

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

## OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V ČR

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN CR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

TOMÁŠ POKORNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2008/2009

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Pokorný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Obnovitelné zdroje energie v ČR**

v anglickém jazyce:

### **Renewable energy sources in CR**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Odborná rešerše využívání obnovitelných zdrojů energie v ČR se zaměřením na malé vodní elektrárny

Cíle bakalářské práce:

Historie a současný stav využívání malých vodních zdrojů v ČR

Charakteristika strojního zařízení MVE

Bilanční výpočty pro vybranou lokalitu MVE

Seznam odborné literatury:

Melichar, J. a kol.: Malé vodní turbíny, ČVUT Praha 1998  
firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 24.10.2008

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

Obnovitelné zdroje energie v ČR se zaměřením na malé vodní elektrárny. Bakalářská práce obecného bakalářského studia 3. ročníku. Uvedená bakalářská práce je odborná technická rešerše. Obsahem této rešerše je rozbor strojního zařízení, které se používá pro malé vodní elektrárny, zhodnocení historie a současného stavu využívání vodních zdrojů, rozbor základních výpočtových vztahů a ukázka základních výkonnostních výpočtů pro danou lokalitu.

Klíčová slova: malá vodní elektrárna, MVE, turbína, elektrická energie, výkon, účinnost.

## Abstract

Renewable energy sources in CR with a view to small water power plants. Bachelor's thesis of common bachelor studies of 3th years. This bachelor's thesis is technical literature search. The contents of this search is an analysis of a mechanical equipment of that are used for small water power plants, analysis of history and present state of exploitations water sources and display of elementary performance calculations for a given locality.

Key words: small power plant, SPP, turbine, electric power, performance, operation.

## Bibliografická citace

POKORNÝ, T. *Obnovitelné zdroje energie v ČR*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 28 s.

Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne:

.....

Tomáš Pokorný

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. za odborné vedení, rady a připomínky při zpracovávání bakalářské práce. Dále chci poděkovat svým rodičům, kteří mi byli oporou a poskytli mi zázemí po celou dobu trvání mého studia.

## Obsah

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Úvod .....</b>                                                | <b>3</b>  |
| <b>2. Pojem malá vodní elektrárna – MVE .....</b>                   | <b>5</b>  |
| <b>3. Dělení MVE dle instalovaného výkonu .....</b>                 | <b>5</b>  |
| <b>4. Ekologická zátěž způsobená přehradou .....</b>                | <b>5</b>  |
| <b>5. Rozdělení vodních elektráren podle funkce .....</b>           | <b>6</b>  |
| 5.1 Přečerpávací elektrárna .....                                   | 6         |
| 5.2 Přílivové elektrárny .....                                      | 6         |
| 5.3 Průtokové elektrárny .....                                      | 6         |
| <b>6. Části vodní elektrárny .....</b>                              | <b>6</b>  |
| 6.1 Vtokové objekty .....                                           | 7         |
| 6.1.1 Vzdušovací zařízení .....                                     | 7         |
| 6.1.2 Česle .....                                                   | 7         |
| 6.2 Přivaděče a odpady .....                                        | 7         |
| 6.3 Provozní objekty .....                                          | 7         |
| <b>7. Klasifikace vodních strojů používaných pro MVE .....</b>      | <b>8</b>  |
| <b>8. Stručný popis funkce základních strojních částí MVE .....</b> | <b>8</b>  |
| <b>9. Vodní motor .....</b>                                         | <b>9</b>  |
| 9.1 Vodní kolo .....                                                | 9         |
| 9.2 Vodní turbína .....                                             | 9         |
| 9.2.1 Eulerova turbínová rovnice .....                              | 10        |
| 9.2.2 Rozdělení vodních turbín .....                                | 10        |
| <b>10. Ochrana strojního zařízení vodní elektrárny.....</b>         | <b>12</b> |
| 10.1 Výpadek elektrické sítě .....                                  | 12        |
| 10.2 Hydraulický ráz .....                                          | 12        |
| 10.2.1 Vyrovnávací komora .....                                     | 13        |
| 10.2.2 Funkce vyrovnávací komory .....                              | 13        |
| 10.2.3 Druhy vyrovnávacích komor .....                              | 13        |

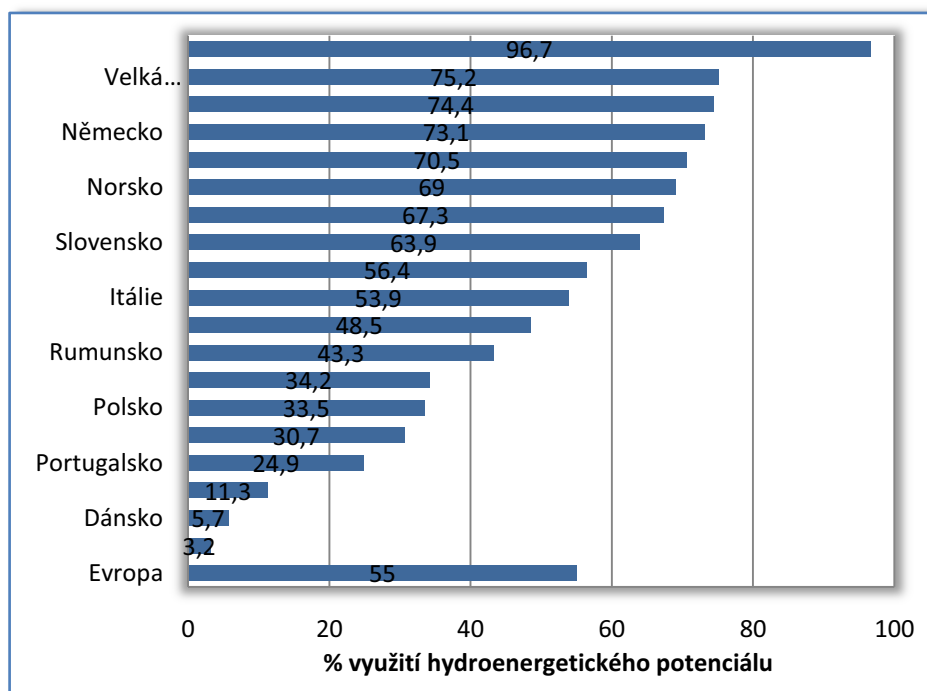
|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>11. Základní typy vodních turbín používaných pro MVE .....</b>            | <b>14</b> |
| 11.1 Kaplanova turbína .....                                                 | 14        |
| 11.1.1 Historie vzniku turbíny .....                                         | 14        |
| 11.1.2 Technické specifikace turbíny .....                                   | 15        |
| 11.1.3 Základní výpočtový vztah .....                                        | 16        |
| 11.2 Peltonova turbína .....                                                 | 17        |
| 11.2.1 Technické specifikace turbíny .....                                   | 17        |
| 11.2.2 Aplikace Peltonovy turbíny .....                                      | 18        |
| 11.2.3 Základní výpočtové vztahy pro Peltonovu turbínu .....                 | 18        |
| 11.3 Bánkiho turbína .....                                                   | 19        |
| 11.3.1 Popis funkce Bánkiho turbíny .....                                    | 19        |
| 11.3.2 Aplikace Bánkiho turbíny .....                                        | 20        |
| 11.4 Francisova turbína .....                                                | 21        |
| 11.4.1 Historie vzniku turbíny .....                                         | 21        |
| 11.4.2 Technické specifikace turbíny .....                                   | 21        |
| <b>12. Porovnání výkonnosti základních typů vodních turbín pro MVE .....</b> | <b>22</b> |
| <b>13. Bilanční výpočet základních parametrů vodní nádrže Brno .....</b>     | <b>23</b> |
| 13.1 Charakteristika elektrárny .....                                        | 23        |
| 13.2 Technické parametry .....                                               | 23        |
| <b>Závěr .....</b>                                                           | <b>25</b> |
| Seznam použité literatury .....                                              | 26        |
| Seznam použitých veličin, zkratk a symbolů.....                              | 27        |

## Úvod

Energetiku lze právem považovat za páteř ekonomiky všech vyspělých států. Rozvoj společnosti přináší neustále rostoucí poptávku po energii, a to i navzdory snahám o úsporu a používání energeticky méně náročných technologií. Země s vysokým stupněm hospodářského, technického a společenského rozvoje vyvíjejí velké nároky na odolnost, flexibilitu a spolehlivost energetiky. Tyto vlastnosti lze docílit kvalitní rozvodnou sítí a vhodně zvoleným spektrem zdrojů výroby elektrické energie.

Fosilní paliva představují dnes nejdůležitější, avšak vyčerpatelný zdroj energie. Česká republika nedisponuje příliš velkými zdroji fosilních paliv, přičemž cena těchto surovin s výhledem do budoucna pouze poroste. Využití ložisek uhlí je z důvodu vysoké hustoty zalidnění a velké ekologické zátěže omezené. Je logické očekávat, že se energetika České republiky bude do budoucna orientovat na jaderné elektrárny a obnovitelné zdroje. S ohledem na to, jak dynamicky se rozvíjejí jaderné technologie, a s tím související znovu využití jaderného paliva, je jen otázkou času, kdy se i jaderná energetika zařadí po boku obnovitelných zdrojů.

V současné době však největší podíl na výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů připadá na vodní elektrárny. Vodní energie je jednou z nejdéle používaných forem energie a zároveň nevyčerpatelný zdroj energie v přírodě. Potenciál pro výrobu elektrické energie z vodních toků je přírodním bohatstvím a musí se tedy co nejefektivněji využít. V České republice je hydroelektrický potenciál využíván ze 34 %. Vyspělé evropské státy využívají svůj hydroelektrický potenciál v průměru ze 70% . [1] [2]



Obr. 1.1 - Využití hydroenergetického potenciálu v zemích Evropy, USA a Kanady [1]



Přínos každého vodního díla nespočívá jen ve výrobě elektřiny. Smysl přehrad spočívá například i v zmírnění škod při povodních nebo jako rezervoár vody atd. Vodní díla jsou tedy víceúčelové stavby, které přinášejí společnosti celou řadu možností pro jejich využití. Výrobou elektrické energie z vodních zdrojů zvyšujeme flexibilitu naší energetiky. Česká republika má průmyslovou exportní ekonomiku, což vytváří velké nároky na odběr zejména v ranních hodinách, v důsledku čehož se křivky odběru elektrické energie v určitých částech dne nebezpečně zvyšují. Vodní elektrárny jsou jako velice pružný zdroj schopny dodávat do sítě v krátkých časových intervalech potřebné množství energie a tím pokrýt extrémní v denním odběru. Energie z vodních zdrojů navíc snižuje naši závislost na okolních státech a plní funkci nevyčerpatelného ekologického zdroje. V současné době je celková spotřeba České republiky pokrývána přibližně ze 4 % právě vodními elektrárnami. [1] [3]

## **2. Pojem malá vodní elektrárna - MVE**

V důsledku velkého počtu obcí v okolí každého vodního toku by bylo v současnosti velice obtížné vybudovat nějaké rozsáhlejší vodní dílo. Což ovšem neplatí pro malé vodní elektrárny.

Základním smyslem výstavby malých vodních elektráren je snaha o zvýšení využití lokálních zdrojů vodní energie a jejich uplatnění v celkové energetické bilanci státu. Za malé vodní elektrárny (MVE) považujeme vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 10 MW. Tyto elektrárny se nejčastěji budují jako průtočné, tzn. jejich výkon závisí na aktuálním průtoku a vliv na okolí není příliš velký. MVE jsou i přesto z hlediska ekonomiky provozu a návratnosti velice zajímavou investicí.

MVE na drobných vodních tocích vznikají nejčastěji rekonstrukcí nějaké staré vodní stavby. Tato drobná vodní díla pak slouží k pokrytí vlastní spotřeby el. energie vlastníka nebo lze takto vyrobenou energii prodávat. Zákon provozovateli MVE garantuje fixní výkupní ceny za kilowatthodinu a současně ukládá povinnost provozovateli rozvodné sítě tuto elektrickou energii vykupovat. Využití drobných vodních toků má v českých zemích dlouholetou tradici. Vůbec první MVE na našem území byla vybudována v Písku v roce 1888. Růst účinnosti strojního zařízení a snížení nákladů na výstavbu způsobilo, že dnes počítáme malé vodní elektrárny na území České republiky na stovky. [1] [2]

## **3. Dělení MVE dle instalovaného výkonu**

Pozn. Za malou vodní elektrárnu považujeme elektrárnu s výkonem do 10 MW.

- průmyslové 1 až 10 MW
- veřejné 100 až 1000 KW
- drobné nebo mikroelektrárny 35 až 100 KW
- mikrozdroje pod 35 KW [3]

## **4. Ekologická zátěž způsobená přehradou**

Výstavba vodních přehrad přináší značné problémy v podobě devastace rozsáhlého území a výrazného zásahu do rázu okolní krajiny. Nejzásadnějším problémem je však usazování naplavenin na dně nádrže. Tyto naplaveniny obsahují často velké množství toxických látek, které se do vody dostanou z průmyslové výroby nebo domácností podél toku. Tyto naplaveniny mohou časem způsobit naprosté znehodnocení vody v nádrži. Následné odstranění sedimentů, se kterými se musí zacházet jako s toxickým odpadem, je veliký problém. Pokud v důsledku stavby vznikne rozlehlejší vodní plocha, je tento problém prakticky neřešitelný.

## 5. Rozdělení vodních elektráren podle funkce

### 5.1 Přečerpávací elektrárna

Je speciální typ vodní elektrárny, která slouží k uchovávání energie ve vysoko položené nádrži. Přebytek elektrické energie v síti se spotřebovává při čerpání vody přes reverzní Francisovu turbínu (slouží i jako čerpadlo) do výše položených poloh. Tím vzniká potenciální energie, která je připravena k opětovnému přeměnění na energii elektrickou. Přečerpávací elektrárna slouží jako důležitý doplněk energetické sítě. Tato elektrárna pomáhá vyrovnávat bilance v odběru elektrické energie zejména v ranních hodinách. [2]

### 5.2 Přílivové elektrárny

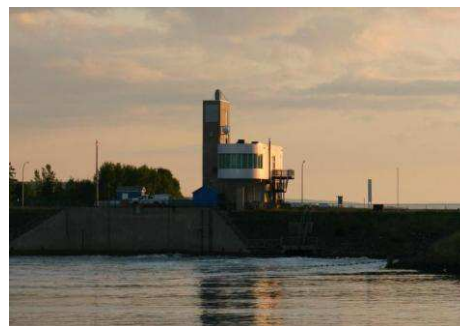
Využívají periodicky střídavého přílivu a odlivu moře pro roztočení turbíny. Mechanická energie rotujícího hřídele je tedy nepřímo získávána z kinetické energie rotující Země. Výstavba přílivové elektrárny je náročná z hlediska výběru lokality. Výstavba je totiž možná jen v místech, kde je velký rozdíl mezi výškami hladin při přílivu a odlivu.

### 5.3 Průtokové elektrárny

Nazývají se též říční elektrárny. Pro výrobu elektrické energie využívají aktuální průtok vody v řece. Pro průtokové elektrárny se často stavějí umělé kanály podél řeky. Tento typ průtokové elektrárny se nazývá derivační.



Obr. 5.1 - Přečerpávací elektrárna Dlouhé stráně [3]



Obr. 5.2 - Říční elektrárna [3]

## 6. Části vodní elektrárny

Vodní elektrárnu je možno z hlediska konstrukce a funkce jednotlivých částí rozdělit do tří základních skupin a to sice na vtokové, příváděcí a provozní objekty. Zpřesňující údaje o jednotlivých částech a celých objektech MVE nám určuje projektová dokumentace a hydraulický návrh řešení MVE, které jsou projektovány přesně na míru dané lokality, aby bylo zaručeno co nejvyšší využití potenciálu daného místa. Právě snaha o dosažení co možná nejvyššího využití hydroelektrického potenciálu vodního toku je určujícím faktorem pro výběr vhodných částí MVE. [2]

## 6.1 Vtokové objekty

Základním účelem vtokového objektu je zajistit plynulost přítoku (pomocí vzdouvacího zařízení) a současně ochránit strojní zařízení MVE před nasátím naplavenin (pomocí česlí). To by mohlo vést v konečném důsledku k zničení celého strojního vybavení MVE. Vtokové objekty můžeme rozdělit na tlakové a beztlakové. Proudění kapaliny beztlakovým přivaděčem se děje za atmosférického tlaku to je zpravidla na hladině. Oproti tomu u tlakových přivaděčů má proudící kapalina přiváděná do prostoru turbíny hydrostatický tlak, z čehož vyplývá, že ústí tlakového přivaděče je umístěno pod úrovní hladiny. [2] [3]

**6.1.1 Vzdouvací zařízení** slouží k zadržení větší masy vody a k vytvoření umělého rezervoáru. Vlivem tohoto zařízení dojde k vzedmutí hladiny a vytvoření potencionální energie vody, která se dále využívá. Podle objemu zadržené vody a výšky vzedmutí hladiny můžeme dále rozlišovat:

- a) hráze (velké vzedmutí hladiny a masa zadržované vody)
- b) jezy (menší vzedmutí hladiny a malá zátopová plocha)

**6.1.2 Česle** jsou mechanické zábrany proti vniknutí cizích těles do prostoru turbíny. Česle mají tvar tyčí nebo pásů. Jsou nainstalovány před vstupem do kanálů.

## 6.2 Přivaděče a odpady

Účelem přivaděčů a odpadů je přívod a následný odvod proudící kapaliny do a následně z prostoru turbíny. Tato část MVE bývá z finančního hlediska velice náročná, a proto se jí při tvorbě návrhů a projektů věnuje velká pozornost. Přivaděče slouží rovněž k vytváření spádu a tím tlakové energie, která je následně přeměňována na mechanickou energii rotujícího hřídele. Je nezbytné, aby při průtoku vznikaly co možná nejmenší ztráty.[2]

## 6.3 Provozní objekty

Hlavními částmi provozního objektu MVE jsou strojovna, budova elektrárny a rozvodní zařízení. Logicky nejvýznamnější částí provozních objektů je strojovna. V tomto prostoru MVE se nacházejí hlavní části strojního a elektrotechnického vybavení elektrárny jako turbína, generátor, transformátor. Nejpoužívanější druhy strojního zařízení pro MVE jsou popsány později. [2]

## 7. Klasifikace vodních strojů používaných pro MVE

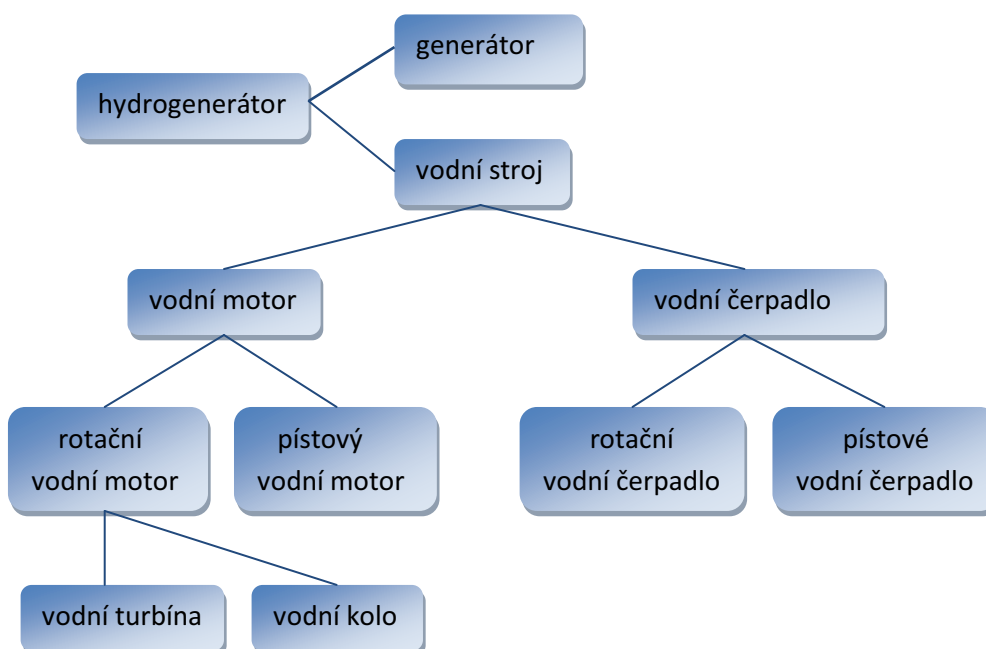


Schéma členění základních částí hydrogenerátoru [1]

## 8. Stručný popis funkce základních strojních částí MVE

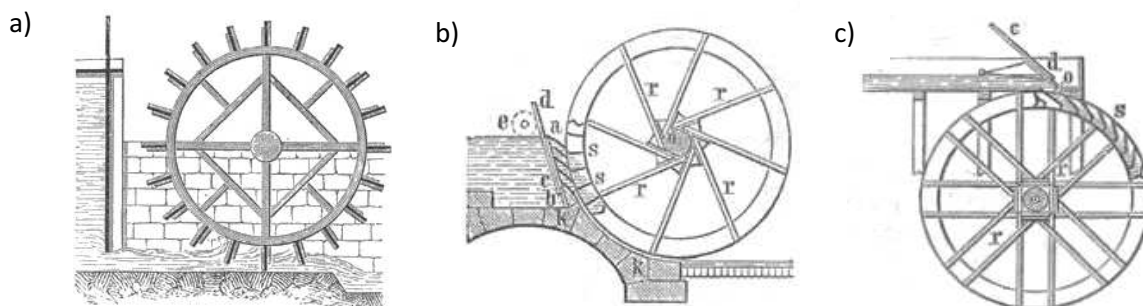
- **Hydroagregát** je základní strojní zařízení MVE. Skládá se z turbíny a z hydroalternátoru.
- **Vodní motor** přeměňuje kinetickou nebo tlakovou energii vody na mechanickou energii rotujícího hřídele.
- Základní typy vodních motorů : a) turbína - Kaplanova  
- Peltonova  
- Francisova  
- Bánkiho  
b) vodní kolo - s horním nátokem  
- se spodním nátokem  
- se středním nátokem
- **Vodní čerpadlo** je zařízení sloužící k přeměně mechanické energie rotujícího hřídele na kinetickou nebo tlakovou energii vody.
- **Generátor** je zařízení, které převádí mechanickou energii rotujícího hřídele na střídavý elektrický proud.
- **Motor generátor** se používá zejména u přečerpávacích vodních elektráren. Slouží k přeměně mechanické energie rotujícího hřídele na elektrický proud a naopak. [1]

## 9. Vodní motor

### 9.1 Vodní kolo

Vodní kolo je jedno z nejstarších zařízení využívající potenciální a kinetickou energii vodního toku, kterou následně přemění na mechanickou energii. Síla vodního toku patří mezi nejnázve využitelné a nejdostupnější zdroje přírodní energie. První vodní kolo vynalezl Kteribius Alexandrijský v roce 135 př.n.l. Vodní kolo bylo pro svoji konstrukční jednoduchost využíváno ve všech obdobích rozvoje lidské společnosti. Používalo se především jako mechanický pohon mlýnu a v pozdější době pro pohon pil a mechanismů v kovářských dílnách. Při vhodně zvolené konstrukci může účinnost tohoto zařízení dosahovat 60 – 70 %. Podle způsobu přívodu vody na lopatky vodního kola rozlišujeme 3 základní druhy vodních kol, a to vodní kolo s nátokem horním, středním, spodním – Obr.4 [1] [3]

- Kolo se spodním nátokem využívá pouze kinetické energie proudící vody.
- Kolo se středním nátokem využívá i potenciální energii vody, která je získána rozdílem hladin mezi přitékajícím a odtékajícím proudem.
- U kola s horním nátokem se proud přivádí na vrchní část kola. Tento typ využívá především potenciální energie vody. Tento typ kol byl nejrozšířenější.



Obr. 9.1 - Uspořádání vodních kol: a) spodní nátok b) střední nátok c) horní nátok [3]

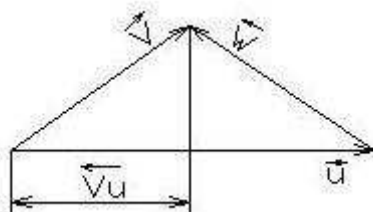
### 9.2 Vodní turbína

V období industrializace, tedy počátkem dvacátého století, bylo vodní kolo nahrazeno mnohem účinnější vodní turbínou. Vodní turbína je v podstatě rotační mechanický stroj, který je konstrukčně mnohem složitější než vodní kolo a dosahuje výrazně větší účinnosti. Základní částí turbíny, která určuje charakter práce a přenosu energie vody, jsou její lopatky. Vodní proud obtéká lopatky a prostřednictvím nich předává svoji energii na hřídel turbíny. Společně s generátorem je turbína nejdůležitějším strojním zařízením MVE. Konstrukční řešení, obtékání lopatek a pracovní proces se u různých typů turbín liší. Proto vodní turbíny dělíme do několika skupin podle způsobu přenosu energie na oběžné kolo, orientace proudění a pracovní polohy. Všechny tyto typy turbín nám z energetického hlediska charakterizuje Eulerova turbínová rovnice.

### 9.2.1. Eulerova turbínová rovnice

$$Y = u_1 \cdot V_{u1} - u_2 \cdot V_{u2} \quad [J/Kg] \quad (9.1)$$

kde  $u_1$  je unášivá rychlost na vstupu,  $V_{u1}$  průmět absolutní rychlosti na vstupu do obvodového směru,  $u_2$  unášivá rychlost na výstupu,  $V_{u2}$  průmět absolutní rychlosti na výstupu do obvodového směru,  $Y$  měrná energie turbíny,  $w$  relativní rychlost [18]



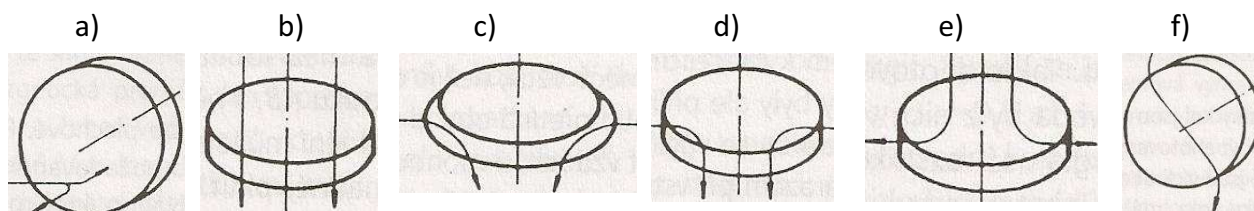
Obr. 9.2 - Rychlostní trojúhelník

### 9.2.2 Rozdělení vodních turbín

#### 1. Podle orientace proudění kapaliny:

Pozn. Orientaci proudění uvažujeme vzhledem k hřídeli.

- **Tangenciální** - voda proudí okolo lopatek oběžného kola v tangenciálním směru. Toto uspořádání je typické například pro *Petonovu turbínu*. - Obr. 7 a)
- **Axiální** - voda protéká přes oběžné kolo rovnoběžně s hřídelí. Tento způsob proudění je typický pro *Kaplanovu turbínu*. - Obr. 7 b)
- **Radiálně axiální** - proudění vody turbínou pak můžeme rozdělit do dvou částí
  - a) Voda je přiváděna na oběžné kolo kolmo na hřídel tedy radiálně.
  - b) V průběhu obtékání lopatek oběžného kola dochází ke změně orientace proudu, který je v poslední fázi rovnoběžný s hřídelí, tedy axiální.
 Tento druh proudění je typický pro *Francisovu turbínu*. - Obr 7 c)
- **Radiálně dostředivé** - voda je přiváděna na oběžné kolo kolmo vzhledem k hřídeli vnějším potrubím. Tento způsob je typický pro první varianty Francisovy turbíny, v důsledku snahy o zvyšování účinnosti turbíny se od tohoto způsobu upustilo. Obr. 7 d)
- **Radiálně odstředivé** - voda je přiváděna na oběžné kolo v kolmém smyslu vzhledem k hřídeli vnitřním přívodním potrubím. - Obr. 7 e)
- **S dvojnásobným průtokem** - vodní proud dopadá na lopatky vodního kola, předá část energie. Kapalina proudí dále volným prostorem vně oběžného kola a dopadá na protilehlou stranu. Toto technické řešení je typické pro *Bánkiho turbínu*. Obr 7 f) [1]



Obr. 9.4 - Rozdělení turbín podle směru proudění oběžným kolem vzhledem k hřídeli [1]

Orientace proudění kapaliny vzhledem k hřídeli určuje celkové konstrukční řešení turbíny a jsou jím ovlivněné veškeré části turbíny od lopatek oběžného kola až po přívodní potrubí. Nejpoužívanější typy proudění jsou proudění tangenciální (*Peltonova turbína*), axiální (*Kaplanova turbína*), radiálně axiální (*Francisova turbína*), s dvojnásobným průtokem (*Bánkiho turbína*). Orientace proudění kapaliny je jedním ze základních hledisek dělení vodních turbín.

## II. Podle způsobu přenosu vodní energie na lopatky turbíny:

- **Rovnotlaké turbíny**

Pro tento druh turbín je charakteristické, že v prostoru oběžného kola je atmosférický tlak, který je neustále konstantní. Prostor je vyplněn vodní tříští, která odtéká pryč, z čehož tedy vyplývá, že celá potencionální (tlaková) energie vodního sloupce je přeměněna v přívodním potrubí na energii kinetickou. Dochází tedy k snižování tlaku kapaliny a zvyšování rychlosti proudění. V důsledku velké průtokové rychlosti vznikne vodní paprsek, který přivádíme na lopatky turbíny nejčastěji volným prostorem. Paprsek následně naráží na lopatky turbíny a působí na ně silou  $F$ . [1][2]

Výpočet síly  $F$  vodního paprsku působící na pohybující se desku (lopatku):

$$F = \rho \cdot S \cdot (V - u)^2 \quad [\text{N}] \quad (9.2)$$

kde  $F$  je působící síla,  $S$  plocha průřezu paprsku,  $V$  rychlost toku vodního paprsku,  $u$  obvodová rychlost. [18]

Typickým představitelem přetlakových turbín je Peltonova turbína a částečně také Bánkiho turbína.

### *Pracovní proces u rovnotlaké turbíny se rozděluje na dvě základní fáze:*

- a) Přenos kinetické energie vodního paprsku volným prostorem od výstupní trysky (dýzy) k lopatkám oběžného kola turbíny. Pro zachování celé kinetické energie je nutné, aby nedošlo k porušení celistvosti paprsku. To je možné pouze na krátkou vzdálenost.
- b) Dopad vodního paprsku na břit lopatky a následné přeměnění co největší části kinetické energie vodního paprsku na mechanickou energii. Po hydraulické stránce je tedy nutné volit geometrii a uspořádání lopatek tak, aby docházelo pouze k minimálním ztrátám energie.

Obě tyto pracovní fáze mají významný vliv na celkovou účinnost stroje.

- **Přetlakové turbíny**

Základní charakteristikou přetlakové turbíny je, že v prostoru oběžného kola je přetlak, který se směrem k odtoku turbíny snižuje. V přívodních kanálech se přemění pouze část potencionální energie na kinetickou energii vodního proudu. Zbývající tlaková energie vody se přemění na kinetickou v průběhu obtékání lopatek oběžného kola, tedy při průchodu mezilopátkovými (pohyblivými) kanály. Hydrostatický tlak se při průtoku vody prostorem oběžného kola směrem k odtokovému otvoru snižuje, dochází tedy k nárůstu kinetické energie proudící kapaliny, která se následně přemění na mechanickou energii rotujícího hřídele, z čehož vyplývá, že v přívodním potrubí a v prostoru okolo lopatek turbíny je přetlak. Voda vytékající z prostoru oběžného kola má ještě část využitelné kinetické energie. Je nasávána savkami, ve kterých dochází k snížení kinetické energie vodního proudu a následnému odvedení vody potrubím. [1] [2]

*Rovnice popisující diferenci tlaků před a za turbínou:*

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot [(w_2^2 - w_1^2) + (u_1^2 - u_2^2)] \text{ [Pa]} \quad (9.3)$$

kde  $p_1$  je tlak na vstupu,  $p_2$  tlak na výstupu,  $\rho$  hustota kapaliny,  $w_2$  relativní rychlost na výstupu,  $w_1$  relativní rychlost na vstupu,  $u_2$  unášivá rychlost na výstupu,  $u_1$  unášivá rychlost na vstupu. [18]

Pozn. Unášivá rychlost je rychlost rotace v daném bodě  $u = R \cdot \omega$  (9.4), relativní rychlost  $w$  je tečná k lopatkám. [18]

## 10. Ochrana strojního zařízení vodní elektrárny

### 10.1 Výpadek elektrické sítě

je největším nebezpečím pro strojní zařízení vodních elektráren, jelikož generátor je brzděn právě elektrickou sítí. Při výpadku se generátor společně s turbínou roztočí do nebezpečných otáček. V tomto režimu mohou turbína i generátor pracovat jen pár vteřin, než dojde k destrukci celého zařízení, proto je nutné co nejrychleji odpojit turbínu od zdroje pohonu, tedy vodního toku. To je možné realizovat odkloněním vodního paprsku nebo uzavřením přívodního potrubí. Uzavřením potrubí však zavádíme do systému velké hydraulické rázy.[18]

### 10.2 Hydraulický ráz

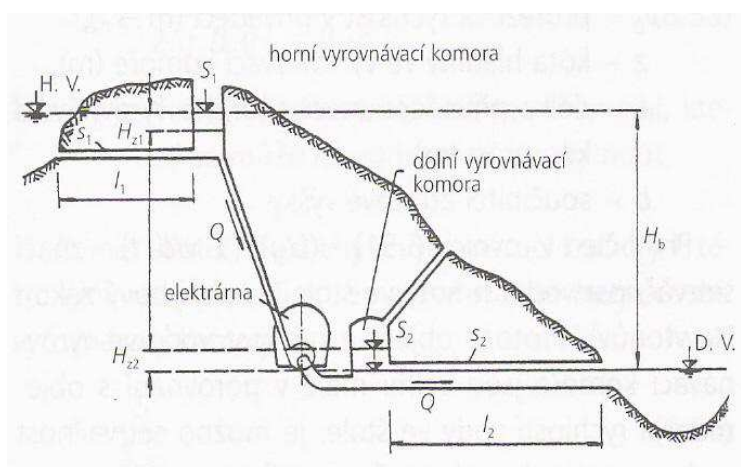
je situace, kdy dojde k prudkému nárůstu tlakové energie v potrubí. Tento jev vychází ze zákona zachování energie. Kinetická energie proudící kapaliny se vlivem uzavření cesty průtoku přemění na energii tlakovou. V případě, že je uzavření okamžité, mluvíme o totálním hydraulickém rázu, který může způsobit destrukci potrubí. Ochranu před vodním rázem lze realizovat pomocí vyrovnávací komory. [18]

*Vztah pro výpočet totálního rázu:*  $\Delta p = \rho \cdot a \cdot \Delta V$  [Pa] (9.5)

kde  $\Delta p$  je nárůst tlaku,  $\rho$  hustota kapaliny,  $a$  rychlost zvuku,  $\Delta V$  změna rychlosti proudu [18]

**10.2.1 Vyrovnávací komora** je v podstatě nádrž s volnou hladinou. Vyrovnávací komora je napojena na vysokotlaký potrubní systém vodní elektrárny. Podle polohy vyrovnávací komory rozlišujeme dva typy komor:

- Horní vyrovnávací komora, která se umísťuje na počátek tlakového turbínového potrubí. Komora tedy tvoří spoj mezi tlakovým přívodním potrubím s malým sklonem a vysokotlakým turbínovým potrubím o velkém sklonu.
- Dolní vyrovnávací komora, která je umístěna za výtokem z turbíny.



Obr. 10.1 - Schéma vyrovnávací komory [1]



Obr. 10.2 - Horní vyrovnávací komora [3]

### 10.2.2 Funkce vyrovnávací komory

- Vyrovnávací komora přispívá ke zmenšení výkyvů tlaku při vodním rázu vyvolané náhlým uzavřením přívodního potrubí při havarijním stavu nebo při náhlém odstavení turbíny.
- Vyrovnávací komora rozděluje dlouhé přívodní potrubí a vytváří umělý rezervoár vody, který přispívá k plynulosti chodu a regulaci turbíny a eliminuje výkyvy v průtoku vlivem poklesu odběru turbíny.
- Vyrovnávací komora zabraňuje postupu tlakových vln při vzniku hydraulického rázu dále do horní části přívodního potrubí. [1]

### 10.2.3 Druhy vyrovnávacích komor

Při volbě konstrukce a typu vyrovnávací komory je důležité zhodnotit několik kritérií:

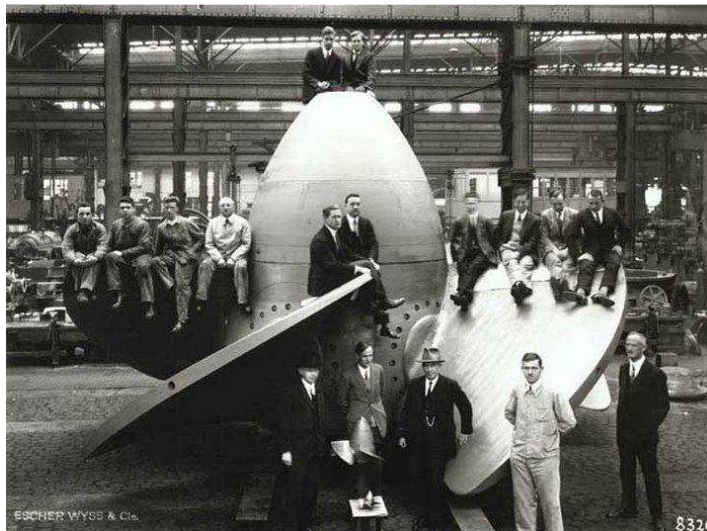
- nutnost výstavby vyrovnávací komory a umístění z hlediska tlumení vodního rázu
- výpočet rozměru komory s ohledem na maximální ráz (totální), který může nastat
- ověření stability vyrovnávací komory z hlediska tlumení výkyvů při regulaci [1]

## 11. Základní typy vodních turbín používaných pro MVE

### 11.1 Kaplanova turbína



Obr. 11.1 - Viktor Kaplan [3]



Obr. 11.2 - Šroub Kaplanovy turbíny [6]

Kaplanova turbína je přetlaková axiální turbína s velmi dobrou možností regulace. Tato turbína je vzhledem k hydrogeologickým podmínkám velice variabilní strojní zařízení. Používá se v rozmezí spádů od 1 do 70 m. Nejčastější použití však nalezneme při spádech od 2 do 4 metrů při průtoku od 500 do 3000 litrů za sekundu. Z tohoto důvodu patří mezi nejčastěji používané strojní zařízení u malospádových vodních elektráren, které svým výkonem spadají do kategorie MVE. [1] [8]

#### 11.1.1 Historie vzniku turbíny

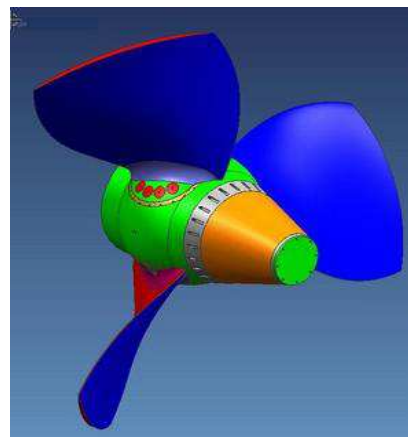
Turbína je dílem brněnského akademika Viktora Kaplana. Kaplan působil na tehdejší Německé technické univerzitě, která byla předchůdcem dnešního Vysokého učení technického. Původně chtěl Kaplan zvýšit účinnost již existující Francisovy turbíny, avšak postupným zdokonalováním dospěl k zcela novému zařízení, které připomínalo spíš lodní šroub, ale s natáčivými lopatkami. Právě možnost natáčet lopatky podle velikosti aktuálního průtoku dělá z Kaplanovy turbíny revoluční vynález. Tato vlastnost zajišťuje zachování vysoké účinnosti i při relativně malém průtoku. Po zkouškách se ukázalo, že turbína dosahuje vynikající hydraulické účinnosti až 86 %. Bylo tedy jen otázkou času, kdy se její používání stane celosvětovou záležitostí. [3] [8]

Cesta přes patentový úřad však nebyla jednoduchá. Kaplan často narážel na odpor, a to zejména ze strany firem, které se zabývaly výrobou Francisovy turbíny a Kaplanův vynález pochopily spíš jako ohrožení vlastních podnikatelských zájmů, než jako novátorské dílo. Kaplanovi odpůrci také často poukazovali na nevyřešené problémy v oblasti kavitace. Jak napovídá slovo kavitace (z latinského *cavitas*-dutina), docházelo k vzniku dutin v kapalině vlivem lokálního poklesu tlaku. Tento nežádoucí jev způsobuje

nadměrný hluk, snižuje účinnost a zvyšuje mechanické opotřebení na lopatkách turbíny. Celkově tedy výrazně snižuje životnost. Tento problém se podařilo vyřešit až Kaplanovým žákům. [3]



Obr. 11.3 - Poškození v důsledku působení kavitace [5]



Obr. 11.4 - 3D model tvaru lopatek Kaplanovy turbíny [12]

Přestože Kaplanovi ještě nebylo přiznáno duševní vlastnictví, byla v roce 1918 započata práce na výrobě turbíny podle jeho návrhů a výpočtů v brněnské továrně Ignáce Storka. Nakonec v roce 1920 úředníci patentového úřadu pochopili výjimečnost tohoto vynálezu a Viktor Kaplan se i přes počáteční odpor dočkal přijetí svého patentu. Vynález Viktora Kaplana se stal jedním z nejvýznamnějších artiklů českého strojírenství. Prvního velkého úspěchu se tato turbína dočkala v roce 1925. V tomto roce proběhla úspěšná montáž Kaplanovy turbíny ve švédském Jlla Edet. U nás je nejvýznamnější instalací tohoto strojního zařízení na přehradě Orlík. Toto velkolepé vodní dílo je osazeno celkem čtyřmi Kaplanovými turbínami o celkovém výkonu 4 x 94,5 MW! Volba tohoto typu strojního zařízení pro tak velký spád však není příliš výhodná. V současnosti by se pro tak velké vodní dílo volila s největší pravděpodobností Francisova turbína. [3]

### 11.1.2 Technické specifikace turbíny

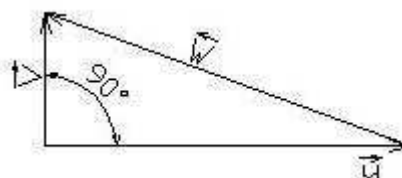
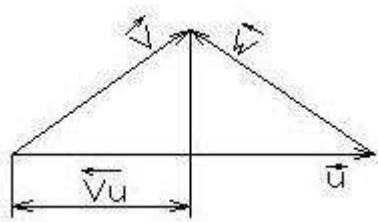
Turbína má hruškovitý charakter. Tento tvar je volen jednak z hlediska minimalizace vírů v prostoru za turbínou, jednak kvůli konstrukčnímu uspořádání ovládacího zařízení vně turbíny. V přední vypouklé části se nachází naklápěcí mechanismy sloužící k ovládání náklonu lopatek turbíny. Důležitou technickou charakteristikou Kaplanovy turbíny je rovněž možnost dvojí regulace průtoku turbínou. Průtok je totiž možné regulovat rozváděcími lopatkami a rovněž samotnými turbínovými lopatkami. Schopnost pružně reagovat na aktuální průtok vody pomocí dvojí regulace průtoku je pro MVE velice důležitá. [18]

### 11.1.3 Základní výpočtový vztah charakterizující Kaplanovu turbínu

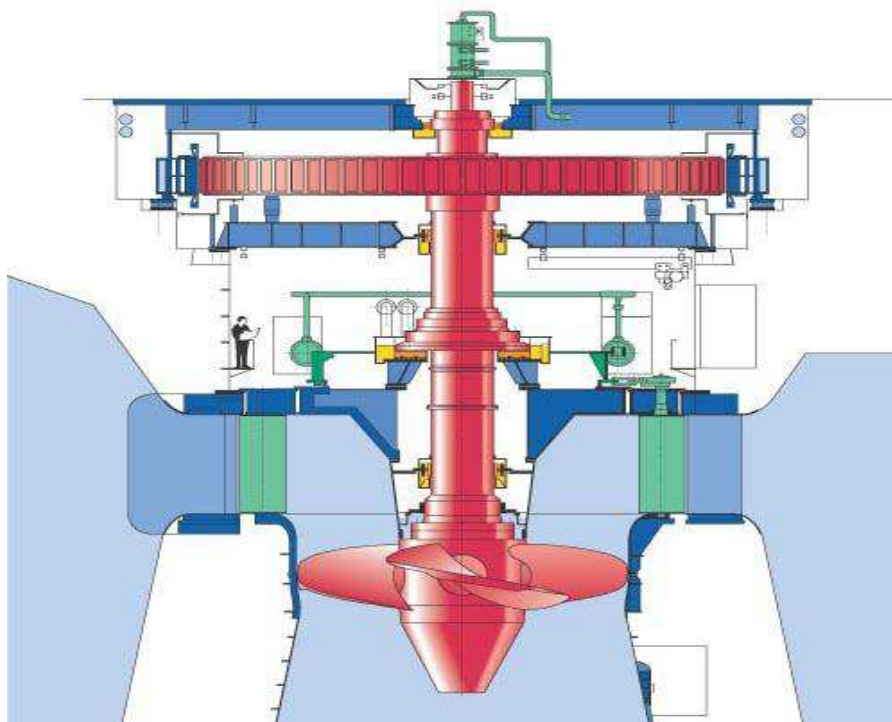
Viktor Kaplan zjistil, že maximálního výkonu turbína dosahuje, pokud voda za turbínou nevíří a odtéká v axiálním směru. Tuto skutečnost je možné matematicky dokázat na Eulerově turbínové rovnici. Maximální měrnou energii hydraulického stroje  $Y_{\max}$  docílíme tehdy, pokud je záporná část daná součinem  $u_2$  a  $V_{u2}$  co možná nejmenší, v ideálním případě nulová. Unášivá rychlost na výstupu  $u_2$  však nulová být nemůže, jelikož kapalina musí z prostoru turbíny odtékat. Nulovost tohoto součinu tedy docílíme tak, že průmět absolutní rychlosti do obvodového směru  $V_{u2}$  je nulový. Voda tedy odtéká z prostoru turbíny v axiálním směru a nevíří. [18]

$$Y = u_1 \cdot V_{u1} - u_2 \cdot V_{u2} \quad [\text{J/Kg}] \quad (11.1)$$

$$Y_{\max} = u_1 \cdot V_{u1} - u_2 \cdot 0 = u_1 \cdot V_{u1} \quad [\text{J/Kg}] \quad (11.2)$$

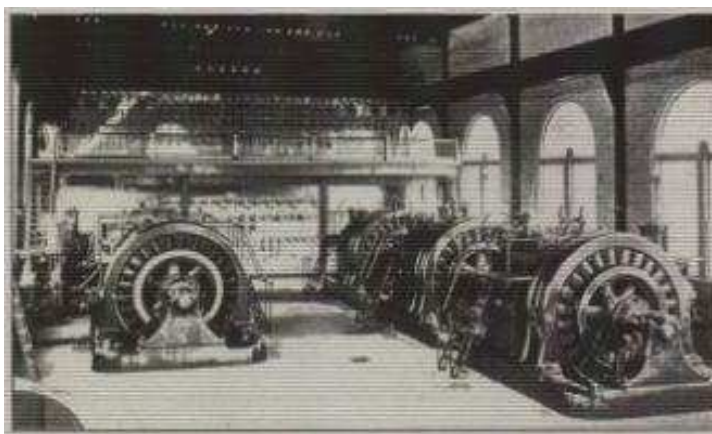
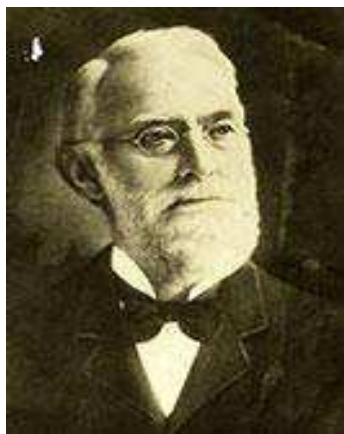


kde  $u_1$  je unášivá rychlost na vstupu,  $V_{u1}$  průmět absolutní rychlosti na vstupu do obvodového směru,  $u_2$  unášivá rychlost na výstupu,  $V_{u2}$  průmět absolutní rychlosti na výstupu do obvodového směru,  $Y$  měrná energie turbíny,  $w$  relativní rychlost. [18]



Obr. 11.5 - Řez Kaplanovy turbíny [3]

## 11.2 Peltonova turbína



Obr. 11.6 - Laster Allan Pelton [13]    Obr. 11.7 - Turbínová strojovna, Utah r.1912 [14]

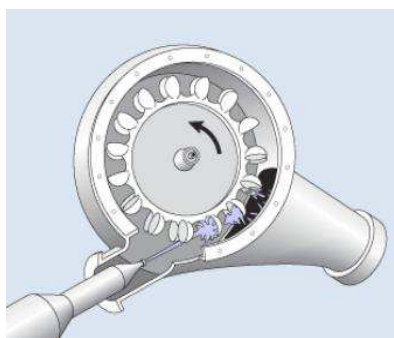
Tato turbína byla zkonstruována Lesterem Allanem Peltonem v roce 1880. Jedná se o rovnotlakou turbínu s účinností 80 až 85 % v malém provedení. Účinnost přitom s velikostí roste a u největších variant dosahuje hodnot 85 – 95 %. Peltonova turbína se používá zejména pro velkospádové toky při relativně malých průtocích, z čehož vyplývá, že nachází uplatnění zejména v horských oblastech, kde se využívá malých průtoků a vysokých tlaků vody. [3]

### 11.2.1 Technické specifikace turbíny

Základní charakteristikou Peltonovy turbíny jsou její lopatky. V ose každé lopatky se nachází břit, který dělí lopatku na dvě stejné poloviny miskovitěho charakteru. Na lopatky je proudící tekutina přiváděna potrubím kruhovitěho průřezu přes regulovatelnou dýzu. Počet dýz se volí s ohledem k velikosti průtoku a tlaku vody. Vodní paprsek vystupující z trysky dopadá na břit, rozdělí se a miskovitý charakter lopatky odkloní proudící vodu zpět. Odkloněním směru proudu dochází k předání energie vodního paprsku a následnému vytvoření momentu na oběžném kole turbíny. Proudící kapalina tedy na kolo působí v tečném smyslu. Nejvyšší účinnosti toto strojní zařízení dosahuje při vysokých tlacích vody. Oběžné kolo turbíny může být u menších variant odlité v podobě jednoho celku.



Obr. 11.8 - Montované oběžné kolo (lopatky jsou vyrobeny ve formě segmentů) [10]



Obr. 11.9 - 3D model ukazující princip pracovního procesu Peltonovy turbíny [16]



Obr. 11.10 - 3D model lopatky Peltonovy turbíny (na obrázku je patrný břit a miskovitý charakter) [15]

U větších provedení jsou lopatky oběžného kola ve formě segmentů, které se montují na nosný disk. [8] [1]

### 11.2.2 Aplikace Peltonovy turbíny

Rozsah aplikace Peltonovy turbíny je velký, používá se v rozmezí spádů od 15 m do 1800 m. V energetice se nejčastěji využívá varianta s vertikálním uložením. Vyrábí se v různých velikostech tak, aby byla zachována co nejvyšší účinnost. Ve srovnání s ostatními typy turbín se velice snadno reguluje. Regulace se provádí změnou průřezu na výtokové dýze. Tato změna se realizuje zasunutím, nebo vysunutím regulační jehly. Rychlé odstavení turbíny se provádí odkloněním průtoku. Proudící voda není v kontaktu s ložisky, proto je možné ji použít i jako pitnou vodu. [8] [1]

### 11.2.3 Základní výpočtové vztahy pro Peltonovu turbínu

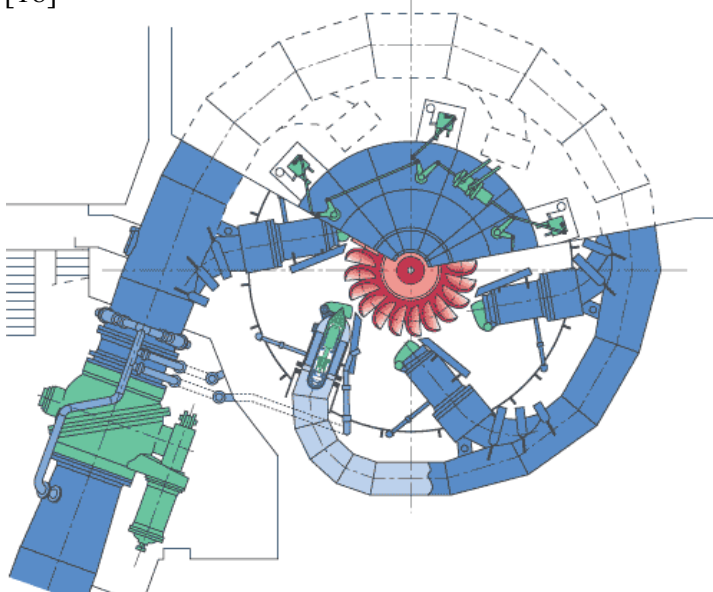
$$\text{Výpočet síly působící na koreček: } F = 2\rho SV(V - u) \text{ [N]} \quad (11.3)$$

kde  $\rho$  je hustota kapaliny,  $S$  plocha průřezu paprsku,  $V$  výtoková rychlost vodního paprsku,  $u$  obvodová rychlost korečku  $u = R \cdot \omega$  [18] (11.4)

$$\text{Teoretický výkon Peltonovy turbíny: } P_{\max} = \frac{1}{2} \rho SV^3 \text{ [Pa]} \quad (11.5)$$

kde  $\rho$  je hustota kapaliny,  $S$  plocha průřezu paprsku,  $V$  výtoková rychlost vodního paprsku. [18]

Výkon je teoretický, jelikož uvažujeme o maximálním výkonu, který můžeme z Peltonovy turbíny dostat. Tato situace nastává za předpokladu, kdy  $V = 2 \cdot u$  (11.6), což ovšem v praxi není možné. [18]

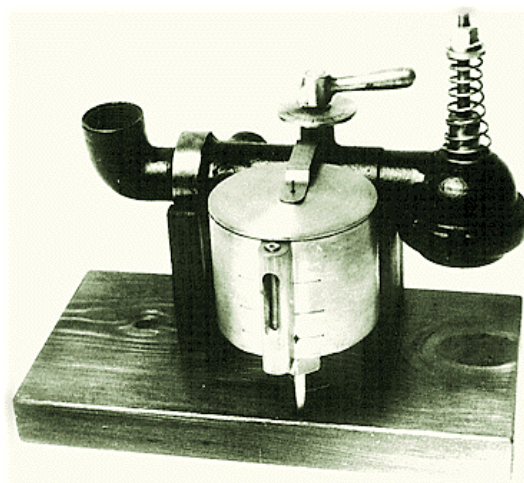


Obor. 11.11 - Půdorys instalace Peltonovy turbíny [3]

### 11.3 Bánkiho turbína



Obr. 11.12 - Donát Bánki [9]



Obr. 11.13 - Model turbíny od Donáta Bánkiho [9]

Turbína je dílem Donáta Bánkiho, který ji zkonstruoval v roce 1917. Jedná se o rovnotlakou turbínu jednoduché konstrukce. [4]

#### 11.3.1 Popis funkce Bánkiho turbíny

Voda je přiváděna do prostoru turbíny potrubím kruhového průřezu. Na konci potrubí se nachází regulační klapka. Bánkiho turbína svou konstrukcí připomíná mlýnské kolo. Základním prvkem je oběžné kolo, které je tvořeno dvěma kruhovými deskami. V prostoru mezi deskami jsou umístěny lopatky. [7]

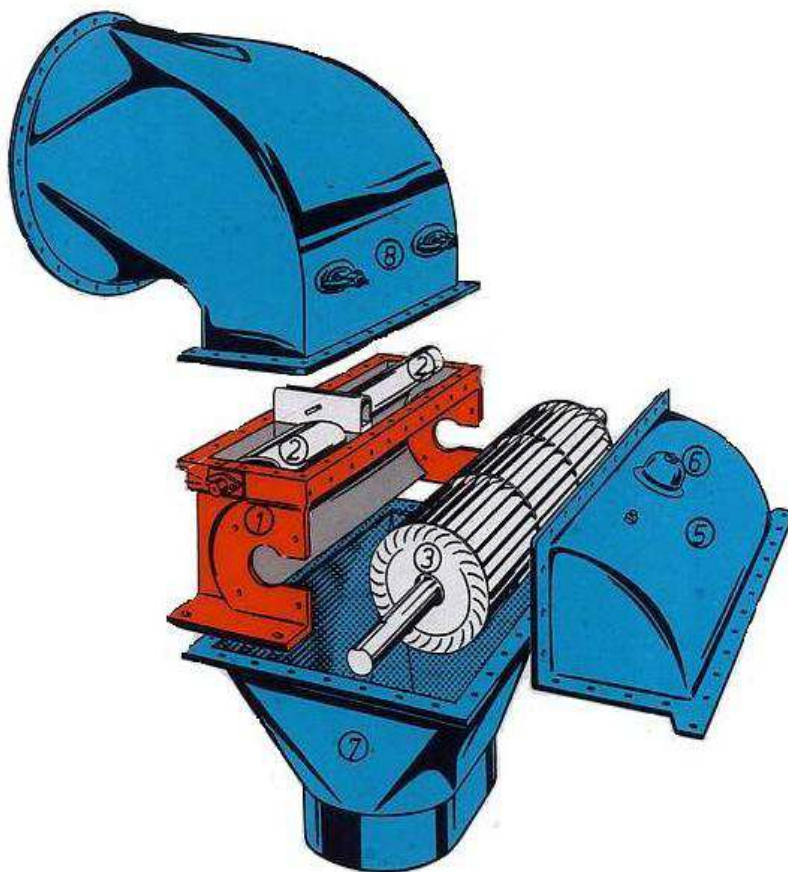
Pozoruhodné je, že proud vody obtéká lopatky ve dvou místech. Tato zvláštnost je způsobena konstrukcí lopatek turbíny, respektive jejich tvarem a natočením. Lopatky Bánkiho turbíny se totiž snaží při styku s vodním proudem odklonit proud vody do středu oběžného kola. Odklonění toku způsobí, že se podstatná část energie vody přemění na otáčivý pohyb. Při prvním obtékání lopatek se dosáhne zhruba 79 % celkového výkonu turbíny. Vodní proud následně míjí hřídel turbíny. V důsledku totožné rychlosti vody a rychlosti otáčení oběžného kola nedochází ke kolizi vodního sloupce s hřídelem. Následně nastává obtékání lopatek na protilehlé straně kola. Při sekundárním obtékání lopatek se vytvoří zbylý výkon turbíny, který činí přibližně 21 % celkového výkonu. Vodní proud následně vystupuje ze skříně oběžného kola ven. [8] [3]



Obr. 11.14 - Rotor Bánkiho turbíny [7]

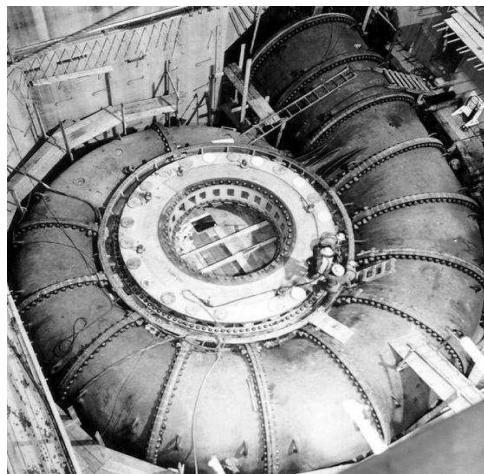
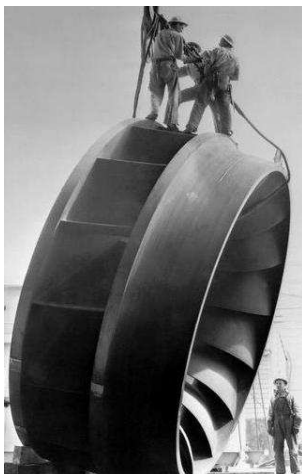
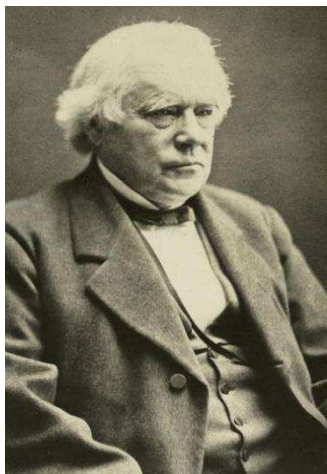
### 11.3.2 Aplikace Bánkiho turbíny

Tato turbína je oblíbená zejména pro MVE, jelikož je pro ni charakteristická jednoduchá konstrukce a z toho vyplývající nízké výrobní náklady. Používá se všude tam, kde realizace složitějšího strojního zařízení, jako například Kaplanovy nebo Francisovy turbíny, by nebylo ekonomicky vyhovující. Konstrukce této turbíny je možné realizovat i v amatérských podmínkách. Je dobře regulovatelná a není náchylná na kavitaci. Ve srovnání s turbínami s dostředivým průtokem velmi dobře odolává nečistotám a abrazivnímu opotřebení pískem. Bánkiho turbínu lze snadno přizpůsobit tak, aby přesně vyhovovala daným hydrogeologickým podmínkám, zejména volbou šířky oběžného kola, případně jejího členění do sekcí. Všechny tyto vlastnosti dělají z Bánkiho turbíny ideální strojní zařízení pro instalaci do drobných živnostenských a maloprůmyslových elektráren. [8]



Obr. 11.15 - Uspořádání Bánkiho turbíny [11]

## 11.4 Francisova turbína



Obr. 11.16 - James B. Francis [6] Obr. 11.17 - Rotor turbíny [3] Obr. 11.18 - Přívodní potrubí [4]

### 11.4.1 Historie vzniku turbíny:

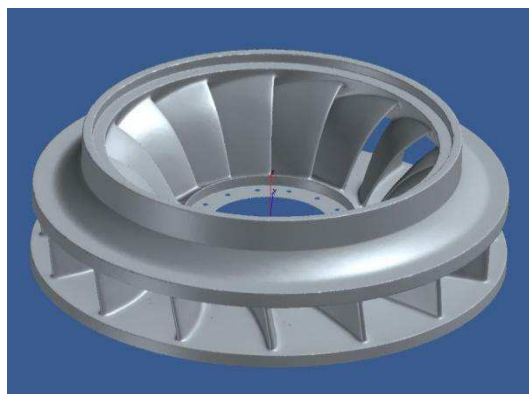
Základní konstrukce Francisovy turbíny vznikla v roce 1848. Francis vycházel z poznatků konstrukce již známých turbín. Při svém vědeckém výzkumu vycházel zejména z turbín, které postupně vyvinuli Jean-Victor Poncelet (r. 1820), Benoit Fourneyron (r. 1826) a S. B. Howd (r. 1838). Tyto turbíny pracovaly na podobném principu. James B. Francis se pomocí složitých analytických výpočtů a mnoha měření dopracoval k turbíně s velmi vysokou účinností, která dosahovala 90 %. Jeho analytický přístup a metody výpočtu, které používal při své práci, se využívají dodnes. [3]

### 11.4.2 Technické specifikace turbíny

Z hydrogeologického hlediska se Francisova turbína používá pro střední a velké průtoky při vysokém spádu, z čehož vyplývá, že se aplikuje na energeticky výkonnějších stavbách. Pro svou účinnost a konstrukční řešení se často používá zejména u přečerpávacích vodních elektráren. Například přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně, která je největší a nejvýkonnější stavbou tohoto druhu v Evropě, používá Francisovy turbíny, jejichž celkový instalovaný výkon je 2 x 325 MW. [3]

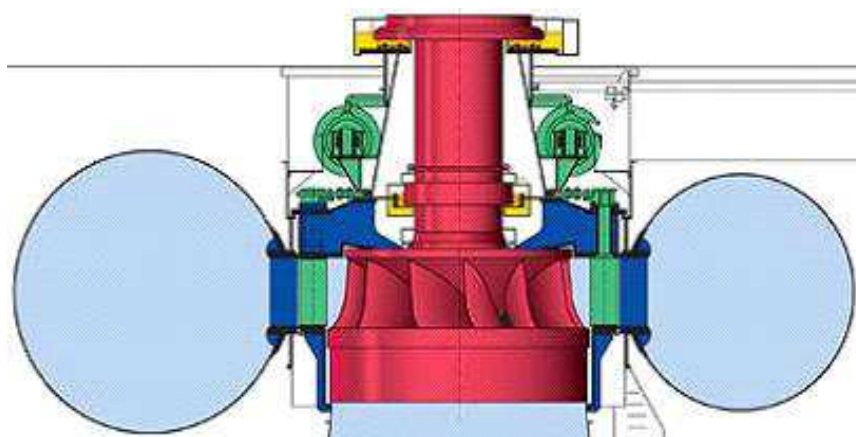


Obr. 11.19 - Přívodní šnekovitého potrubí [4]



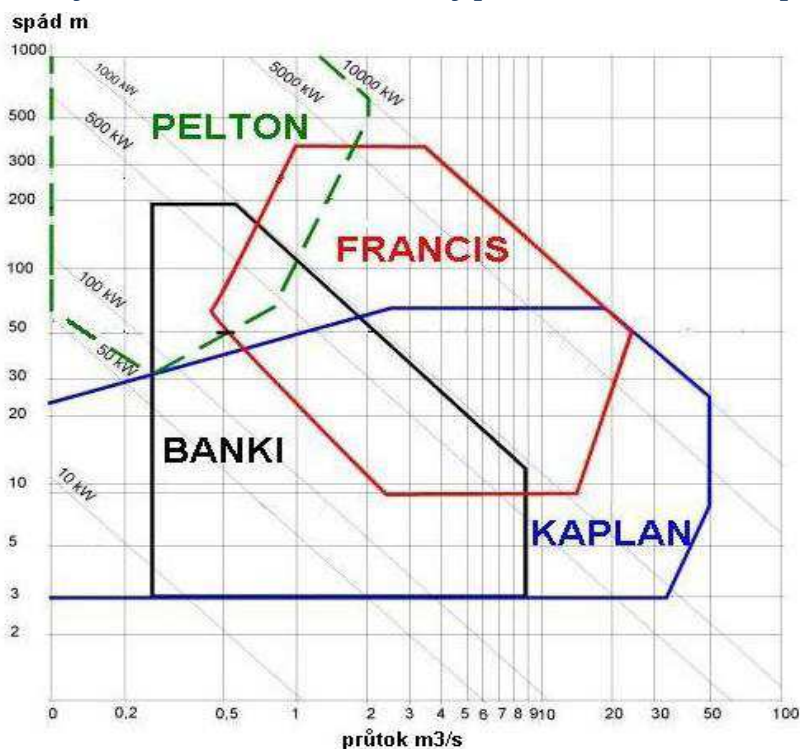
Obr. 11.20 - Model Francisovy turbíny [11]

Francisova turbína je přetlaková a dělí se do dvou variant podle uložení hřídele, a to na vertikální a horizontální. Konstrukce přetlakové turbíny je založena na principu, kdy tekutina při průchodu strojním zařízením mění svůj tlak. Přívodní potrubí má šnekovitý charakter a dochází k postupnému zužování potrubí směrem k rotoru. Konstrukce turbíny využívá rozváděcích lopatek, které regulují průtok vody a usměrňují proud na rotor. Při průchodu tekutiny tímto zařízením dochází k snížení její rotační rychlosti. Z platnosti zákona zachování energie tedy vychází, že tekutina při průchodu předá svoji energii na rotor. Toto konstrukční uspořádání společně s vysokým tlakem vody zajišťuje velkou efektivitu Francisovy turbíny.



Obr. 11.21 - Řez Francisovy turbíny [3]

## 12. Porovnání výkonnosti základních typů vodních turbín pro MVE

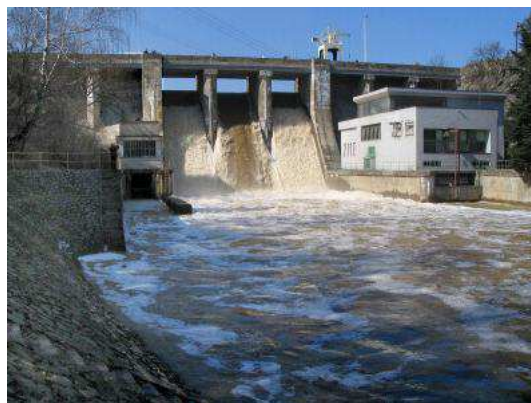


Obr. 12.1 - Oblastní diagram - porovnání výkonnosti jednotlivých turbín [17]

### 13. Bilanční výpočet základních parametrů vodní nádrže Brno



Obr. 13.1 - Stavba přehrady r. 1938 [20]



Obr. 13.2 - Průtok přehradou při povodních [20]

#### 13.1 Charakteristika elektrárny

MVE Brno Kniníčky je špičkový zdroj elektrické energie, který je primárně určen k snižování ranních a večerních odběrových špiček. Vlastníkem a provozovatelem této MVE je ČEZ obnovitelné zdroje. Elektrárna byla uvedena do provozu v roce 1941. Veškeré technické zařízení strojovny s výjimkou transformátorů je původní. Strojní zařízení elektrárny je tvořeno jednou vertikální Kaplanovou turbínou o instalovaném výkonu 3,1 MW. Optimální pracovní stav je dosahován při hltnosti  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ . [19]

#### 13.2 Technické parametry

##### Hráz:

betonová gravitační  
 kóta koruny 232,48 m n. m.  
 šířka koruny 3,0 m  
 délka hráze v koruně 120,0 m  
 výška nade dnem 23,5 m

##### Spodní výpusti:

počet  $\times$  průměr  $1 \times 2000 \text{ mm}$   
 provozní uzavěr segment  
 kapacita při max. hladině  $1 \times 48,5 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$

##### Hydrologické údaje:

plocha povodí  $1\,586,23 \text{ km}^2$   
 průměrný roční průtok  $7,68 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$   
 Q100  $335 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$   
 Q355d  $1,26 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$

##### Nádrž:

stálé nadržení  $7,600 \text{ mil. m}^3$   
 zásobní prostor  $10,800 \text{ mil. m}^3$   
 ochranný prostor  $2,600 \text{ mil. m}^3$   
 celkový objem  $21,000 \text{ mil. m}^3$   
 zatopená plocha 259 ha

##### Bezpečnostní přeliv:

typ: korunový, hrazený tabulemi  
 počet polí  $\times$  délka přelivu  $3 \times 7,0 \text{ m}$   
 kapacita při max. hladině  $366 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$

##### Elektrárna:

typ  $1 \times$  Kaplanova vertikální  
 výkon  $1 \times 3,1 \text{ MW}$   
 hltnost  $1 \times 18,0 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$   
 spád 14 – 20 m [19]

*Maximální výkon turbíny:*

$$P_{max} = Q_{max} \cdot H_{max} \cdot \rho_{H2O} \cdot g \quad (13.1)$$

$$P_{max} = 18 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 9,81$$

$$P_{max} = 3531600 \text{ W} = 3,5316 \text{ MW}$$

kde  $P_{max}$  ..... maximální výkon turbíny [MW]

$H_{max}$  ..... maximální spád [m]

$Q_{max}$  ..... maximální průtok turbínou (hltnost) [m<sup>3</sup>/s]

$g$ .....gravitační konstanta [m/s<sup>2</sup>]

*Měrná energie turbíny:*

$$Y_{max} = g \cdot H_{max} \quad (13.2)$$

$$Y_{max} = 9,81 \cdot 20 = 196,2 \text{ J/Kg}$$

kde  $Y_{max}$  .....měrná energie turbíny [J/Kg]

$H_{max}$  ..... maximální spád [m]

$g$ .....gravitační konstanta [m/s<sup>2</sup>]

*Výpočet maximální účinnosti turbíny:*

$$\eta_{max} = \frac{N}{P_{max}} = \frac{3,1}{3,5316} \cdot 100 \cong 87,8 \% \quad (13.3)$$

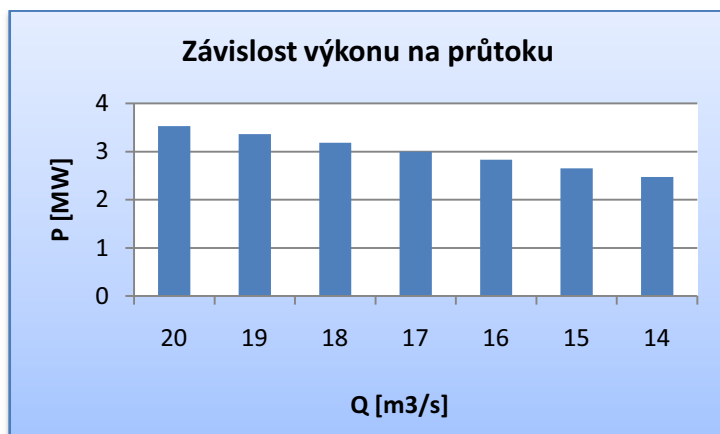
kde  $P_{max}$  ..... maximální výkon turbíny [MW]

$N$  ..... nejvyšší provozní výkon turbíny [MW]

$\eta_{max}$  .....maximální účinnost turbíny [%]

Tabulka 13.1

| Závislost výkonu a měrné energie na velikosti spádu |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| H [m]                                               | 20     | 19     | 18     | 17     | 16     | 15     | 14     |
| P [MW]                                              | 3.5316 | 3.3550 | 3.1784 | 3.0019 | 2.8253 | 2.6487 | 2.5421 |
| Y [J/Kg]                                            | 196.20 | 186.39 | 176.58 | 166.77 | 156.96 | 147.15 | 137.34 |



Obr. 13.3 - Průběh závislosti výkonu na aktuálním průtoku

## ***Závěr***

Výstavba každého vodního díla je technologicky náročný proces, na kterém se podílí mnoho inženýrských profesí. Náročnost výstavby a volba technologického řešení je ovlivněna přírodními, geologickými a hydrologickými podmínkami v dané lokalitě výstavby. Přesto vodní elektrárny zaujímají v energetice důležitou pozici. MVE a vodní energetika obecně jsou nejvýznamnější oblastí mezi obnovitelnými zdroji. Důkazem je především množství vyrobené elektrické energie, které je ve srovnání s jinými obnovitelnými zdroji mnohokrát vyšší. V poslední době je rovněž možné sledovat vzrůstající počet MVE, jež jsou nejčastěji ve vlastnictví obcí či drobných živnostníků. Současná legislativa garantuje živnostníkům provozujícím MVE práva v oblasti výkupu a ceny za KW vyrobené elektrické energie. Tato skutečnost činí z MVE velice zajímavou oblast k podnikání. Do budoucna je tedy možno očekávat rozvoj MVE.

### ***Seznam použité literatury:***

- [1] DUŠIČKA, P., GABRIEL, P., HODÁK, T., ČIHÁK, F., ŠULEK, P. Malé vodní elektrárny
- [2] GABRIEL, B., ČIHÁK, F., KALANDRA, P. Malé vodní elektrárny (skriptum ČVUT Praha)

### ***Internetové zdroje:***

- [3] Wikipedia [online]. Dostupné z <<http://cs.wikipedia.org>>
- [4] Wikipedia [online]. Dostupné z <<http://en.wikipedia.org>>
- [5] Sciencedirect [online]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com>>
- [6] Picasa [online]. Dostupné z <<http://picasaweb.google.cz>>
- [7] Vodní turbíny [online]. Dostupné z <<http://www.vodniturbiny.cz>>
- [8] MVE [online]. Dostupné z <<http://mve.energetika.cz>>
- [9] HPO [online]. Dostupné z <<http://www.hpo.hu>>
- [10] Ossberger [online]. Dostupné z <<http://www.ossberger.de>>
- [11] Capture [online]. Dostupné z <<http://www.capture3d.com>>
- [12] Water Power magazine [online]. Dostupné z <<http://www.waterpowermagazine.com>>
- [13] Poweron [online]. Dostupné z <<http://www.poweron.ch/de>>
- [14] ASMEORG [online]. Dostupné z <<http://files.asme.org/ASMEORG/Communities/History/Landmarks/5584.pdf>>
- [15] Hacker [online]. Dostupné z <<http://www.hacker.ind.br>>
- [16] EERE Energy [online]. Dostupné z <<http://www.eere.energy.gov>>
- [17] SEPS [online]. Dostupné z <<http://www.seps.sk/zp/fond/2002/voda/voda.html>>
- [19] ČEZ [online]. Dostupné z <<http://www.cez.cz/>>
- [20] Portál Povodí Moravy [online]. Dostupné z <<http://www.pmo.cz/>>

### ***Ostatní:***

- [18] Přednáškové texty z předmětu Hydromechanika

## Seznam použitých veličin, zkratk symbolů

### Latinka

|                        |                                                           |                                  |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>a</b>               | rychlost zvuku                                            | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>F</b>               | působící síla                                             | $[\text{N}]$                     |
| <b>g</b>               | gravitační konstanta                                      | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$   |
| <b>H<sub>max</sub></b> | maximální spád                                            | $[\text{m}]$                     |
| <b>N</b>               | nejvyšší provozní výkon turbíny                           | $[\text{MW}]$                    |
| <b>n</b>               | otáčky                                                    | $[\text{ot}/\text{min}]$         |
| <b>P<sub>max</sub></b> | maximální výkon turbíny                                   | $[\text{MW}]$                    |
| <b>p<sub>1</sub></b>   | tlak na vstupu                                            | $[\text{Pa}]$                    |
| <b>p<sub>2</sub></b>   | tlak na výstupu                                           | $[\text{Pa}]$                    |
| <b>Q<sub>max</sub></b> | maximální průtok turbínou (hltnost)                       | $[\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}]$ |
| <b>S</b>               | plocha průřezu paprsku                                    | $[\text{mm}^2]$                  |
| <b>u</b>               | obvodová rychlost                                         | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>u<sub>1</sub></b>   | unášivá rychlost na vstupu                                | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>u<sub>2</sub></b>   | unášivá rychlost na výstupu                               | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>V</b>               | rychlost toku vodního paprsku                             | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>V<sub>u1</sub></b>  | průmět absolutní rychlosti na vstupu do obvodového směru  | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>V<sub>u2</sub></b>  | průmět absolutní rychlosti na výstupu do obvodového směru | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>w<sub>1</sub></b>   | relativní rychlost na vstup                               | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>w<sub>2</sub></b>   | relativní rychlost na výstupu                             | $[\text{m}\cdot\text{s}^{-1}]$   |
| <b>Y</b>               | měrná energie turbíny                                     | $[\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}]$  |
| <b>Y<sub>max</sub></b> | nejvyšší měrná energie turbíny                            | $[\text{J}/\text{Kg}]$           |
| <b>MVE</b>             | malá vodní elektrárna                                     |                                  |
| <b>př.n.l.</b>         | před naším letopočtem                                     |                                  |

***Řecké písmo***

|               |                            |                        |
|---------------|----------------------------|------------------------|
| $\Delta p$    | nárůst tlaku               | [Pa]                   |
| $\Delta V$    | změna rychlosti proudu     | [m·s <sup>-1</sup> ]   |
| $\eta_{\max}$ | maximální účinnost turbíny | [%]                    |
| $\rho$        | hustota kapaliny           | [Kg·m <sup>-3</sup> ]  |
| $\omega$      | úhlová rychlost            | [rad·s <sup>-1</sup> ] |