidly provozování přenosové nebo distribuční soustavy za účelem zajištění bezpečnosti a spolehlivosti provozu

elektrizační soustavy, při předcházení stavu nouze a při stavech nouze a za podmínek stanovených Pravidly provozování přenosové nebo distribuční soustavy nabízet provozně a obchodně nevyužitou výrobní kapacitu, což se děje na pokyn provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy.

V dalších ustanoveních tohoto dílu se zákon věnuje pro předmět této práce nepodstatným věcem, pouze bych zmínil § 46, který upravuje ochranná pásma, přičemž pro výrobu elektřiny stanoví v odst. 7 toto: *„Ochranné pásmo výroby elektřiny je vymezeno svislými rovinami vedenými ve vodorovné vzdálenosti 20 m od vnějšího líce obvodového pláště výroby elektřiny.“*

Přeskočím-li další díly zvláštní části, které se zabývají plynárenstvím a teplárenstvím, následuje hlava III., ve které jsou upraveny správní delikty. Z nich bych jen okrajově zmínil delikty, které se týkají konkrétně výrobce elektřiny a které jsou vymezeny v § 91 odst. 2. Skutkovými podstatami těchto deliktů jsou převážně porušení povinností výrobce elektřiny, o kterých jsem se zmínil výše.

Co se samotné rekonstrukce vodní elektrárny týče, je právní úprava poněkud komplikovanější. Základním předpisem pro stavební činnost je zákon č.83/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Ten upravuje dle § 2 *„ve věcech stavebního řádu zejména povolování staveb a jejich změn, terénních úprav a zařízení, užívání a odstraňování staveb, dohled a zvláštní pravomoci stavebních úřadů, postavení a oprávnění autorizovaných inspektorů, soustavu stavebních úřadů, povinnosti a odpovědnost osob při přípravě a provádění staveb“*, dále pak *„upravuje podmínky pro projektovou činnost a provádění staveb, obecné požadavky na výstavbu...a některé další věci související s předmětem této právní úpravy“*. Při rekonstrukci je tedy potřeba postupovat především v souladu s jeho ustanoveními a s jeho prováděcími předpisy.

Nejdříve je tedy třeba získat územní rozhodnutí, protože § 76 odst. 1 stanovuje, že *„umísťovat stavby nebo zařízení, jejich změny, měnit vliv jejich užívání na území, měnit využití území a chránit důležité zájmy v území lze jen na základě územního rozhodnutí nebo územního souhlasu, nestanoví-li zákon jinak“* a vodní díla nejsou obsažena ve výčtu staveb dle § 79 odst. 2, které územní rozhodnutí nepotřebují. V případě rekonstrukce MVE konkrétně půjde o rozhodnutí o umístění stavby dle § 79, které *„vymezuje stavební pozemek, umísťuje navrhovanou stavbu, stanoví její druh a účel, podmínky pro její umístění, pro zpracování*

projektové dokumentace pro vydání stavebního povolení, pro ohlášení stavby a pro napojení na veřejnou dopravní a technickou infrastrukturu“.

Úprava územního řízení je pak upravena v § 84 a následujících stavebního zákona, přičemž zde bych upozornil pouze na § 86, který se zabývá mimo jiné obsahem žádosti o vydání územního rozhodnutí a jejích náležitostí. Těmi jsou kromě obecných náležitostí podle správního řádu základní údaje o požadovaném záměru, identifikační údaje o pozemku nebo stavbě, na nichž se má záměr uskutečnit, uvedení osob, které mají vlastnické nebo jiné věcné právo k sousedním pozemkům nebo stavbám na nich, jestliže může být jejich právo územním rozhodnutím přímo dotčeno. K žádosti o vydání územního rozhodnutí pak žadatel připojí *doklady prokazující jeho vlastnické právo nebo smlouvu nebo doklad o právu provést stavbu nebo opatření k pozemkům nebo stavbám, na kterých má být požadovaný záměr uskutečněn, stanoviska vlastníků veřejné dopravní a technické infrastruktury k možnosti a způsobu napojení nebo k podmínkám dotčených ochranných a bezpečnostních páse, smlouvy s příslušnými vlastníky veřejné dopravní a technické infrastruktury nebo plánovací smlouvu, vyžaduje-li záměr vybudování nové nebo úpravu stávající veřejné dopravní a technické infrastruktury, dokumentaci pro vydání územního rozhodnutí, která obsahuje průvodní zprávu, souhrnnou technickou zprávu, výkresovou dokumentaci a dokladovou část.*

Záměr žadatele je pak posouzen podle § 90, tedy jestli je v souladu s vydanou územně plánovací dokumentací, s cíli a úkoly územního plánování, zejména s charakterem území, s požadavky na ochranu architektonických a urbanistických hodnot v území, s požadavky tohoto zákona a jeho prováděcích právních předpisů, zejména s obecnými požadavky na využívání území, s požadavky na veřejnou dopravní a technickou infrastrukturu, s požadavky zvláštních právních předpisů a se stanovisky dotčených orgánů podle zvláštních právních předpisů, popřípadě s výsledkem řešení rozporů a s ochranou práv a právem chráněných zájmů účastníků řízení. Pokud záměr žadatele toto splňuje, vydá stavební úřad územní rozhodnutí, které se obvykle vydává na dobu 2 let s možností stavebního úřadu stanovit dobu delší, nejdéle však 5 let. Na základě pravomocného územního rozhodnutí pak musíme žádat o stavební povolení.

Zde narazíme na zvláštnosti rekonstrukce vodní elektrárny. Zákon č. 54/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) ve svém § 55 odst. 1 písm. g) stanovuje, že stavby k využití vodní energie a energetického potenciálu jsou vodním dílem. Je tedy nutné postupovat dle § 15 stavebního zákona, který v odst. 1 písm. d) stanoví, že „*působnost*

stavebního úřadu, s výjimkou pravomoci ve věcech územního rozhodování, vykonávají u ... vodních děl orgány vykonávající státní správu na uvedených úsecích podle zvláštních právních předpisů (dále jen "speciální stavební úřady").“ Tím vzniká dvoukolejnost celého povoloovacího procesu, protože územní řízení proběhne u stavebního úřadu dle stavebního zákona, zatímco pro stavební řízení bude věcně příslušným úřadem vodoprávní úřad, který bude postupovat dle § 15 odst. 2 stavebního zákona, tedy „podle tohoto zákona, pokud zvláštní právní předpisy pro stavby podle odstavce 1 nestanoví jinak. Povolení pro stavby mohou vydat jen se souhlasem obecného stavebního úřadu příslušného k vydání územního rozhodnutí, který ověřuje dodržení jeho podmínek; souhlas není správním rozhodnutím. Jestliže se nevydává územní rozhodnutí ani územní souhlas, postačí vyjádření obecného stavebního úřadu o souladu navrhované stavby se záměry územního plánování.“ V tomto případě, vzhledem k tomu, že nejsou splněny požadavky pro provádění stavby bez ohlášení či povolení, je nutné žádat o stavební povolení.

Při stavebním povolení tedy bude vodoprávní úřad aplikovat prvně ustanovení vodního zákona, konkrétně jeho § 15, který upravuje stavební povolení pro vodní díla. Ve věcech neupravených vodním zákonem pak vodoprávní úřad bude postupovat dle § 107 a násl. stavebního zákona, což se bude týkat především obsahu žádosti, vedení řízení, náležitostí rozhodnutí a doby jeho platnosti. Jen pro demonstraci, žádost o vydání stavebního povolení musí obsahovat identifikační údaje o stavebníkovi, o pozemku, základní údaje o požadovaném záměru, jeho rozsahu a účelu, způsobu a době provádění, údaj o tom, kdo bude stavební záměr provádět, a vyjádření vlastníka sousední nemovitosti, je-li třeba, aby umožnil provedení stavebního záměru ze své nemovitosti; u dočasné stavby rovněž dobu jejího trvání a návrh úpravy pozemku po jejím odstranění.

K žádosti stavebník připojí doklady prokazující jeho vlastnické právo nebo právo založené smlouvou provést stavbu nebo opatření anebo právo odpovídající věcnému břemenu k pozemku nebo stavbě (dále jen „doklad o právu“), projektovou dokumentaci zpracovanou projektantem, která obsahuje průvodní zprávu, souhrnnou technickou zprávu, situaci stavby, dokladovou část, zásady organizace výstavby a dokumentaci objektů, plán kontrolních prohlídek stavby a případně plán provedení kontroly spolehlivosti konstrukcí stavby z hlediska jejich budoucího využití zpracovaný nezávislým expertem na náklady stavebníka, závazná stanoviska, popřípadě rozhodnutí dotčených orgánů nebo jiné doklady vyžadované zvláštními právními předpisy a stanoviska vlastníků veřejné dopravní a technické

infrastruktury k možnosti a způsobu napojení nebo k podmínkám dotčených ochranných a bezpečnostních pásem. Mimo to může, právě dle speciálního ustanovení § 15 vodního zákona, vodoprávní úřad požadovat ještě např. předložení návrhu manipulačního řádu, popřípadě výpočtu povodňové vlny zvláštní povodně, a to u vodních děl vzdouvajících nebo akumulujících povrchové vody a staveb využívajících jejich energetický potenciál.

Podle stavebního zákona, resp. podle jeho § 119 a násl. bude vodoprávní úřad postupovat i po dokončení rekonstrukce při povolení jejího užívání. Zde bude záležet také na požadavcích vodoprávního úřadu stanovených ve stavebním povolení. Nezřídká bývá vyžadován zkušební provoz a užívat stavbu lze až na základě kolaudačního souhlasu dle § 122 stavebního zákona. Stavební úřad do 15 dnů ode dne doručení žádosti stavebníka stanoví termín provedení závěrečné kontrolní prohlídky stavby a současně uvede, které doklady při ní stavebník předloží. Závěrečná kontrolní prohlídka stavby musí být vykonána do 60 dnů ode dne doručení žádosti o vydání kolaudačního souhlasu. Užívat stavbu pak lze ode dne nabytí právní moci kolaudačního rozhodnutí.

Rekonstrukce je kolaudačním souhlasem, případně kontrolní prohlídkou po oznámení o záměru začít užívat stavbu, u konce. Vodní zákon však zakotvuje další povinnosti, které vlastník vodní elektrárny musí plnit. Jsou jimi především povinnost *dodržovat podmínky a povinnosti, za kterých bylo vodní dílo povoleno a uvedeno do provozu, zejména dodržovat provozní řád a schválený manipulační řád, neprodleně oznamovat vodoprávnímu úřadu změny mající vliv na obsah manipulačního řádu a předkládat vodoprávnímu úřadu ke schválení návrh na úpravu manipulačního řádu tak, aby byl v souladu s komplexním manipulačním řádem, udržovat vodní dílo v řádném stavu tak, aby nedocházelo k ohrožování bezpečnosti osob, majetku a jiných chráněných zájmů, či provádět na vlastní náklad u vodního díla technickobezpečnostní dohled, pokud tomuto dohledu vodní dílo podléhá. Dále pak povinnost provádět na svůj náklad opatření, která mu vodoprávní úřad uloží k odstranění závad zjištěných na vodním díle, zejména při vodoprávním dozoru, dbát pokynů správce vodního toku v případě mimořádných situací na dotčeném vodním toku, odstraňovat předměty a hmoty zachycené či ulpělé na vodních dílech, u vodního díla sloužícího ke vzdouvání vody ve vodním toku udržovat na vlastní náklad v řádném stavu dno a břehy v oblasti vzduť a starat se v něm o plynulý průtok vody, zejména odstraňovat nánosy a překážky, a je-li to technicky možné a ekonomicky únosné, vytvářet podmínky pro migraci vodních živočichů, odstraňovat náletové dřeviny z hrází sloužících k ochraně před povodněmi, ke vzdouvání vody nebo k*

akumulaci vody a další.

Zároveň však vlastníci mají i určitá práva, například za účelem rekonstrukce vstupovat na sousední pozemky. Dále vodní zákon upravuje technickobezpečnostní dohled nad vodními díly a povinnosti vlastníků vodních děl s ním související. Ty jsou obsaženy v § 61 a 62.

Mimo to samozřejmě upravuje další oblasti jako nakládání s vodami, plánování v oblasti vod, ochranu vodních poměrů a vodních zdrojů, vodní toky, správu povodí, ochranu před povodněmi a další. Samozřejmostí je úprava výkonu státní správy v oblasti vod a s ní související oblasti, např. poplatky, správní delikty a další. V těchto částech vodního zákona můžeme nalézt další práva a především povinnosti vlastníků vodních děl, předmětu diplomové práce se však týkají pouze okrajově. [15]

6. Popis lokality MVE

Rekonstruovaná vodní elektrárna se nachází v Přešticích. Objekt je situován pod jezem na řece Úhlavě. Tato MVE je navržena jako průtočná elektrárna s nepřetržitým provozem. Vodu přivádíme pomocí kanálu do kašny, tak je opatřena třemi turbínami typu MT 5. Poté co voda projde turbínami, je vrácena pod jez do toku řeky Úhlavy. Náhon je osazen stavidlem a hrubými česlemi. Elektrická energie, která se vyrobí, jde přes automatiku, rozvaděče a měření a je pak vyvedená do veřejné sítě ZČE.



Obrázek 18 MVE Přeštice

Dle měření hydrometeorologického ústavu na řece Úhlavě byla naměřena tabulka s ročním průměrným průtokem, který je udáván v $[m^3/s]$.

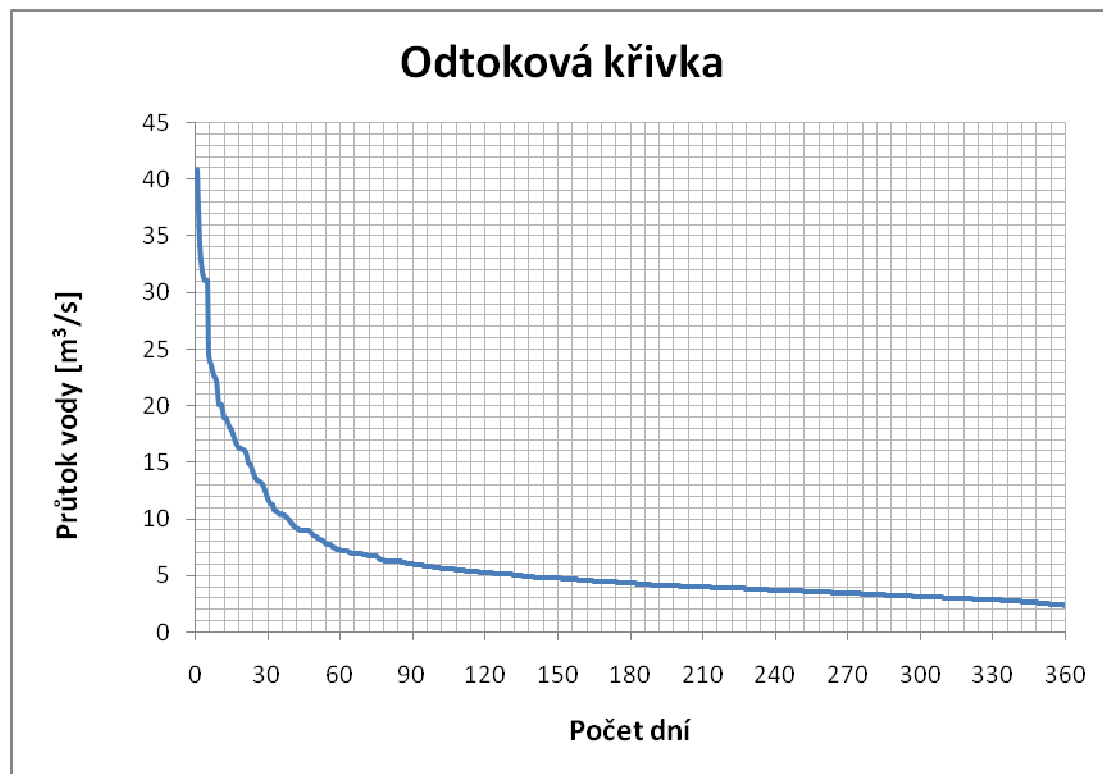
Měsíce	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Max. průtok $[m^3/s]$	31	14,73	7,47	14,25	4,52	16,26
Min. průtok $[m^3/s]$	4,14	5,05	4,05	3,56	2,92	2,53
Prů. průtok $[m^3/s]$	10,9	6,35	4,98	5,97	3,63	3,94

Tabulka 2 Roční tabulka průměrných průtoků [16]

Měsíce	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Max. průtok $[m^3/s]$	34,26	8,32	10,71	6,51	11,38	40,86
Min. průtok $[m^3/s]$	2,44	2,21	2,66	2,74	3,19	4,68
Prů. průtok $[m^3/s]$	7,78	2,93	3,73	3,36	4,87	11,67

Tabulka 3 Roční tabulka průměrných průtoků [16]

Ze získaných hodnot z hydrometeorologického ústavu jsem zhotovil roční odtokovou křivku.



Obrázek 19 odtoková křivka [16]

Dle naměřených hodnot jsem zjistil, že průměrný roční průtok je $Q = 5,85 \text{ [m}^3/\text{s]}$, jez má spád $H = 2,2 \text{ [m]}$. Z těchto hodnot mohu vypočítat hydroenergetický potenciál vodního toku:

$$P = Q * g * H * \rho \quad (6.1)$$

$$P = 5,85 * 9,81 * 2,2 * 1000$$

$$P = 126.254 \text{ [kW]}$$

Předběžný výpočet výkonu pro průměrný roční průtok na turbíně:

$$P = Q * g * H * \eta \quad (6.2)$$

$$P = 3,5 * 9,81 * 2,2 * 0,8$$

$$P = 60.4296 \text{ [kW]}$$

6.1. Výběr turbíny a generátoru

K určení turbíny jsem se řídil předem danými parametry. Výška spádu $H = 2,2 \text{ m}$ a průtok, který může téct přes turbínu $Q = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Podle těchto parametrů jsem zvolil nejlepší možnou variantu - Kaplanovu turbínu.

Z mnoha oslovených firem mi byla pouze jedna ochotna zpracovat cenovou a technickou nabídku.

CINK - Hydro Energy k.s.

Je to česká firma, která se zabývá rekonstrukcí a výstavbou malých a středních elektráren. Zajišťuje výrobu turbín na míru. Typy turbín, které nabízejí: Ossberger, Bankiho, Kaplanovu, Francisovu a Peltonovu turbínu a to do výkonu 3 MW [17].

Po konzultaci s firmou CINK - Hydro Energy k.s., jsem došel k řešení, že do objektu se vloží vertikální Kaplanova turbína TD4 -112 s dvojitou regulací pro lepší využití toku. Průměr oběžného kola je 1 120 mm, na oběžném kole má čtyři pohyblivé lopatky, které jsou vyrobené z vysoce odolného bronzu. Jmenovité otáčky turbíny jsou 192 otč./min. Maximální otáčky, které turbína může dosáhnout, je 538 otč./min. Turbína je vybavena valivými ložisky, která jsou navržena pro provoz víc jak 100 000 hod.

Vzhledem k malému výškovému prostoru jsme zvolili vertikální asynchronní generátor s nominálním výkonem $P_n = 58 \text{ kW}$ s jmenovitými otáčkami 1 012 otč./min.. Stupeň krytí IP 55 a chlazení IC 01. S řemenovým převodem jehož poměr je $i = 5,26 \text{ [-]}$ [18]

Hrubý spád	H_b	=	2,56 m
Hydraulické ztráty	Σ_t	=	0,36 m
Čistý spád	H_{net}	=	2,20 m
Průtoky: maximální průtok při H_{net}	Q_{max}	=	3.500 l/s
minimální průtok při H_{net}	Q_{min}	=	930 l/s
Maximální sací výška	HS_{max}		+ 7,02 m

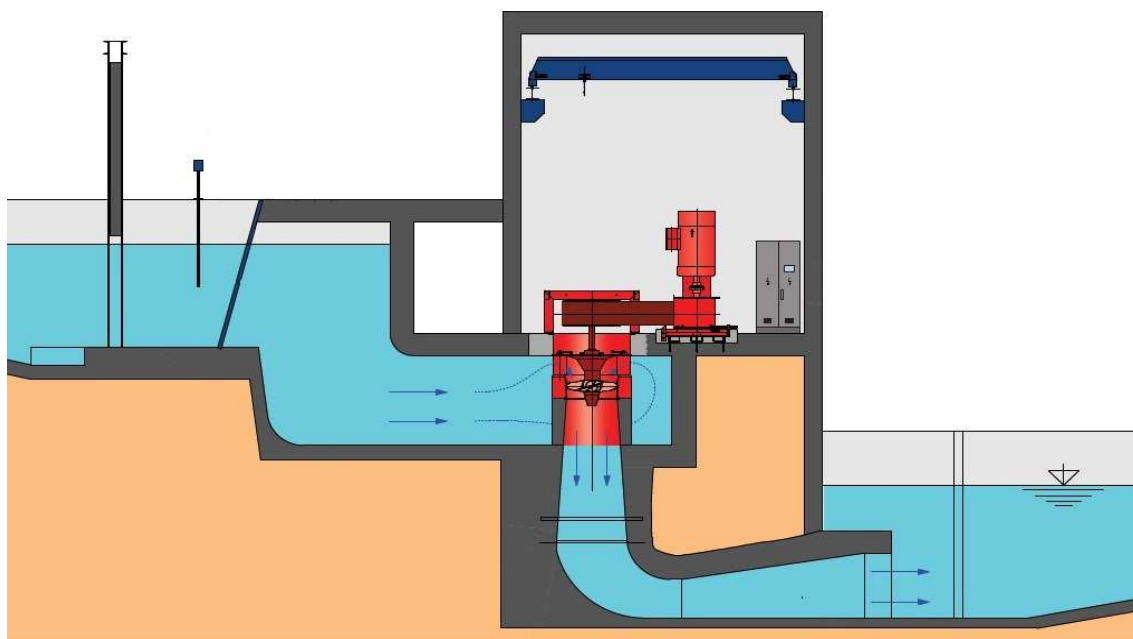
Tabulka 4 Hydraulické charakteristiky [18]

Průtok	100%	80%	60%	40%	26%
Výkon turbíny v kW	64	51	38	25	16
Množství vody v l/s	3.500	2.800	2.100	1.400	930
Účinnost v % (η)	85,5	88	88	86	81

Tabulka 5 garantovaný výkon na základě hydraulických údajů [18]

Zatížení [%]	Účinnost [-]	Účíník [-]
125	0,925	0,88
100	0,93	0,88
75	0,93	0,85
50	0,915	0,78
25	0,88	0,57

Tabulka 6 účinnost a účíník generátoru [19]



Obrázek 20 Kaplanova turbína[18]

Celková cena od firmy CINK - Hydro Energy k.s. ,v které je zahrnut řídicí systém, rozvaděč, generátor, řemenový převod, Kaplanova turbína TD4 a veškeré její příslušenství činí 4 498 000 Kč bez DPH. [18]

6.2. Kompenzace jalového výkonu

Elektrické spotřebiče za normálních podmínek neodebírají ze sítě pouze činnou energii, ale také jalovou energii. Jalová energie je nezbytná pro správnou funkci zařízení. Součet těchto energií velmi zatěžuje přenosovou síť. Snažíme se k elektrickému zařízení připojit správně navržený kondenzátor, který bude dodávat jalovou energii přímo spotřebiči. Tím se sníží přenášená velikost jalové energie po síti.

Kvalitu kompenzace udáváme pomocí účinníku $\cos \varphi$, který je poměrem činného a zdánlivého výkonu. Snažíme se docílit, aby účinník se blížil jedné. V ČR jsou odběratelé penalizováni, pokud je účinník nižší než 0,95.

V praxi se využívají tři druhy kompenzace: individuální, skupinová a centrální. Individuální kompenzace – kondenzátor se přímo spíná se spotřebičem. Skupinová a centrální kompenzace jsou nejvhodnější pro rozsáhlejší elektrické systémy, které mají proměnnou zátěž. Sepnutí kondenzátorů se provádí pomocí mikroprocesorových regulátorů, které umožní dosáhnout optimální účinník.

Výpočet jalového výkonu, který je potřebný k dosažení požadovaného účinníku:

$$Q_c = P * \left[\operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_1)) - \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi_2)) \right] \quad (6.3)$$

Q_c – jalový výkon kompenzačního kondenzátoru

P – činný výkon spotřebiče

$\cos \varphi_1$ – původní účinník

$\cos \varphi_2$ – výsledný účinník (snaha dosáhnout účinník v rozmezí 0,98 až 0,85)

Výkon generátoru [kW]	Účinník [-]	Kompenzační výkon [kVAr]
58	0.88	19.525
43.5	0.85	18.125
29	0.78	17.377
14.5	0.57	17.957

Tabulka 7 Hodnoty kompenzačního výkonu

Z výpočtu je možno vidět, při jakém výkonu je zapotřebí dodávat jalový výkon do stroje. Pro kompenzaci MVE budu používat tři kondenzátory od firmy ZEZ-Silko o výkonech $Q = 15 \text{ kVAr}$, $Q = 3,15 \text{ kVAr}$ a $Q = 2 \text{ kVAr}$. Kondenzátory budou spojeny, aby nám vytvořily tři stupně kompenzace: $Q_1 = 20 \text{ kVAr}$

$$Q_2 = 18 \text{ kVAr}$$

$$Q_3 = 17 \text{ kVAr}$$



Obrázek 211 Kondenzátory firmy ZEZ-SILKO [21]

Kompenzace jalového výkonu MVE Přeštice bude prováděna za pomoci regulátoru jalového výkonu NOVAR 5. Je to pětistupňový regulátor, který je plně automatizovaný. Umožňuje optimální řízení kompenzace jalového výkonu. Výpočet potřebného jalového výkonu pro kompenzaci asynchronního generátoru budu provádět pro $\cos \varphi = 0,98$. [21]

6.3. Ekonomické hodnocení MVE

Firma CINK - Hydro Energy k.s.mi zaslala cenovou nabídku, ve které je zahrnut jak řídicí systém, rozvaděč, generátor, řemenový převod, Kaplanova turbína TD4 a veškeré její příslušenství, tak i montáž a oživení v lokalitě. Celková cena činí 4 498 000 Kč. Celková roční dodávka elektrické energie se rovná:

$$P_E = 24 * P_n * I_n \text{ [kWh]} \tag{6.4}$$

$$P_E = 24 * (64 * 90 + 51 * 30 + 38 * 90 + 25 * 60 + 15 * 60) = 316 080 \text{ [kWh]}$$

$$P_E = 316\,080 \text{ [kWh]}$$

P_n – výkon MVE v daném počtu dní

I_n – počet dní při daném výkonu

Hodnoty P_n a I_n jsem bral dle průtoků turbínou viz. tabulka 5 a dle odtokové křivky viz. graf 1. Celkový počet dní činnosti MVE je omezen nutností zachování přelivu vody přes jez a odstávkou z důvodu velkých vod, která trvá přibližně 20 dní.

Na vlastní spotřebu MVE (práce asynchronního generátoru, odběry provozovatelů a osvětlení) se počítá přibližně 5 %. Dále se odečítá přibližně 5 - 8 % na další provozní ztráty, jako jsou poruchy, revize, opravy, zimní režim, výpadky sítě apod. Pak tedy celková roční dodávka činí:

$$P_C = 316\,080 * 0,95 * 0,95 = 285\,262 \text{ [kWh]} \quad (6.5)$$

Předpokládaná roční dodávka do sítě je tedy 285 262 [kWh]. Garantovanou výkupní cenu vyrobené elektřiny předpokládáme ve výši 1,26 Kč. To znamená roční tržby (výnos) ve výši 2,6 % z celkové počáteční investice tj. 116 948 Kč. Pro zjednodušení výpočtu doby návratnosti předpokládáme výnosy a náklady po celou dobu životnosti investice za konstantní.

Doba návratnosti investice

Je to doba, za kterou se nám vrátí vložená investice. Tato informace zajímá každého investora, bez ohledu na to, jak vysoká je investice. Další metodou analýzy investic je doba návratnosti, také je to velice důležité porovnávací kritérium investičních projektů. V základní variantě se zpravidla definuje jako doba (počet let), za kterou peněžní příjmy z investice vyrovnávají počáteční kapitálový výdaj na investici.[22]

Prostá doba návratnosti - výpočet

$$T_s = IN / CF \quad (6.6)$$

IN - investiční výdaj v Kč

CF - roční příjem v Kč

$$T_s = 4\,498\,000 / 242\,482 = 12,51$$

Podle našich odhadů a dosažených předpokládaných hodnot činí doba návratnosti tohoto projektu téměř 13 let. Jedná se však o velmi nepřesný odhad, neboť výpočet nezohledňuje zdanění, inflaci, úroky apod.

Pokud se však detailněji zaměříme na tok peněz z projektu (cash flow), zohledníme odpisy, daň z příjmu, úroky, získáme objektivnější pohled na návratnost celého projektu.

Životnost zařízení (bez větších oprav či zásadních výměn) předpokládáme 30 let. U výše odpisů se řídíme §31 Zákona o daních z příjmů, který přiděluje hmotnému majetku maximální roční odpisové sazby dle odpisových skupin. Z tohoto rozdělení vyplývá, že projekt jako celek spadá do 5. odpisové skupiny s dobou odpisování 30 let. Předpokládáme rovnoměrný způsob odepisování, daň z příjmu ve výši 19 %. [23]

Výpočet odpisů:

Roční tržby MVE = 359430 Kč,

Provozní náklady = 116948 Kč,

$$\text{vzorec } O = N * S_k \quad (6.7)$$

kde

N - investiční náklady na odpisovanou položku v Kč

S_k - odpisový koeficient

Výpočet:

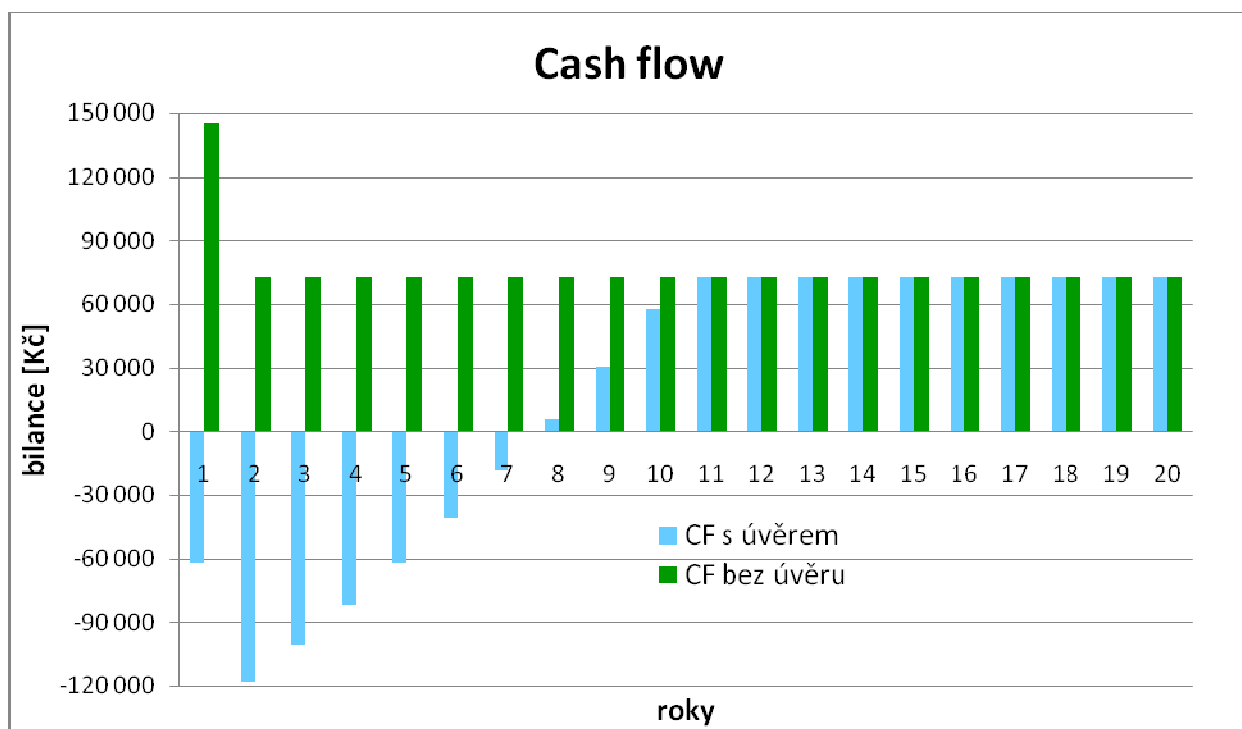
$$1. \text{ rok} = 4\,498\,000 * 1,4 / 100 = 62\,972 \text{ Kč}$$

$$2. \text{ - 30} = 4\,498\,000 * 3,4 / 100 = 152\,932 \text{ Kč}$$

$$\text{Zkouška správnosti výpočtu } 62\,972 + 29 * 152\,932 = 4\,498\,000 \text{ Kč}$$

Výpočet peněžních příjmů z investice v následujících 20 letech:

Uvažujeme-li o financování pomocí podnikatelského úvěru na 10 let se sazbou 5,9 % ročně (nabídka Fio banka): výše měsíční splátky = 49711 Kč, celkové úrokové navýšení činí 1467737 Kč. Z tohoto pohledu se jeví investice návratnou již v osmém roce, nicméně výpočet by měl být z pohledu účetního dále rozvinut např. o uplatnění daňové ztráty v následujících letech, odpisového daňového štítu apod.



Graf 1 Návratnost investice pomocí Cash flow

7. Závěr

V rámci této práce jsem se zabýval návrhem rekonstrukce MVE v Prešticích. Tato vodní elektrárna je situována pod jezem na řece Úhlavě. Jedná se o průtočnou elektrárnu s nepřetržitým provozem, která je aktuálně opatřena třemi turbínami typu MT 5. Práce se soustředila především na rekonstrukci turbíny a generátoru. Volba turbíny a generátoru byla podrobena důkladné analýze, na jejímž základě bylo osloveno několik firem s žádostí o technický a cenový návrh.

Vybraný návrh byl porovnán s aktuálním stavem, kdy každá z turbín typu MT5 má maximální výkon 11 kW průtokem $Q = 0,755 \text{ m}^3/\text{s}$. Dle výšky spádu a průtoku byla po dohodě s firmou Cink Hydro-Energy k.s. vybrána vertikální Kaplanova turbína s maximálním výkonem 64 kW, což proti původnímu výkonu 33 kW činí nárůst na 194% původního výkonu.

Návrh byl dále podroben výpočtu ekonomické návratnosti investice. Z hlediska prosté návratnosti investice, která ovšem nezohledňuje úroky, inflaci a další faktory, je doba návratnosti 13 let. Pokud ovšem vezmeme v úvahu financování prostřednictvím úvěru (uvažována úroková sazba 5.9%) z detailnějšího pohledu, pak je doba návratnosti již osmým rokem.

Přestože je výše investice na rekonstrukci MVE v Prešticích vysoká, je nutné si uvědomit, že se jedná o dlouhodobou investici s velmi malým rizikem a stálým příjmem. Pokud navíc vezmeme v úvahu, že je životnost zařízení stanovena na 30 let, je investice ekonomicky výhodná. Zároveň se jedná o nevyčerpatelný zdroj energie, který je získáván ekologicky šetrným způsobem.

8. Seznam použité a citované literatury

- [1] *Obnovitelné zdroje energie* [online]. [cit. 2013-01-14]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [2] IBLER, Zdeněk, 1924-2005. *Elektrárny*, Plzeň nakladatelství VŠSE, 1984
- [3] *Vodní turbíny* [online]. [cit. 2013-01-15]. Dostupné z: <http://www.vodniturbiny.cz/index.php?linkid=09>
- [4] *Svět fyziky - vodní energie* [online]. [cit. 2013-01-15]. Dostupné z: http://svetfyziky.souepl.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=99:vodni-energie&catid=48:obnovitelne-zdroje&Itemid=76
- [5] *Ukládání energie* [online]. [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elekriny-z-fotovoltaickych-a-vetrnych-elekraren.aspx>
- [6] *MVE energetika* [online]. [cit. 2013-01-17]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [7] *Elektrárny* [online]. [cit. 2013-01-18]. Dostupné z: <http://www.elekrarny.xf.cz/peltonova.php>
- [8] GABRIEL, Pavel; KUČEROVÁ, Jitka. *Navrhování vodních elektráren*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2000. 195 s.
- [9] *MVE, energetika* [online]. [cit. 2013-01-20]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [10] *Vodní elektrárny* [online]. [cit. 2013-01-25]. Dostupné z: <http://www.elekrarny.xf.cz/bankiho.php>
- [11] *MVE, Energetika: Kaplanova turbína* [online]. [cit. 2013-02-1]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.htm>
- [12] *MVE, Energetika: Francisova turbína* [online]. [cit. 2013-02-1]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-vertik.htm>
- [13] *MVE, Energetika: Francisova horizontální turbína* [online]. [cit. 2013-02-1]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/francis-horiz.htm>
- [14] *Elektrické stroje* [online]. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: http://oklzed.sweb.cz/s/el_generator.htm#top
- [15] *Legislativa* [online]. [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://aspi.aspi.cz/lp/>
- [16] Data poskytnutá hydrometeorologickým ústavem v Plzni
- [17] *CINK HYDRO ENERGY* [online]. [cit. 2013-03-16]. Dostupné z: <http://www.cink-hydro-energy.com/cz/firma>
- [18] Cenová a technická nabídka od firmy Cink Hydro-Energy k.s
- [19] *SIEMENS: Vlastimil Moravec, Elektromotory* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z:

- <http://www.elektromotory.net/>
- [20] ZEZ - SILKO [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.zez-silko.cz/cs/produkty/kompenzacni-kondenzatory-nn>
- [21] NOVAR 5 [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.zavodny.cz/data/manualy_novar/Novar5+%20Manual.pdf
- [22] Hrdý Milan; Horová Michaela, *Strategické finanční řízení a investiční rozhodování*, Praha, nakladatelství Bilance, 2011
- [23] *Zákon o daních z příjmů* [online]. [cit. 2013-05-1]. Dostupné z: <http://zakony.kurzy.cz/586-1992-zakon-o-danich-z-prijmu/paragraf-31/>