

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Pedagogická fakulta - Katedra fyziky**

**Technické památky – historie a technická řešení vodních elektráren**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PaedDr. Alena Poláchová, Ph.D.

Autor: Pavel Zasadil

## **Anotace**

V bakalářské práci se zabývám využitím vodní síly jako zdroje energie. První část práce je zaměřena na historii využívání vody jako zdroje energie. V druhé části se zabývám vodními mlýny a jejich přestavbou na vodní elektrárny. Třetí část je věnována konstrukci vodních turbín a vodních elektráren. V následujících částech jsem se zabýval vodními elektrárnami a výpočtem účinnosti jejich soustrojí.

## **Klíčová slova**

vodní elektrárny v Jižních Čechách

vodní kolo

vodní soustrojí

oběžné kolo vodní turbíny

## **Annotation**

This Bachelor work deals with the exploitation of water power as a source of energy. The first part concentrates on the history of water exploitation as a source of energy. The second part deals with water mills and their reconstruction to hydraulic water plants. The third part deals with the construction of water-wheels and hydraulic water plants. The following parts deal with the hydro-electric plants and hydraulic water plants with the calculations of efficiency of their machinery.

## **Keywords**

water electric plants in Southern Bohemia

waterwheel

watersets

impeller of water turbine



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím uvedené literatury citované v seznamu použité literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Břehově 11. 1. 2010

.....

Zasadil Pavel

Touto formou děkuji vedoucí práce PaedDr. Aleně Poláčové, Ph.D. za cenné rady a připomínky při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji panu Mosteckému za poskytnutí informací o mlýnském náhonu ve Vodňanech a mlýnech na něm se nacházejících. Poděkování patří i ing. Neubauerovi za poskytnutí informací a podkladů o vodní elektrárně Lada.

## Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Cíle práce</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Historie využití energie vody</b> .....	<b>10</b>
3.1 Historické mezníky .....	10
3.2 Klíčová slova .....	12
3.3 Využití vody jako zdroje hnací síly .....	14
3.4 Využití vody pro výrobu elektrické energie .....	14
<b>4 Vodní mlýny</b> .....	<b>15</b>
4.1 Vodní mlýny ve Vodňanech .....	15
4.2 Bártův mlýn ve Strýčicích .....	20
<b>5 Vodní elektrárny a jejich součásti</b> .....	<b>22</b>
5.1 Rozdělení vodních elektráren .....	22
5.2 Technické vybavení vodních elektráren .....	24
5.3 Rozdělení vodních turbín.....	25
5.4 Fourneyonova turbína.....	27
5.5 Henschel – Jonvalova turbína.....	28
5.6 Girardova turbína.....	29
5.7 Francisova turbína .....	31
5.7.1 Francisova kašnová turbína.....	32
5.7.1.1 Francisova kašnová vertikální turbína.....	32
5.7.1.2 Francisova kašnová horizontální turbína.....	32
5.8 Peltonova turbína .....	35

5.9 Kaplanova turbína.....	37
5.10 Bánkiho turbína .....	38
5.11 Šroubové vodní motory .....	39
<b>6 Vodní mlýn a elektrárna Písek .....</b>	<b>40</b>
<b>7 Vodní díla na řece Lužnici.....</b>	<b>42</b>
<b>8 Vodní elektrárna Rožmberk .....</b>	<b>42</b>
<b>9 Vodní elektrárna Lada .....</b>	<b>48</b>
<b>10 Závěr.....</b>	<b>53</b>
<b>11 Seznam použité literatury .....</b>	<b>54</b>
<b>12 Seznam příloh .....</b>	<b>55</b>

## 1 Úvod

Téma pro svou bakalářskou práci Technické památky – historie a technická řešení vodních elektráren jsem si vybral pro historickou a technickou zajímavost. Vodní mlýny a elektrárny ovlivnily celé lidstvo, i mojí rodinu. Mnoho informací jsem čerpal z dokumentů, které nashromáždili moji předci podílející se na výstavbách vodních elektráren už od roku 1930. V bakalářské práci se zabývám konstrukčním řešením vodních turbín a vodních elektráren. U vodních elektráren Rožmberk a Lada jsem porovnával možný výkon protékající vody a spočítaný teoretický výkon soustrojí se skutečným elektrickým výkonem, které vodní elektrárny dodávají do elektrické sítě.



## **2 Cíle práce**

- vytypovat vhodné objekty v Jihočeském kraji
- popsat historický vývoj, technický stav a parametry vodních elektráren

## 3 Historie využití energie vody

### 3.1 Historické mezníky

- 600 let př. n. l. – Chaldejci používají na dopravu vody do závlahových kanálů čerpací kolo
- 230 let př. n. l. – V Egyptě bylo použito na pohon věder k čerpání vody hnací lžicové kolo
- 150 let př. n. l. – V římské říši se používá vodní kolo na spodní vodu, v Řecku v té době používají vodní mlýny s vodním kolem s vertikální osou
- r. 361 – byly zbudovány na řece Mosel v Německu první vodní mlýny
- r. 531 – byl zřízen první plovoucí mlýn v Římě na řece Tibeře
- r. 718 – postaven tesařem Halakem na řece Ohři v Žatci první vodní mlýn ve střední Evropě
12. století – rozšíření vodního kola po celé Evropě
- r. 1227 – uveden do provozu plovoucí mlýn na Labi
- r. 1550 – vyvinul Francouz Besson pro mlýn v Toulous sudové kolo
- r. 1738 – vodní vahadlový stroj sestrojil Jozef Karol Hell
- r. 1749 – sestrojen na Slovensku vysokotlaký vodosloupcový stroj Jozefem Karolem Hellem
- r. 1750 – sestrojeno reakční vodní kolo lékařem Johannem Andreasem Segnerem
- r. 1753 – Leonard Euler zdokonaluje Segnerovo reakční kolo
- r. 1818 – postaveno v německu první celoželezné vodní kolo
- r. 1824 – vyvíjí první přetlakovou turbínu Francouz prof. Claude Burdin
- r. 1827 – uvedena do provozu Burdinova přetlaková turbína
- r. 1827 – vyvíjen nový typ odstředivé přetlakové turbíny Benoitem Fourneryonem
- r. 1837 – německý technik Henschel doplňuje Fourneryonovu turbínu savkou
- r. 1837 – konstruována Henschel-Jonvalova turbína
- r. 1844 – Redtenbacher vynalézá stupňovitou turbínu

- r. 1844 – ve Švýcarsku vynalézá ing. Zuppinger rovnotlakou turbínu s vnějším vstřikem vody
- r. 1848 – sestrojil technik Schwamkrug rovnotlakou turbínu s vnitřím vstřikem vody
- r. 1849 – upravuje Howdovu turbínu ing. James Bicheno Francis a tým vyvinul univerzálně použitelnou vertikální i horizontální přetlakovou turbínu
- r. 1860 – celoželezné transmise a ploché řemeny nahrazují původní dřevěné hřídele a ozubená kola
- r. 1863 – sestrojena rovnotlaká Girardova turbína
- r. 1870 – Francisova turbína se výrazně rozšiřuje po celé Evropě
- r. 1877 – Lester Allen Pelton sestrojuje přímotlakou turbínu s lžícovitými lopatkami
- r. 1878 – Francisovu turbínu doplňuje prof. R. Fink natáčivými rozváděcími lopatkami
- r. 1886 – je sestrojena Francisova spirální turbína vhodná pro velké spády
- r. 1900 – vzniká teorie bubnové turbíny
- r. 1912 – prof.ing.Dr. Viktor Kaplan sestrojuje vrtulovou turbínu
- r. 1913 – vyvíjí prof.ing.Dr. Viktor Kaplan vrtulovou turbínu s natáčivými oběžnými lopatkami a patentuje ji
- r. 1918 – Bánkiho turbína je matematicky vyřešena
- r. 1919 – je do provozu uvedena první Kaplanova turbína v Ulmu (Rakousko)
- r. 1919 – v Budapešti je uvedena do provozu první rovnotlaká Bankiho turbína
- r. 1920 – vzniká rovnotlaká turbína pro velké spády pod vedením E. Crewdsona s názvem Turgo
- r. 1921 – je spuštěna první Kaplanova turbína v Československu v Poděbradech
- r. 1938 – je použita Kaplanova turbína pro spád 38 metrů
- r. 1950 – po úpravě Kaplanovy turbíny vznikla diagonální Deriázova turbína
- r. 1951 – v Československu začíná hromadná likvidace vodních mlýnů a malých vodních elektráren
- r. 1953 – je použita Kaplanova turbína pro spád 56 metrů
- r. 1958 – je použita Kaplanova turbína pro spád 71 metrů

Zpracováno za pomoci publikace Velká kniha o energii

### 3.2 Klíčová slova

#### Vzdouvací zařízení

- jez nebo hráz, které slouží pro zvýšení hladiny vody a zároveň jako zásobárna vody pro energetické zařízení

#### Přivaděč

- je zařízení, které přivádí vodu k vodnímu stroji

#### Beztlakový přivaděč

- náhony a kanály jsou většinou vybudovány výkopem v terénu

#### Tlakový přivaděč

- je tvořen ocelovým, plastovým nebo železobetonovým potrubím

#### Česle (česlice)

- jsou ochranou před vniknutím nečistot a předmětů pluvoucích na vodě do vodního stroje

#### Strojovna

- je budova, ve které se nachází technické vybavení provozu elektrárny

#### Odpadní kanál

- tímto kanálem se vrací voda od vodního stroje zpět do koryta řeky

#### Jalový kanál

- slouží k odvedení přebytečné nebo nevyužité vody mimo vodní stroj a při opravách, údržbě vodního stroje umožňuje převést vodu mimo vodní stroj

#### Vodní stroj

- je vodní motor a vodní čerpadlo

#### Vodní motor

- mechanická energie vody (potenciální, kinetická) je vodním motorem měněna na mechanickou energii tuhého tělesa (hřídel, píst)

Vodní čerpadlo

- mechanickou energii hřídele přeměňuje na mechanickou energii vody

Hydroalternátor

- mění mechanickou energii hřídele vodního motoru na elektrický střídavý proud

Motorgenerátor

- přeměňuje mechanickou energii vody na elektrickou a obráceně

Vodní soustrojí

- zařízení tvořené vodním strojem a hydroalternátorem

Vodní kolo

- nejjednodušší vodní motor využívající mechanickou energii vody

Spád

- je rozdíl mezi horní a dolní hladinou vody, měří se v metrech

Průtok

- průtočné množství vody v daném profilu, měří se v  $\text{m}^3/\text{s}$

Savka

- rozšiřující se potrubí pod turbínou, ve kterém se vytváří podtlak

Rozváděcí kolo

- statorová část turbíny, která směřuje vodu na oběžné kolo

Oběžné kolo

- část rotoru turbíny, na které se transformuje kinetická energie vody na mechanickou energii rotoru

Generátor

- stroj transformující mechanickou energii na elektrickou energii

### **3.3 Využití vody jako zdroje hnací síly**

Vodní stroje používané jako zdroj hnací síly využívají energii vody ve třech formách. Pohybovou kinetickou energii využívali již 600let př. n. l. Chaldejci pro pohon čerpacích vodních kol, které čerpaly vodu do zavlažovacích kanálů. Pohybovou kinetickou energii tekoucí vody využívají lopatková vodní kola na spodní vodu. Tato lopatková kola se vyznačují malou účinností, která se pohybuje kolem 65%. Lopatková vodní kola se otáčejí proti směru toku řeky. Nevýhodou těchto kol je nefunkčnost při nízkém stavu vody v řece. Polohovou potenciální energii využívají korečková vodní kola se středním nebo horním nátokem. Korečkové vodní kolo s horním nátokem se může otáčet v obou směrech vodního toku. Konstrukce a funkčnost je složitější oproti lopatkovému kolu, které nepotřebuje náhon ani vzdouvací zařízení. Oba typy vodních kol a energie získávané z nich byly využívány ve vodních mlýnech, katrech, hamrech a stoupácích. Energie získaná vodním kolem byla pomocí dřevěné osy převáděna do provozovny a zde byla rozváděna pomocí dřevěných palečnicových kol nebo kožených řemenů na jednotlivé stroje.

### **3.4 Využití vody pro výrobu elektrické energie**

Jako jeden z prvních postavil vodní elektrárnu T. A. Edison roku 1882 v Appletonu a později pod Niagárskými vodopády. V Čechách se poprvé pomocí vodní síly roztočily dynamy pro výrobu elektrické energie v Podskalském mlýně v Písku v roce 1887. Většina vodních mlýnů byla postupně přebudována použitím turbíny a generátoru na vodní elektrárnu.

## 4 Vodní mlýny

V Čechách bylo v roce 1875 evidováno kolem 7000 fungujících vodních mlýnů. Vodní mlýny využívaly i nejmenších potoků a říček až po velké řeky. V některých oblastech bylo nutno vybudovat náhon k přivedení vody k vodním mlýnům nebo vzdouvací objekt.

### 4.1 Vodní mlýny ve Vodňanech

Vodní mlýny postavené na náhonu z řeky Blanice ve Vodňanech využívají energii vody pomocí uměle vytvořeného náhonu. Dostatečný průtok vody a spád v celé délce náhonu vytváří Vitický jez. Voda z náhonu se vrací zpět do koryta řeky Blanice. Náhon dlouhý 8,2 km byl vybudován v 15. století a postupně na něm postaveno 11 mlýnů.

Prvním mlýnem na začátku náhonu je Zelenkův mlýn. Majitel mlýna a zde provozující elektrárny odmítl podat informace.

Druhý je Denklův mlýn, zde byla v roce 1983 uvedena do provozu Francisova kašnová turbína, kterou majitelé rekonstruují a zařízení k výrobě elektrické energie momentálně neslouží.

Třetí v pořadí po směru toku je Kohoutův mlýn, ani tento mlýn neslouží k výrobě elektrické energie. Technologické zařízení bylo rozebráno a odvezeno.

Čtvrtým v pořadí je Pomejův mlýn. Byla zde v roce 1941 instalována Francisova kašnová turbína s výkonem 22 kW a spádem 1,7 metru. V roce 1946 přestal sloužit původnímu účelu a začal plnit funkci vodní mikroelektrárny s výrobou elektrické energie.

Mayerův mlýn je podle dochovaných písemností druhý nejstarší mlýn na Blanickém náhonu. Jeho stavba proběhla v letech 1654 – 1658. Už v roce 1924 zde byly instalovány dodnes funkční Francisovy kašnové turbíny o výkonu 8 kW a 10 kW. Převod z vertikální osy na generátor je tvořen palečnicovým kolem s palci z habrového dřeva. Spád vody je 1,2 metru a hltnost turbin je 1 m<sup>3</sup>/s a 1,2 m<sup>3</sup>/s. Technologické vybavení je na obrázku 1. Obrázky 2 a 3 ukazují opravené rozváděcí kolo a lopatky.



Obrázek 1 Palečnicové kolo Francisovy kašnové vertikální turbíny



Obrázek 2 Opravené rozváděcí kolo bez lopatek





Obrázek 3 Opravené rozváděcí lopatky

Šestý v pořadí byl dnes již nefunkční Řepišů mlýn ze kterého bylo odstraněno veškeré technologické zařízení.

Sedmý Wolfů mlýn postavený v letech 1666 – 1667 je také bez technologického zařízení.

V roce 1491 byl vybudován nejstarší Mostecký mlýn, ve kterém je od září 2009 v provozu Kaplanova turbína. Původně byl mlýn vybaven vodním kolem na spodní vodu o průměru 3 metry. V roce 1919 bylo vodní kolo demontováno a byla zde nainstalována Francisova kašnová turbína o průměru oběžného kola 1,5 metru. Hltnost turbíny byla  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  při spádu 1,1 metru a výkonu 11 kW. V září 2009 byla Francisova turbína demontována a mlynář pan Mostecký zakoupil a instaloval Kaplanovu kašnovou vertikální turbínu s výkonem 13 kW. Turbína je vybavena nastavitelnými lopatkami rozváděcího i oběžného kola.

Devátý v pořadí mlýnů na náhonu je Dubských mlýn postavený v letech 1676 – 1681. Tento objekt je ve zchátralém stavu, je zde dochovaná pouze kašna Francisovy turbíny a stavidla jalové propusti. Současný stav zobrazuje obrázek 4.



Obrázek 4 Strojovna turbíny Dubského mlýna s jalovou propustí

Kulhánků mlýn je neobydlen a o technologickém vybavení se nepodařilo získat žádné informace.

Posledním mlýnem před soutokem mlýnského náhonu a řeky Blanice stojí Korittů mlýn. Tento mlýn byl postaven roku 1480 a měl dvě vodní kola na spodní vodu s výkonem 4 kW. V roce 1946 jsou vodní kola demontována a byla zde osazena Francisova turbína o výkonu 24 kW, při spádu 1,5 metru. Od roku 1956 je mlýn zrušen a turbína doplněná generátorem vyráběla elektrickou energii až do roku 2008. V roce 2009 byla Francisova turbína nahrazena Kaplanovou turbínou s regulovatelnými lopatkami rozváděcího i oběžného kola. Obrázek 5 zachycuje současný stav provozní budovy s česlemi a jalovou propustí. Technologie Kaplanovy turbíny je na obrázku 6. Vlevo na fotografii je generátor, uprostřed setrvačnick s převodem a vpravo dole mechanismus ovládání rozváděcích lopatek. Kaplanova turbína má výkon 25 kW při průtoku  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Spád byl zvýšen na 1,7 metru.

Informace jsou získány z osobních kontaktů s majiteli vodních mlýnů.



Obrázek 5 Objekt strojovny s česlemi a jalovou propustí



Obrázek 6 Technologie turbíny s generátorem a regulací rozváděcích lopatek

## 4.2 Bártův mlýn ve Strýčicích

Bártův mlýn ve Strýčicích využívá k pohonu soustrojí vodu z rybníka, který je napájen ze Strýčického potoka. Vznik mlýna se datuje do 14. století a nynější podoba a technologické zařízení pochází z let 1842 až 1889. Rybník plní funkci retenční nádrže, která vodou napájela uměle vytvořeným náhonem dlouhým 150 metrů dvě vodní kola na svrchní vodu. Šířka náhonu je 2 metry a výška hráze, která tvoří náhon je 3 metry. Spád vody činí 4,8 metru. Obrázek 7 zobrazuje mlýnský náhon. Česle a uzavěr vody je na obrázku 8.



Obrázek 7 Mlýnský náhon



Obrázek 8 Mlýn s česlemi a uzávěrem vody

Průměr vodních kol byl 4 metry. Vodní kola nepoháněla jenom mlýn na obilí, ale také řezačku, mlátičku a okružní pilu. V roce 1911 bylo vodní kolo nahrazeno Francisovo spirální turbínou o výkonu 7,5 kW. Přímou ve strojovně turbíny je umístěný elektromotor o výkonu 4 kW, který je s turbínou spojen převodem s koženým řemenem. Kožený řemen pohání také osu, která vede do stále funkční strojovny mlýnice a zde je možné při dostatku vody připojit další elektromotor o výkonu 3 kW. Elektrickou energii vyrobenou tímto soustrojím lze dodávat do distribuční rozvodné sítě nebo ji spotřebovávat přímo v budovách mlýna. Jedná se o druhý nejdéle pracující vodní mlýn v České republice. Provoz mlýna byl ukončen 31. 12. 1975. Mlýn je dodnes plně funkční, ke svému účelu slouží jen občas. Turbína je zobrazena na obrázku 9.

Technické podklady o vodním mlýně a elektrárně jsou převzaty z dokumentace majitele pana Antonína Kropáčka.



Obrázek 9 Francisova kašnová spirální turbína

## **5 Vodní elektrárny a jejich součásti**

### **5.1 Rozdělení vodních elektráren**

Vodní elektrárny dělíme podle následujících kritérií:

#### **Rozdělení podle výkonu**

malé vodní elektrárny dělíme do tří skupin:

- domácí vodní elektrárny s instalovaným výkonem do 35 kW
- vodní mikroelektrárny s instalovaným výkonem od 35 kW do 100 kW
- vodní minielektrárny s instalovaným výkonem od 100 kW do 1000 MW

průmyslové vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 1 MW do 10 MW

střední vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 10 MW do 200 MW

velké vodní elektrárny s instalovaným výkonem od 200 MW

#### **Rozdělení podle velikosti spádu**

nízkotlaké vodní elektrárny využívají spádu do 25 metrů

středotlaké vodní elektrárny jsou konstruovány pro spády do 100 metrů

vysokotlaké vodní elektrárny jsou konstruovány pro spády nad 100 metrů

#### **Rozdělení podle získaného spádu**

přehradová vodní elektrárna je umístěna v tělese vodní přehrady nebo v její blízkosti  
(Vodní elektrárna Lipno, Rožmberk, Husinec, Soběnov)

jezová vodní elektrárna je umístěna v rovině jezu, který vytváří rozdíl hladin - spád  
(vodní elektrárna Lada v Jindřichově Hradci, Sokolský ostrov a České Vrbné v Č.Budějovicích)

derivační vodní elektrárna je postavena na uměle vytvořeném kanálu, jenž soustředí  
spád derivací vody (vodní mlýny a elektrárny na uměle vytvořeném kanálu z řeky  
Blanice ve Vodňanech)

vodní elektrárna bez vodního díla využívá pouze energii proudící vody ve vodních  
tocích nebo potrubí (čerpadla odpadních vod a čerpadla pitné vody v reverzním  
stavu)

### **Rozdělení podle provozního režimu**

základní vodní elektrárny pracují v režimu celodenní výroby elektrické energie, závislé jsou pouze na stavu a průtoku vody

pološpičkové vodní elektrárny pracují v režimu celodenní výroby elektrické energie s možností pokrytí špiček retenčními možnostmi vodního díla

špičkové vodní elektrárny pracují v režimu výroby a dodávky elektrické energie v době denní špičky, elektrárny musí být postaveny na vodním díle, které má možnost dostatečné zásoby vody

### **Rozdělení podle hospodaření s vodou**

Průběžné vodní elektrárny jsou budovány v blízkosti jezů a využívají spád určený jezem a přirozený průtok řeky. Využitelný spád lze regulovat jezem, pokud je k tomu jez vybavený výškově stavitelným bubnem nebo pokud je vybaven nástavkami či vzduchovým rukávem, kde se zvýšením nebo snížením tlaku plynu reguluje výška přetékané vody přes hranu jezu. Jedná se o vodní elektrárny základní nízkotlaké.

Akumulační vodní elektrárny využívají vodní nádrže jako zásobárnu vody a za určitých pravidel mohou této vody využívat v rozmezí hladin určené Regulačním řádem daného povodí. Jedná se o vodní elektrárny základní, pološpičkové středotlaké.

Přečerpávací vodní elektrárny jsou zvláštním druhem vodního díla, které v době přebytku elektrické energie čerpá vodu z dolní nádrže do horní a v době špičky, nedostatku elektrické energie ji vyrábí. Jedná se o vodní elektrárny špičkové vysokotlaké.

### **Rozdělení podle umístění strojovny**

nadzemní vodní elektrárna může být většina elektráren uvedených v tomto rozdělení, jedná se o říční, derivační a akumulaciční vodní elektrárny

podzemní vodní elektrárna je derivační nebo akumulaciční vodní elektrárna, její součástí je tlakový vodní přivaděč

## **Rozdělení podle způsobu řízení**

Vodní elektrárna s ruční obsluhou má automatický pouze regulační systém turbíny, ostatní zařízení musí zajistit obsluha vodní elektrárny. Obsluha je stálá a zajišťuje chod vodní elektrárny.

Vodní elektrárna s poloautomatickou obsluhou má automatické obvody, které zajišťují fázování generátoru se sítí, do které je soustrojí připojované, změny výkonu podle zatížení a odstavení soustrojí při poruše. Obsluha má trvalý dozor.

Vodní elektrárna s automatickým provozem je ovládána a řízena dálkově z řídicího dispečinku za použití výpočetní techniky. U této elektrárny má funkci pouze kontrolní a zasahuje pouze v případě poruchy.

## **5.2 Technické vybavení vodních elektráren**

Hrubé česlice se používají na vstupním otvoru do vodní elektrárny a mají funkci zadržet plující nečistoty v podobě větví a jiných předmětů, které by mohly poškodit turbínu nebo její součásti. Hrubé česlice jsou konstruovány z ocelových trubek s mezerami 200 až 300 mm. Jemné česlice jsou umístěny za hrubými česlicemi a mají funkci zachytit menší předměty, jako je listí a podobné. Česlice je nutno pravidelně čistit, aby je tlak vody neponičil a s nimi i další zařízení. Za česlemi je kulový uzávěr nebo hradidlo, kterým odstavujeme turbínu od tlaku vody vodního díla. Tento uzávěr se používá jako provozní uzávěr i jako havarijní a v případě oprav turbíny. Přívodní potrubí pro turbínu se nazývá přivaděč. Přivaděče dělíme na beztlakové a tlakové. Beztlakový přivaděč je většinou otevřený nebo pouze zakrytý kanál. Voda v beztlakovém přivaděči nezabírá celý jeho průřez a na vodu působí atmosférický tlak. U těchto typů přivaděčů se na jeho konci umísťují ještě jedny jemné česlice. Tlakové přivaděče jsou uzavřené, ve většině případů železné nebo železobetonové trouby. V některých případech vodních elektráren jsou tlakové přivaděče vytesány ve skále.



V tlakovém přivaděči je celý průřez přivaděče zaplněn vodou, na kterou nepůsobí atmosférický tlak, ale pouze hydrostatický tlak vody vodního díla. Tlakový přivaděč je připojen na vstup do turbíny. Technologickou budovu vodní elektrárny rozdělujeme na dvě části, spodní a horní stavbu, které nám dělí podlaha strojovny. Spodní stavba je většinou monolitická betonová, u mikroelektráren se jedná o stavbu s železobetonovou konstrukcí. Spodní stavba je nejvíce zatěžovaná vodním tlakem, vztlakem, ale také hydrodynamickými a hydrostatickými silami. Oproti tomu je však také spodní stavba namáhána tíhou technologických zařízení a konstrukcí horní stavby. Ve spodní stavbě mezi přivaděčem a ústím do turbíny je umístěn uzávěr vody. Je zde umístěna turbína a její ovládací součásti. Dále se tu nachází čerpací agregáty olejového hospodářství a čerpadla prosáklé vody. V horní části stavby jsou umístěny hydroalternátory s převody, jejich budiče a regulátory otáček turbíny. V horní stavbě jsou umístěny kontrolní a řídicí panely a ochrany. U stropu horní stavby jsou mostové jeřáby, které jsou používány při montážních pracích na turbínách. Součástí vodní elektrárny je také rozvodna nízkého napětí, která má část vyhrazenou vlastní spotřebě a část vyhrazenou dodávkám do sítě nízkého nebo vysokého napětí. Pokud vodní elektrárna dodává vyrobený výkon do sítě vysokého napětí, její součástí je transformátor a v některých případech i rozvodna vysokého napětí.

### **5.3 Rozdělení vodních turbín**

Vodní turbíny rozdělujeme podle tří základních hledisek. Dělíme je podle polohy hřídele, způsobu přenosu energie vody a průtoku oběžným kolem.

### **Rozdělení podle polohy hřídele**

vertikální uložení hřídele má většina typů turbín kromě přímoproudových

horizontální uložení hřídele mají velké přímoproudové turbíny

šikmé uložení hřídele mají menší přímoproudové turbíny

### **Rozdělení podle způsobu přenosu energie vody na oběžné kolo turbíny**

rovnotlaká turbína, v této turbíně se polohová měrná energie vody v rozváděcím kole mění v kinetickou měrnou energii, která roztáčí oběžné kolo umístěné nad hladinou spodní vody (Peltonova a Bánkiho turbína)

přetlaková turbína, v rozváděcím kole turbíny se mění část polohové měrné energie v energii měrnou kinetickou a zbytek polohové měrné energie se mění v kinetickou měrnou energii až v oběžném kole vodní turbíny. Od vstupu do výstupu oběžného kola se zmenšuje hydrostatický tlak a tudíž v turbíně je přetlak. Zbytek energie odnášející velký proud vody opouštějící velkou rychlostí oběžné kolo využíváme zpětným sáním savky turbíny. (Francisova, Kaplanova a Dériazova turbína)

### **Rozdělení podle průtoku vody turbínou**

Radiální odstředivá (centrifugální) turbína využívá vnitřní vstup vody, voda opouští oběžné kolo směrem od hřídele. Tohoto principu využívá Fourneyronova turbína.

Radiální dostředivá (centripetální) turbína má vnější vstup a voda opouští oběžné kolo směrem k hřídeli. Tohoto principu využívala původní Francisova turbína.

Axiální turbína používá stále stejného směru průtoku a stejné vzdálenosti vzhledem k ose hřídele. Tohoto principu využívá Kaplanova turbína.

Radiálně axiální turbína využívá proudění vody u vstupu na oběžné kolo radiálně a při dopadu vody na oběžné kolo se změnil směr vody na axiální. Tohoto principu používá inovovaná Francisova turbína.

Diagonální turbína, voda protéká oběžným kolem k hřídeli v šikmém směru. Tohoto principu využívá Dériazova turbína.

Turbína se šikmým průtokem využívá šikmo vstupující proud vody, voda opouští oběžné kolo rovnoběžně s osou. Tohoto principu využívá Turgo turbína.

Tangenciální turbína využívá bočního vtoku vody do středu oběžného kola, kde se proud vody dělí na dvě poloviny oběžného kola a voda turbínu opouští. Tohoto principu používá Peltonova turbína.

Turbína s dvojnásobným průtokem využívá bočního vtoku vody do turbíny a kolmo k hřídeli protéká oběžným kolem. Voda opouští oběžné kolo na protilehlé straně, než do oběžného kola vtekla. Tohoto principu využívá Bánkiho turbína.

#### **5.4 Fourneyonova turbína**

Fourneyonova turbína je vertikální přetlaková s centrifugálním průtokem. Stavěla se pro spády od 1 do 5 metrů a s výkonem do 40 kW. Náhon k turbíně se prováděl úpravou stávajícího náhonu k mlýnu. Úprava spočívala v zaslepení dřevěného náhonu, kde se původně napájelo vodou vodní kolo. V zaslepeném konci náhonu se vytvořil ve dně kruhový otvor.

V tomto otvoru byly umístěny dvě soustředné trubky. Vnější trubka většího průměru určená pro přivedení vody k rozváděcímu kolu a vnitřní trubka malého průměru, v níž byla umístěná hřídel, která spojovala oběžné kolo s převody. Vnější trubka je rozdělena na dva díly. Horní díl trubky je pevně spojen s náhonem. Spodní díl trubky je vsazen do horního dílu a jeho vertikální pohyb určuje průtok vody rozváděcím kolem na oběžné kolo. Oběžné kolo je větší než rozváděcí kolo a pohybuje se vně rozváděcího kola. Oběžné kolo je umístěno nad hladinou spodní vody, aby nedocházelo ke ztrátám při provozu turbíny. Lopatky rozváděcího kola jsou zakřiveny, aby voda získala správný směr pro roztočení oběžného kola. Vhodně tvarovaným koncem spodní trubky a jejím vertikálním nastavením získává voda velkou rychlost, se kterou dopadá na oběžné kolo. Po průtoku oběžným kolem s dlouhými lopatkami voda předá svoji energii oběžnému kolu. Voda opouští turbínu v opačném směru oproti otáčení oběžného kola. Turbína je nízkootáčková a musí být doplněná vhodným převodem. Turbína je opatřena patním ložiskem, které je připevněno v odpadním kanálu. Fourneyonova turbína se v současné době již nepoužívá, ale v polovině 19. století byla hojně rozšířená, používala se místo vodních kol, jako první funkční vodní turbína. Později byla nahrazována Francisovo turbínou.

## **5.5 Henschel – Jonvalova turbína**

Konstrukce turbíny je vertikální přetlaková s přímou savkou. Byla konstruována pro spády od 0,6 do 40 metrů a maximální průtok  $22 \text{ m}^3/\text{s}$ . Maximální výkon vyrobené Henschel – Jonvalovo turbíny je 1,1 MW. Největší oběžné kolo mělo průměr 5 metrů a jmenovité otáčky Henschel – Jonvalovo turbíny jsou 205 až 263 ot./min. Jedná se o rychlootáčkovou turbínu s účinností do 85 %. Stejně jako u Fourneyonovy turbíny byla tato turbína využívána při výměně za vodní kolo u stávajících mlýnských náhonů. Ve dně náhonu byla v otvoru umístěna vlastní turbína.

Turbína je konstruována jako odlitek s pevně nastavenými rozváděcími zužujícími lopatkami, které usměrňují a zvyšují rychlost proudění vody na oběžné kolo. Konstrukce pevných lopatek oběžného kola je stejná jako u rozváděcích lopatek, ale opačného směru. Po průtoku oběžným kolem voda předá svou energii a opouští turbínu savkou. Savka vytváří podtlak a tím zvyšuje rychlost odtoku vody z oběžného kola. Savka v Henschel – Jonvalově turbíně má funkci regulátoru průtoku. Vertikálním pohybem se zvyšuje nebo snižuje průtok turbínou a tím také otáčky turbíny. Pokud je savka spuštěna na dno odpadního kanálu, turbína je odstavena z provozu. Oběžné kolo je umístěno na soustředné hřídeli, která má patní ložisko pod hladinou vody. Druhé axiálně – radiální ložisko nese celou tíhu hřídele a oběžného kola. Toto ložisko je umístěno pod převody ve strojovně. Henschel – Jonvalova turbína se vyráběla v letech 1841 až 1905 a později byla nahrazena Francisovou turbínou. Nevýhodou turbíny byla obtížná regulace a malé otáčky při malém spádu.

## 5.6 Girardova turbína

Girardova turbína je konstrukčně řešena jako vertikální rovnotlaká axiální s parciálním ostřikem. Používala se pro spády 0,5 až 50 metrů při průtoku až  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Účinnost Girardovy turbíny se pohybovala kolem 80 %. Pro spády do 5 metrů se turbína konstruovala jako kašnová, pro větší spády se konstruovala s uzavřeným přivaděčem. V rozváděcím kole s velkým množstvím zakřivených pevně nastavených lopatek se polohová energie vody transformuje na energii pohybovou. Girardova turbína využívá pouze spád od horní hladiny vody k oběžnému kolu, nikoliv ke spodní hladině. Průtok a otáčky turbíny se regulují segmentovým uzávěrem, který se nachází nad rozváděcím kolem. Hřídel prochází zatopeným prostorem turbíny. Oběžné kolo je zavzdušněné a voda opouští oběžné kolo s minimální rychlostí a padá do odpadu pod turbínou.

Girardova turbína patřila k prvním prakticky použitelným turbínám. Nevýhodou byl velký rozměr a malé otáčky. Turbína se používala od roku 1890 do roku 1930, kdy ji začala nahrazovat Francisova turbína. Dnes se Girardova turbína nepoužívá. Rozváděcí i oběžná kola prvních Girardových turbín byly betonové konstrukce, která nesla pevně nastavené lopatky. Jediná turbína této konstrukce se nachází v muzeu Elektrárna královského města Písku. Tato turbína byla demontována v říjnu 2009 z mlýna u Sušice. Turbína byla odstavena z provozu v srpnu 2008 pro její malou účinnost, která byla způsobena korozi a kavitací. Oběžné kolo má průměr 0,8 metru a obsahuje stejně jako rozváděcí kolo 26 lopatek. Oběžné a rozváděcí kolo turbíny jsou na obrázcích 10 a 11.



Obrázek 10 Betonové oběžné kolo



Obrázek 11 Betonové rozváděcí kolo

### 5.7 Francisova turbína



Obrázek 12 Oběžné kolo Francisovy turbíny

### **5.7.1 Francisova kašnová turbína**

Francisova kašnová turbína je nejdéle používaná vodní turbína v České republice. Turbíny se vyráběly v provedení vertikálním i horizontálním. Jedná se o přetlakové radiální turbíny.

#### **5.7.1.1 Francisova vertikální kašnová turbína**

Vertikální kašnová turbína se používala pro spády od 0,5 do 5 metrů při průtoku 0,6 až 8 m<sup>3</sup>/s. Účinnost turbíny je kolem 85 %. Turbína je umístěna na dně náhonu ukončeného kašnou. Hřídel je vertikální a prochází zaplavenou kašnou až do strojovny. Voda z kašny vtéká po celém obvodu turbíny skrze nastavitelné lopatky rozváděcího kola k pevným lopatkám oběžného kola. Průtok vody oběžným kolem je centripetální, voda vtéká bočně do oběžného kola a vytéká rovnoběžně s hřídelí. Rozváděcí lopatky jsou ovládány táhlem, které je spojeno s prstencem rozváděcího kola. Celá soustava táhel je ovládána ze strojovny pomocí samostatné hřídele. Francisovu turbínu lze z provozu odstavit uzavřením rozváděcích lopatek. Součástí turbíny je savka, která nám podtlakem zvyšuje rychlost vody opouštějící oběžné kolo. Francisova vertikální kašnová turbína se používala při rekonstrukcích vodních mlýnů bez nutnosti velkých stavebních úprav, později byla měněna za inovovanou Francisovu spirální turbínu.

#### **5.7.1.2 Francisova horizontální kašnová turbína**

Horizontální kašnová turbína se používala pro spády od 2 do 8 metrů při průtoku 0,1 až 2 m<sup>3</sup>/s. Účinnost turbíny je kolem 85 %. Turbína je umístěna na konci náhonu v boku kašny. Hřídel je horizontální a její část prochází kolenem savky, kde je umístěno zadní ložisko. V boku kašny je čelo turbíny s hlavním ložiskem a prstencem ovládání rozváděcích lopatek.



Natočením rozváděcích lopatek se ovládá průtok a výkon turbíny. Ovládání rozváděcích lopatek je řešeno táhlem spojeným s rozváděcím prstencem. Turbínu lze odstavit z provozu zavřením rozváděcích lopatek. Savka turbíny se rozšiřuje a tím ztrácí odtékající voda rychlost, vzniká podtlak, který je přenášen na odtokovou hranu oběžného kola. Francisova horizontální kašnová turbína byla bez velkých zásahů do konstrukce vodních mlýnů používána místo původních vodních kol. Po zdokonalení Francisových turbín byla měněna za spirální turbíny. Plně funkční a používaná Francisova kašnová turbína se nachází v bývalém mlýně v Lékařově Lhotě. Obrázek 13 zobrazuje Francisovu kašnovou horizontální turbínu s generátorem. Nastavitelné rozváděcí lopatky zobrazuje obrázek 14.



Obrázek 13 Francisova horizontální kašnová turbína



Obrázek 14 Rozváděcí lopatky Francisovy turbíny elektrárny v Lékařově Lhotě

### **5.7.2 Francisova spirální turbína**

Francisova spirální turbína nahrazovala vodní kola a Francisovu kašnovou turbínu. Jedná se o přetlakovou vodní turbínu s radiálně – axiálním průtokem vody. Oproti kašnové turbíně není cele soustrojí ponořené ve vodě. Přivaděč končí na spirále, která je vně rozváděcího kola a zužuje se. Zúžení spirály zajišťuje v každém místě oběžného kola stejnou rychlost proudění vody. Francisova spirální turbína se používá ve vertikální i horizontální poloze hřídele. Využívá se pro spády od 1 do 800 metrů. Řez Francisovou spirální turbínou je na obrázku 15.



Obrázek 15 Řez Francisovo horizontální spirální turbínou [ 1 ]

### 5.8 Peltonova turbína

Konstrukce Peltonovy turbíny je rovnotlaká s parciálním a tangenciálním ostřikem lopatek oběžného kola. Peltonova turbína pro malé průtoky od 0,01 do 0,3 m<sup>3</sup>/s. se využívá při spádech až 1500 metrů. Pro velké průtoky do 34 m<sup>3</sup>/s. se využívá spádu od 30 do 50 metrů. Účinnost turbín je 85 až 95 %.

K turbíně je voda přiváděna potrubím kruhového průřezu, které vede k jedné nebo více vstřikovacím tryskám nazývaných dýzám. Vstřikovací tryska obsahuje jehlu, která plní funkci regulátoru průtoku a otáček turbíny. Jehla ve středu trysky není schopna odstavit turbínu z provozu, ale pouze regulovat. Pro odstavení turbíny slouží kulový uzávěr na vstupním potrubí. Oběžné kolo v pancéřované skříni je po obvodu vybaveno 18 až 24 dvojicemi lžicovitých lopatek, na kterých se využívá pohybová energie vody. Oběžné kolo je zavzdušněné a turbína nepotřebuje savku. Soustrojí se staví jako horizontální, pouze velké turbíny s průtokem od 20 m<sup>3</sup>/s. se dělají vertikální. Spády menší jak 30 metrů se pro Peltonovu turbínu nehodí. Limitou Peltonovy turbíny je pevnost lopatek, hřídele a skříně turbíny. Peltonova turbína má uplatnění na velkých spádech, hlavně v horských oblastech s malým průtokem. V podmínkách České republiky ji lze nahradit Bánkiho a Turgo turbínou. Obrázek 16 zobrazuje řez Peltonovo turbínou.



Obrázek 16 Řez Peltonovo turbínou [ 2 ]

## 5.9 Kaplanova turbína

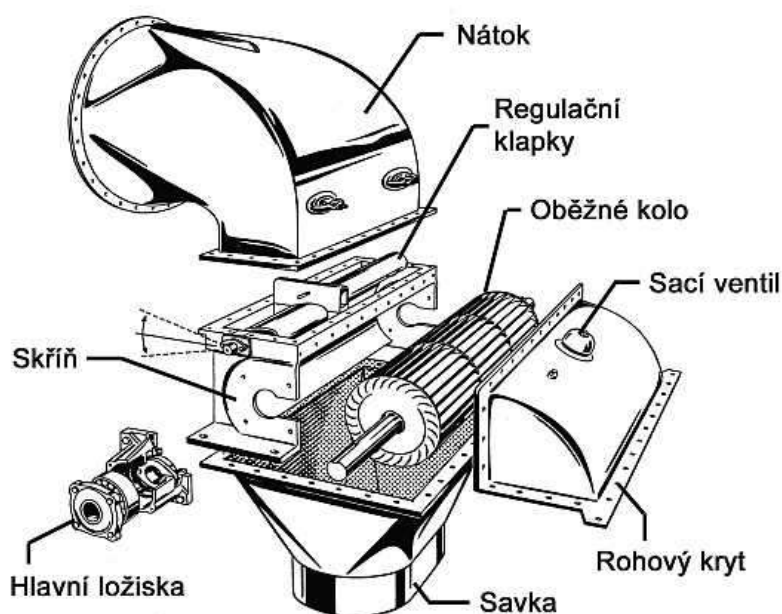
Konstrukce Kaplanovy turbíny je přetlaková axiální. Kaplanova turbína se využívá pro spády 1 až 75 metrů při průtoku od 0,15 do 600 m<sup>3</sup>/s. Kaplanova turbína se používá v modifikaci vertikální i horizontální. Náhon do rozváděcího kola se konstruuje kašnový nebo spirální. Všechny modifikace turbíny jsou vybaveny savkou. Kaplanovy kašnové turbíny jsou menších rozměrů a výkonů. Kaplanova turbína je regulována pomocí nastavitelných lopatek rozváděcího kola a oběžné kolo má tvar vrtule s pevně nastavenými lopatkami. Změnou polohy lopatek se řídí průtok a otáčky oběžného kola. Semikaplanova turbína má pevně nastavené lopatky rozváděcího kola. Regulace otáček a průtoku je zde prováděna nastavením lopatek oběžného kola. Natáčení lopatek oběžného kola je regulováno táhlem, které je uloženo v hřídeli turbíny. Oběžné kolo a lopatky rozváděcího kola jsou na obrázku 17.



Obrázek 17 Řez Kaplanovou turbínou [ 3 ]

## 5.10 Bánkiho turbína

Bánkiho turbína je konstruována jako horizontální příčně protékající s parciálním ostřikem. První průtok lopatkami oběžného kola turbíny je přetlakový, kdežto druhý průtok je rovnotlaký. Bánkiho turbína je používána v rozsahu spádům 2 do 30 metrů a průtoku od 0,02 do 2 m<sup>3</sup>/s. Účinnost Bánkiho turbíny je 78 až 84 %. Voda je přivedena na oběžné kolo potrubím obdélníkového tvaru a průtok oběžným kolem reguluje klapka umístěná na tělese turbíny. Průchodem vody kolem klapky na oběžné kolo se energie vody transformuje na pohybovou energii, která roztáčí oběžné kolo. Oběžné kolo je celé šířce osazeno 24 až 36 lopatkami, které při první průtoku vodu nasměrují směrem k hřídeli, ale díky gravitaci opět voda dopadá na lopatky oběžného kola. Prvním průtokem oběžného kola voda předá 79 % a při druhém průtoku 21 % celkového výkonu turbíny. Oběžné kolo je zavzdušněné a není zde třeba savka. Pokud se využije savky, má stejný tvar jako potrubí na vstupu k oběžnému kolu. Savka zvyšuje spád a výkon turbíny. Na obrázku 18 jsou rozkresleny jednotlivé součásti Bánkiho turbíny.

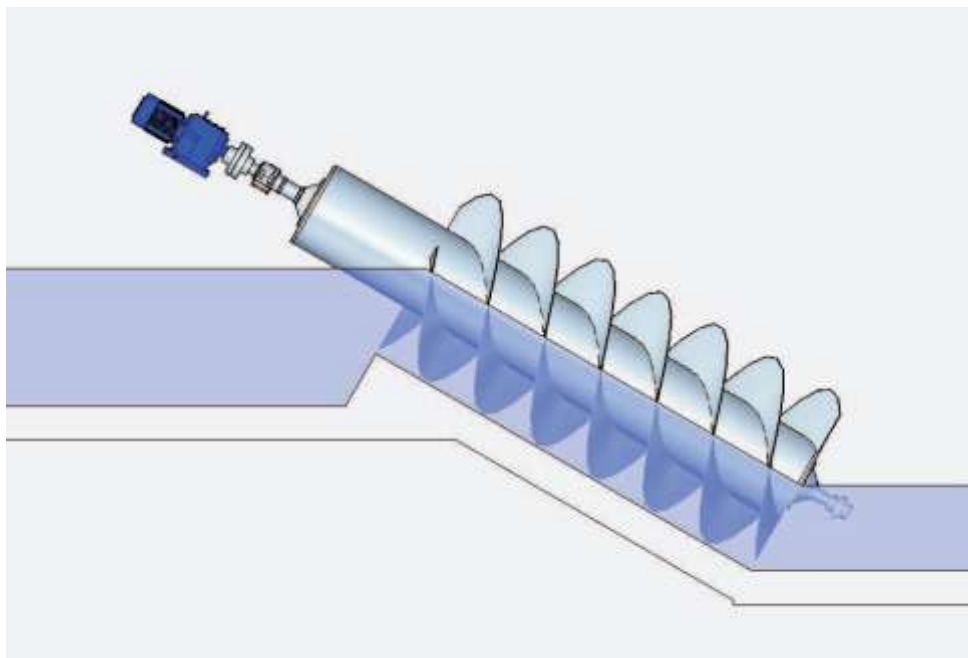


Obrázek 18 Součásti Bánkiho turbíny [ 4 ]

## 5.11 Šroubové vodní motory

Šroubový vodní motor využívá jednoduchost a techniku Archimedova šroubu, jenž byl používán k čerpání vody. V 19. století se přestal používat, aby později byl znovuobjeven v technice čerpání odpadních vod. U šroubového čerpadla musíme dodat pro funkci čerpání mechanickou točivou energii, kdežto u šroubového vodního motoru nám tuto energii obstarává voda. Šroubový vodní motor využívá polohovou energii vody mezi horní a spodní vodní hladinou a převádí tuto energii na mechanickou a tu potom měníme v generátoru na energii elektrickou. Šroubový vodní motor má univerzální použití v širokém rozsahu spádu od 1 do 10 metrů a pro průtok od 0,1 do 5,5 m<sup>3</sup>/s. Jeho výhodou je dlouhá životnost soustrojí bez nutnosti údržby a velká účinnost oproti vodním kolům a malým vodním turbínám. Účinnost se pohybuje kolem 90 % a je málo závislá na okamžitém průtoku, a to až do jedné třetiny jmenovitého průtoku. Šroubové vodní motory jsou odolné abrazi a nepotřebují jemné česle. Schematický náčrt šroubového vodního motoru je na obrázku 19.

Informace byla získána od firmy GESS – CZ.



Obrázek 19 Šroubový vodní motor s generátorem [ 5 ]

## 6 Vodní mlýn a elektrárna Písek

První dochované záznamy o existenci vodního mlýna jsou z roku 1511. Mlýn v tomto roce daroval městu Písku král Vladislav Jagellonský. V té době se mu říkalo Podskalský mlýn. Mlýn měl v roce 1771 čtyři mlýnská složení se stoupou, pilou a jahelkou. Roku 1836 je zde zřízena městská vodárna s čerpadlem, které vyrobil v Praze Josef Božka. Všechna zařízení pohánělo sedm vodních kol na spodní vodu. 23. června 1887 bylo průkopníkem a vynálezcem Františkem Křižíkem rozsvíceno pět obloukových lamp, které elektrickým proudem napájelo soustrojí dynamo s parní lokomobilou. V září téhož roku se město rozhodlo přemístit dynamo do Podskalského mlýna, kde upraveným soustrojím jednoho vodního kola bylo poháněno dynamo a zároveň osvětlení města rozšířeno o tři obloukové elektrické lampy. 31. srpna 1888 byla Františkem Křižíkem uvedena do provozu zrekonstruovaná strojovna Podskalského mlýna. Všechna vodní kola byla nahrazena jedním Sagebeinovým kolem o průměru 8 metrů a šířce 4 metry. Vodní kolo pohánělo tři mlýnská složení a tři dynamo, která dodávala elektrický proud 24 obloukovým elektrickým lampám a 61 žárovkám. V roce 1901 byla přestavěna budova i technologické vybavení bývalého mlýna a byl spuštěn provoz nové vodní elektrárny. Obrázek 20. zobrazuje elektrárnu s jezem.



Obrázek 20 Pohled na elektrárnu a jez



K výrobě elektrické energie byla použita dvě dynamy o výstupním napětí 150 V. K pohonu dynam byly použity dvě Francisovy vertikální turbíny, každá o výkonu 37 kW a průtoku 5 m<sup>3</sup>/s při spádu 1,25 metru. V podlaží nad strojovnou byly umístěny akumulátorové baterie určené pro pokrytí špičkové spotřeby elektrické energie. Baterie se v době přebytku elektrické energie nabíjely a v době potřeby elektrickou energii dodávaly. V roce 1922 byl do města Písek zaveden třífázový střídavý elektrický proud dodávaný od Jihočeského elektrárenského svazu. Postupně byly rušeny všechny rozvody a spotřebiče na stejnosměrný proud dodávaný vodní elektrárnou a v roce 1926 byla dokončena rekonstrukce vodní elektrárny. Obě dynamy v elektrárně nahradil třífázový alternátor. V elektrárně byla zřízena rozvodna nízkého napětí a v roce 1929 rozvodna a transformovna vysokého napětí 6 kV. Provoz vodní elektrárny byl pro velké opotřebení technologie zastaven v roce 1986. Po rozsáhlé rekonstrukci byla vodní elektrárna 1. dubna 1994 opětovně uvedena do provozu. Městský úřad Písek v roce 1997 v elektrárně zřídil muzeum věnované energetice a veřejnému osvětlení. Současné technologické zařízení vodní elektrárny odpovídá stavu v roce 1926. Alternátor byl nahrazen novým asynchronním generátorem. Písecká vodní elektrárna je nejstarší vodní elektrárnou v Čechách. Obrázky 21 a 22 zobrazují technologické vybavení elektrárny.

Informace poskytl při osobním kontaktu majitel muzejní sbírky, pan Anděl.



Obrázek 21 Převod koženým řemenem



Obrázek 22 Strojovna turbín

## 7 Vodní díla na řece Lužnici

Řeka Lužnice pramení v Rakousku na úpatí Novohradských hor. Její tok je od pramene až k soutoku s Vltavou dlouhý 208 km při celkovém spádu 624 metrů. Voda z Lužnice byla využívána jako zdroj hnací síly už v 15. století. Počátkem 20. století byla značná část vodních mlýnů přestavěna z původního pohonu vodním kolem na pohon vodní turbínou. V roce 1922 je zbudována malá vodní elektrárna Rožmberk. Zastaralý pohon vodním kolem je postupně na většině mlýnů měněn za novější technologii, turbíny. Vzhledem k malé účinnosti vodních kol, turbína využívá energii vody hospodárněji. Po výměně vodního kola za turbínu se energie vody hromadně využívá pro výrobu elektrické energie. Jak je uvedeno v příloze na obrázcích 1; 2; 3 na toku řeky Lužnice bylo 36 vodních mlýnů a malých vodních elektráren. Většina byla původně vybavena vodním kolem, ale s přicházejícím technickým vývojem byla přestavěna na pohon vodní turbínou. Používala se Francisova turbína, protože byla jednoduché konstrukce a měla oproti Kaplanově turbíně jednoduché ovládání a regulaci. V příloze jsou uvedena vodní díla po celém toku Lužnice. Je zde uveden název, umístění, hltnost, počet a druh soustrojí s výkonem a vzdouvací objekt s náhonem a odpadem.

Informace byla získána ze státního podniku Povodí Vltavy.

## 8 Vodní elektrárna Rožmberk

Malá vodní elektrárna Rožmberk využívá přehrazení Staré řeky. Stará řeka je původním korytem řeky Lužnice, kterou v letech 1584 až 1590 Jakub Krčín přehradil mohutnou hrází rybníka Rožmberk. Se stavbou rybníka Rožmberk zároveň vybudoval umělý kanál nazvaný Nová řeka, která má za úkol chránit mohutnou hráz rybníka Rožmberk před případnými povodněmi. Potenciálu energie vody a retenční schopnosti rybníka Rožmberk si začátkem 20. století začali všimnout Rozvodné závody České Budějovice. V roce 1922 byla spuštěna do zkušebního provozu malá vodní elektrárna.

Pro elektrárnu byl vybudován vtokový objekt, který obsahuje česla a dva pomaluběžné uzávěry vody. Konstrukce česel je umístěna pod vodní hladinou. Z tohoto důvodu je čištění česel prováděno ručně lidskou obsluhou. Pomaluběžné uzávěry jsou používány pouze v případě oprav na turbínách, nejsou určeny pro odstavení v běžném provozu. Náhon k rozváděcímu kolo je železobetonový o rozměrech 2,2 x 2 metry a délce 40 metrů. Před vtokem do objektu elektrárny je na náhonu umístěn mechanický uzávěr, který se montuje na hrdlo jedné ze dvou turbín. Toto technické řešení umožňuje při opravě jedné turbíny provoz druhé turbíny. V případě poruchy nebo odstavení obou turbín, je možné regulovat výšku hladiny rybníka jalovým bezpečnostním kanálem. Technologie Francisových turbín je původní, pouze v letech 1989 až 1990 byla provedena generální oprava. Každá ze dvou turbín využívá spádu 5,4 metru při maximálním průtoku 3 m<sup>3</sup>/s. Soustrojí je vertikální, na jedné ose dlouhé 7 metrů je oběžné kolo turbíny i budící cívky generátoru. Francisova turbína má 24 nastavitelných lopatek rozváděcího kola o průměru 1,8 metru. Lopatkami rozváděcího kola se řídí průtok turbínou a tím i její otáčky. Konstrukce turbíny je sestrojena tak, že využívá nastavitelné lopatky rozváděcího kola jako provozní uzávěr vody do turbíny. Uzavřením lopatek je turbína odstavena z provozu. Na hřídeli je pomocí klínu v drážce připevněno oběžné kolo, které má 24 pevně nastavených lopatek. Hřídel nese budící vinutí generátoru a kroužky pro přenos napájení budícího vinutí. Budící vinutí je napájeno maximálním stejnosměrným napětím 90 V a maximálním proudem 22 A. Budící vinutí tvoří 14 pólových dvojic. Na výrobním štítku jsou uvedeny otáčky soustrojí 214,4 min<sup>-1</sup>. V těchto otáčkách musíme udržovat soustrojí v době synchronizace a připojení k elektrické síti, do které se dodává vyrobená elektrická energie.

Otáčky lze zkontrolovat výpočtem:  $n = \frac{f}{p} [s^{-1}]$

n – otáčky soustrojí [ s<sup>-1</sup> , min<sup>-1</sup> ]

f – požadovaná frekvence [ Hz ]

p – počet pólových dvojic [ - ]

$$n = \frac{50}{14} = 3,572 \text{ s}^{-1}$$

$$n = 214,3 \text{ min}^{-1}$$

Výrobce Elektrotechnická akciová společnost, dříve Kolben a spol., Praha uvádí na štítcích obou soustrojí výkon turbíny 160 kW.

Teoretický výkon protékající vody lze ověřit výpočtem dle vztahu:

$$Pt = \rho * Q * g * H \text{ [W]}$$

Pt – teoretický výkon [ W ]

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

Q – předpokládaný průtok vodní turbínou [ m<sup>3</sup>/s ]

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

H – převýšení, spád [ m ]

$$P = 1000 * 6 * 9,81 * 5,4$$

$$P = 317,85 \text{ kW}$$

Účinnost soustrojí udávaná výrobcem je 85 %.

Měřením ampérmetrem s převodovými proudovými transformátory byl na výstupních svorkách generátoru G 1 naměřen elektrický proud 192 A, na výstupních svorkách generátoru G 2 elektrický proud 177 A. Sdružené napětí na výstupních svorkách generátoru bylo 412 V. Fázový posun při jmenovitých otáčkách a plném výkonu byl změřen 0,98.

Skutečnou účinnost soustrojí zjistíme výpočtem podle vztahu:

$$P_G = \sqrt{3} * U_s * I_s * \cos\varphi \quad [kW]$$

$P_G$  – výkon [ kW ]

$U_s$  – napětí sdružené [ V ]

$I_s$  – proud sdružený [ A ]

$\cos\varphi$  - fázový posun [ - ]

$$P_{g1} = 1,73 * 412 * 192 * 0,98 \qquad P_{g1} = 134,113 \text{ kW}$$

$$P_{g2} = 1,73 * 412 * 177 * 0,98 \qquad P_{g2} = 123,635 \text{ kW}$$

Skutečný činný výkon generátorů je 134,1 kW a 123,6 kW. Účinnost celého soustrojí je dána vztahem:

$$\eta = \frac{P_g}{P} \quad [ \% , - ]$$

$\eta$  - účinnost soustrojí [ %, - ]

$P_g$  – výkon generátorů G 1 + G 2 [ kW ]

$P_t$  – teoretický výkon [ kW ]

$$\eta = \frac{257,7}{317,85}$$

$$\eta = 0,811$$

Skutečná účinnost obou soustrojí je 81,1 %. Jelikož není možné změřit skutečnou hltnost turbín, je výpočet zkreslen. Soustrojí jsou naprosto stejné konstrukce, pouze na soustrojí č. 2. bylo v minulosti měněno oběžné kolo. Je pravděpodobné, že nové kolo je odlišné konstrukce a tvarování lopatek. Touto úpravou se snížil výkon soustrojí G2. Obrázky 23 až 27 zobrazují vtokový objekt, objekt elektrárny a technologické zařízení.

Poklady pro výpočty a informace o elektrárně poskytl pan Zasadil.



Obrázek 23 Vtokový objekt s tabulovým uzávěrem



Obrázek 24 Budova vodní elektrárny s jalovou propustí



Obrázek 25 Soustrojí s regulátorem otáček



Obrázek 26 Ovládací táhla rozváděcích lopatek



Obrázek 27 Kroužky napájení budícího vinutí

## 9 Vodní elektrárna Lada

Vodní mikroelektrárna Lada se nachází v Jindřichově Hradci. Je postavena na levém břehu řeky Nežárky, 45,398 říčního kilometru při původním jezu Lada. Jez Lada byl využit pro stavbu elektrárny z důvodu dopravní dostupnosti a krátké vzdálenosti ke kabelovému vedení NN rozvodné sítě E.on ČR, kam je dodávána vyrobená elektrická energie. Rozdíl spodní a horní hladiny vytvářený jezem dlouhým 42 metrů je 1,4 metru. Tohoto spádu využívá vybudovaná vodní elektrárna. Se stavbou bylo započato v roce 1989 po získání stavebního povolení a dohodnutí Manipulačního řádu s Povodím Vltavy. Elektrárna vznikla na vybudovaném náhonu dlouhém 15 metrů. Začátek náhonu je opatřen česlemi a uzávěrem náhonu. Uzávěr náhonu je železná konstrukce s dřevěnou výplní ovládaný dálkově elektropohonem. Uzávěr náhonu je ovládán automaticky s možností ručního ovládání.



Automatické ovládání uzavěru náhonu sbírá data z výstupu generátorů, pokud dojde k výpadku napětí generátoru nebo pokud je nízký stav vody nad jezem, dojde k samočinnému odstavení elektrárny od přívodu vody náhonem. Stav horní hladiny je monitorován snímačem hladiny. Pokud se stav hladiny nad jezem sníží pod stanovenou mez, dojde k uzavření náhonu do elektrárny. Uzavěr náhonu je blokován, dokud stav horní hladiny není nad stanovenou hranicí. Při výběru turbín se musel zohlednit spád a průtok. Maximální průtok vodní elektrárnou Lada byl stanoven správcem toku Povodí Vltavy s. p. Následovaly teoretické výpočty, ze kterých se určila konstrukce a rozměry turbíny.

Teoretický výkon protékající vody náhonem vodní elektrárny Lada spočítaný podle vztahu:

$$P = \rho * Q * g * H \text{ [W]}$$

P – výkon [ W ]

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

Q – předpokládaný průtok vodní turbínou [ m<sup>3</sup>/s ]

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

H – převýšení, spád [ m ]

$$P = 1000 * 3 * 9,81 * 1,4$$

$$P = 41,2 \text{ kW}$$

Voda protékající vybudovaným náhonem při maximálním průtoku 3 m<sup>3</sup>/s. má teoretický využitelný výkon 41,2 kW.

Instalovaný výkon soustrojí spočítáme podle vztahu:

$$P_s = \eta * P \text{ [W]}$$

P<sub>s</sub> – instalovaný výkon soustrojí [ W ]

$\eta$  - účinnost soustrojí [ %, - ]

P – teoretický výkon protékající vody náhonem [ W ]

$$P_s = 0,58 * 41,2$$

$$P_s = 23,89 \text{ kW}$$

Bylo rozhodnuto, že se použije konstrukce kašnové vrtulové turbíny se savkou. Z důvodu kolísání hladiny a průtoku vody se rozhodlo o použití tří turbín stejné konstrukce. Oběžné kolo má průměr 0,69 metru. Každé soustrojí má výkon 8 kW. Generátor je dimenzován na výkon 8,8 kW. Každá turbína má hltnost 1 m<sup>3</sup>/s. Ve zkušebním provozu se zjistilo, že účinnost soustrojí je menší, než bylo teoreticky spočítáno. Výkon všech tří soustrojí byl změřen 21,2 kW. Protože úprava turbín by byla nákladná, přistoupilo se k levnější variantě. Zvýšení výkonu a teoretické účinnosti celého soustrojí se zlepšil navýšením spádu. Spád 1,4 metru byl navýšen o 0,2 metru na celkový spád 1,6 metru. Této úpravy se dosáhlo použitím náplavek namontovaných na tělese jezu. Po této úpravě byl změřen výkon všech soustrojí 24,2 kW. Vzhledem k navýšení spádu došlo k navýšení výkonu soustrojí. Průtok turbínou byl změřen a odpovídá údaji, který udává výrobce. Jelikož jsme dosáhli udávaného výkonu až po zvýšení spádu, udávaná účinnost soustrojí neodpovídá skutečné účinnosti.

Teoretický výkon protékající vody náhonem vodní elektrárny Lada při zvýšeném spádu spočítaný podle vztahu:

$$P = \rho * Q * g * H \text{ [W]}$$

P – výkon [ W ]

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

Q – předpokládaný průtok vodní turbínou [ m<sup>3</sup>/s ]

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

H – převýšení, spád [ m ]

$$P = 1000 * 3 * 9,81 * 1,6$$

$$P = 47,1 \text{ kW}$$

Voda protékající náhonem při maximálním průtoku 3 m<sup>3</sup>/s. a spádu 1,6 metru má teoretický využitelný výkon 47,1 kW.

Skutečná účinnost je dána vztahem:

$$\eta = \frac{P_s}{P_v} [-, \%]$$

$\eta$  - účinnost soustrojí [ %, - ]

$P_s$  – instalovaný výkon soustrojí [ W ]

$P_v$  – teoretický výkon protékající vody náhonem [ W ]

$$\eta = \frac{24,2}{47,1}$$

$$\eta = 0,51$$

Výpočtem byla zjištěna skutečná účinnost soustrojí 51 %.

Na obrázcích 28 a 29 je řemenice turbíny s generátorem a náhon k elektrárně s jezem a tabulovým uzávěrem.

V příloze jsou obrázky záznamů z provozu vodní elektrárny Lada. Obrázek 4 ukazuje knihu denních záznamů provozu vodní elektrárny. Obrázek 5 znázorňuje graf výroby elektrické energie od roku 1990 do roku 2008.

Podklady, fotodokumentace a měření na vodní elektrárně Lada byla možná za podpory majitele ing. Neubauera.



Obrázek 28 Řemenice turbíny s generátorem



Obrázek 29 Jez Lada s náhonem pro elektrárnu a tabulovým uzávěrem

## 10 Závěr

Voda byla vždy zdrojem energie, kterou člověk využíval. Člověk ji napřed využíval pouze jako tekutinu nutnou k přežití. Už 600 let př. n. l. Chaldejci pomocí čerpacího kola dopravovali vodu na zavlažování půdy. Postupem času lidé zdokonalovali čerpací kola, později vodní kola a těmi si usnadňovali práci. Vodní sílu využívalo lidstvo nejen k zavlažování půdy, ale hlavně k mletí obilí. Po obilných mlýnech začali lidé ovládat vodní sílu i v oblasti zpracování dřeva, železa a v dalších odvětvích. Zdokonalovalo se vodní kolo a jeho konstrukce se postupem staletí měnila do podoby, ve které bylo zachováno dodnes. S nastupující technickou revolucí a značným rozvojem průmyslu už výkonově vodní kola nestačila. Francouz prof. Claude Burdin v roce 1824 vynalézá první použitelnou přetlakovou vodní turbínu. Vývoj vodních turbín pokračuje zpočátku pomalu a obtížně. Postupně konstruktéři s matematiky vyvíjí různé typy vodních turbín. Některé vyvinuté vodní turbíny nenajdou uplatnění a jsou nahrazovány novějšími dokonalejšími typy. Z vodních mlýnů jsou na počátku 20. století demontována vodní kola pro jejich malou účinnost. Vodní kola jsou měněna za Francisovy turbíny, které v té době ještě pohánějí původní mlýnská zařízení. S postupnou elektrifikací začínají vodní turbíny pohánět dynamo a alternátory vyrábějící elektrickou energii. Na přelomu 19. a 20. století jsou v Jižních Čechách budovány první vodní elektrárny. Při mapování Vodňanského vodního náhonu jsem došel k závěru, že vodní kola byla měněna za Francisovy turbíny, z nichž některé pracují dodnes. Pouze ve dvou mlýnech byla vyměněna Francisova turbína za Kaplanovu. Dnes je zde v provozu celkem pět turbín, tři původní Francisovy turbíny a dvě nové Kaplanovy turbíny. Vodní elektrárna v Písku, která byla uvedena do provozu jako první v Čechách je dodnes plně funkční. U vodních elektráren Rožmberk a Lada jsem výpočtem porovnával výkony protékající vody a výkony soustrojí. Vzhledem k velikosti soustrojí vodní elektrárny Rožmberk vykazuje větší účinnost než menší soustrojí elektrárny Lada. Vzhledem k teoretické nevyčerpatelnosti obnovitelné energie vody, je momentální využívání vodních toků spíše zanedbatelné. Bakalářská práce by měla sloužit jako podklad pro výuku předmětu Elektrické stroje a přístroje na Střední odborné škole elektrotechnické, centru odborné přípravy v Hluboké nad Vltavou.

## 11 Seznam použité literatury

- [ 1 ] Francisova horizontální turbína: <http://vyuka.ic.cz/elektricka-energie-vyroba+prenos/obr/turbina-francisova+soupe-tech-muzeum-Brno2008.jpg>  
4.12.2009 15,31 hodin
- [ 2 ] Peltonova turbína: <http://vyuka.ic.cz/elektricka-energie-vyroba+prenos/obr/turbina-peltonova-tech-muzeum-Brno2008.jpg>  
4.12.2009 15,33 hodin
- [ 3 ] Kaplanova turbína: <http://vyuka.ic.cz/elektricka-energie-vyroba+prenos/obr/turbina-kaplanova2-celek1-tech-muzeum-Brno2008.jpg>  
4.12.2009 15,35 hodin
- [ 4 ] Bánkiho turbína: <http://vyuka.ic.cz/elektricka-energie-vyroba+prenos/obr/turbina-bankiho-celek-tech-muzeum-Brno2008.jpg>  
4.12.2009 15,45 hodin
- [ 5 ] Šroubový vodní motor: <http://gess.cz>  
5.11.2009 12,31 hodin
- [ 6 ] Bednář J. Malé vodní elektrárny 2 SNTL, Praha 1989, bez ISBN
- [ 7 ] Klempera J. Vodní mlýny v Čechách V. LIBRI, Praha 2002, ISBN 80-7277-100-0
- [ 8 ] Kubín M. Proměny České energetiky ČSZE, Praha 2009, ISBN 978-80-254-4524-2
- [ 9 ] Kol. Velká kniha o energii L.A.C.A. Praha 2001, ISBN 80-238-6578-1
- [ 10 ] Materiály Povodí Vltavy, státní podnik, bez ISBN
- [ 11 ] Historické dokumenty a materiály z archivu Muzea energetiky České Budějovice, bez ISBN
- [ 12 ] Historické materiály Muzea elektrárny královského města Písku, bez ISBN

## **12 Seznam příloh**

Obrázek 1; 2; 3 Kopie Státního vodohospodářského plánu Povodí Vltavy s. p.

Obrázek 4 Denní záznamy provozu vodní elektrárny Lada

Obrázek 5 Graf výroby elektrické energie vodní elektrárnou Lada

# Přílohy











