

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Využití vodních kol pro výrobu elektřiny

**vedoucí práce: Ing. Viktor Majer
autor: Ondřej Choleva**

2012

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na využití vodních kol na výrobu elektrické energie v nízkospádových lokalitách. Cílem této práce je popsání jednotlivých typů kol a porovnat je z hlediska využití v energetice. Práce je rozdělena do pěti kapitol. V první kapitole zmiňují historii vodních kol. V druhé kapitole jsou vypsány různé typy kol. Ve třetí kapitole popisují nejmodernější vodní elektrárnu v České republice využívající vodní kolo. Ve čtvrté kapitole zmiňují některé turbíny a porovnávají je s vodními koly. V poslední kapitole diskutují možnost nasazení pro nízkospádové lokality.

Klíčová slova

Vodní kolo, vodní motor, turbíny, Zuppinger, Zuppingerovo vodní kolo, Archimédův šroub, elektrárna Bystřice nad Úhlavou

Abstract

This bachelor thesis focus on use of water wheels to produce electricity in areas with low water head. The aim of this paper is to describe different types of water wheel and compare them in terms of energy use. The work is divided into five chapters. In the first chapter, I mention the history of water wheels. In the second section are listed various types of water wheel. The third chapter describes the most modern hydroelectric power station in the Czech Republic using a water wheel. In the fourth chapter, I mention some of the turbines and compare them with the water wheels. The last chapter discusses deployment options for Low Water Head locality.

Key words

Water wheel, water motor, turbines, Zuppinger, Zuppingers water wheel, Archimedes screw, power station Bystřice nad Úhlavou

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce. Veškerý software použitý k vytvoření této bakalářské práce byl zcela legální.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Viktoru Majerovi za připomínky a metodické vedení práce, dále bych rád poděkoval panu Jiřímu Studničkovi za cenné informace a profesní rady.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
1. HISTORIE VODNÍCH KOL	9
2. ROZDĚLENÍ A TYPY VODNÍCH KOL	9
2.1. VODNÍ KOLA NA SVRCHNÍ VODU	10
2.1.1. <i>S normálním chodem</i>	10
2.1.2. <i>Se zpětným chodem</i>	12
2.2. VODNÍ KOLA NA STŘEDNÍ VODU S KULISOVÝM VTOKEM	12
2.3. VODNÍ KOLA NA STŘEDNÍ VODU S PŘEPADEM	14
2.4. VODNÍ KOLA NA SPODNÍ VODU	14
2.5. POROVNÁNÍ VODNÍCH KOL A JEJICH VYUŽITÍ V ENERGETICE	16
2.5.1. <i>Jednotlivé druhy kol a jejich vlastnosti</i>	16
2.5.2. <i>Shrnutí</i>	17
3. ZUPPINGEROVO VODNÍ KOLO BYSTŘICE NAD ÚHLAVOU	18
3.1. ČÁSTI MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY NA ODPADNÍM KANÁLE V BYSTŘICI.....	18
3.1.1. <i>Objekt elektrárny</i>	19
3.1.2. <i>Přívodní kanál</i>	20
3.1.3. <i>Bezpečnostní přepad a jalová propust</i>	20
3.1.4. <i>Česle</i>	21
3.1.5. <i>Uzavírací stavidlo</i>	22
3.1.6. <i>Lapač kamenů a písku</i>	22
3.1.7. <i>Regulační stavidlo</i>	22
3.1.8. <i>Vodní motor</i>	23
3.1.9. <i>Odpadní žlab</i>	23
3.1.10. <i>Hřidel</i>	23
3.1.11. <i>Převodovka</i>	24
3.1.12. <i>Generátor</i>	25
3.2. TECHNICKÉ INFORMACE	25
4. POROVNÁNÍ VODNÍCH KOL A TURBÍN	26
4.1.1. <i>Kaplanova turbína</i>	27
4.1.2. <i>Bankiho turbína</i>	28
4.1.3. <i>Násosková turbína</i>	29
4.1.4. <i>Francis-Reiffensteinova turbína</i>	30
4.1.5. <i>Porovnání</i>	31
5. VODNÍ MOTORY PRO NÍZKOSPÁDOVÉ LOKALITY	32
5.1. VODNÍ KOLA V NÍZKOSPÁDOVÝCH LOKALITÁCH	33
5.2. ARCHIMÉDŮV ŠROUB	34
ZÁVĚR	36
POUŽITÁ LITERATURA	37
POUŽITÉ INTERNETOVÉ ZDROJE	38
PŘÍLOHY	

Úvod

Vodní kola jsou jedny z nejstarších hnacích motorů, které kdy člověk začal využívat. Díky své jednoduchosti a dostupnosti získávala na oblibě, což postupným zdokonalováním a vývojem vedlo k vynalezení prvních turbín. Bohužel s nástupem rozvíjejícího se strojírenství hlavně v období 20. století byla tato vodní kola pomalu vytlačována konstrukčně vyspělejšími turbínami.

Proto jsem si jako téma bakalářské práce zvolil - Využití vodních kol pro výrobu elektřiny, abych zhodnotil využitelnost vodních kol v dnešní době. Za cíle své práce jsem si stanovil, rešeršním způsobem popsat jednotlivé typy kol a porovnat je z hlediska využití v energetice. Pro lepší pochopení dané problematiky je žádoucí navštívit různé vodní elektrárny, kde jako hnací motory slouží vodní kola ale i turbíny a zjistit tak použitelnost v provozu. Dále chci porovnat vodní kola s modernějšími turbínami, které jsou dnes nejčastěji instalovány na našich tocích. Tímto porovnáním chci zjistit, jestli jsou vodní kola právem považována za překonanou technologii nebo nikoliv. V neposlední řadě bych rád zjistil jaká je možnost nasazení vodních kol do nízkospádových lokalit, které jsou v naší zemi nejrozšířenější a jsou stále nevyužité.

1. Historie vodních kol

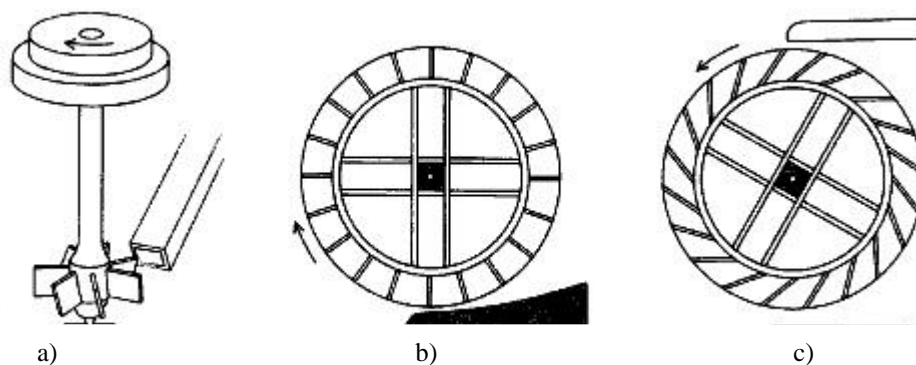
Samotné počátky využívání vodního kola sahají někam do 1. století př.n.l. do starého Egypta a dále do Asie, kde bylo kolo využíváno hlavně na čerpání vody. Samotné kolo bylo opatřeno množstvím zavěšených nádobek a poháněno lidskou, popřípadě zvířecí silou. S konstrukcí čerpacích kol souvisí vynalezení jednoduchého soukolí, sloužící k přenosu síly lidí a zvířat, tento vynález je připisován hned dvěma významným učencům, a to Archimédovi (287-212 př.n.l.) a Hérónovi Alexandrijskému. Ozubené soukolí bylo později využíváno jako základní mechanismus mlýnů a vodních kol. [4]

První vodní mlýny jsou známy z oblasti Malé Asie z 1. století př.n.l. Ovšem nejstarší zmínky o vodních kolech pochází od Římanů, ti mluví o tom, jak v dobyté pevnosti krále Mithridata v Malé Asii poznali vodní mlýn. Další dobové svědectví o využití vodní síly lze nalézt v epigramu řeckého básníka Antipatra ze Soluně z dob někdy okolo 1. století př.n.l. [4]

2. Rozdělení a typy vodních kol

Vodní kola dělíme dle několika kritérií. Jedno z nejzákladnějších rozdělení kol je podle toho, jak jsou tato kola ukotvena. Dělíme je na horizontální a vertikální. Dále rozdělujeme kola podle způsobu využívání vodní energie. Kola využívající převážně kinetickou energii vody se nazývají lopatková, tato kola jsou zkonstruována tak, že k rotoru jsou připevněny lopatky, na které je přiveden proud vody, ten do lopatek naráží a tím pohání rotor kola. Naopak kola využívající převážně potenciální energii vody se nazývají korečková. Ta jsou složena ze dvou věnců, mezi nimiž jsou korečky, do kterých se voda nalévá. V neposlední řadě dělíme kola podle směru otáčení vzhledem k proudění spodní vody, a to na kola s otáčením ve směru a proti směru proudění spodní vody. [6]

Vertikální kola jsou dnes nejrozšířenější, a to z důvodů účinnosti. Tento typ je znázorněn na obrázku (Obr. 1b.). U těchto typů kol je hřídel ukotvena vodorovně, u mnohem staršího typu, dnes již skoro nevyužívaného kola horizontálního, je hřídel ukotvena svisle (Obr. 1a.).[6]



Obr. 1. Vodní kola seřazená dle složitosti a efektivnosti (převzato z [5])

Horizontální kolo bylo dříve využíváno díky své jednoduchosti, protože zde není potřeba žádné transmise nebo převodu a mlýnský kámen byl připevněn přímo na hnací hřídel. Na druhém konci hnací hřídele byl dřevěný rotor a v něm zasazeny lopatky kola. Při přivedení proudu vody na lopatky kola přívodním kanálem se kolo dalo do pohybu. [6]

Vertikální kola dělíme podle místa, ve kterém voda natéká do kola, a proto je rozlišujeme na kola s vrchním nátokem (Obr.2.), středním nátokem (Obr.4.) a kola se spodním nátokem (Obr.7.), jinak řečeno se spodním dopadem. [6]

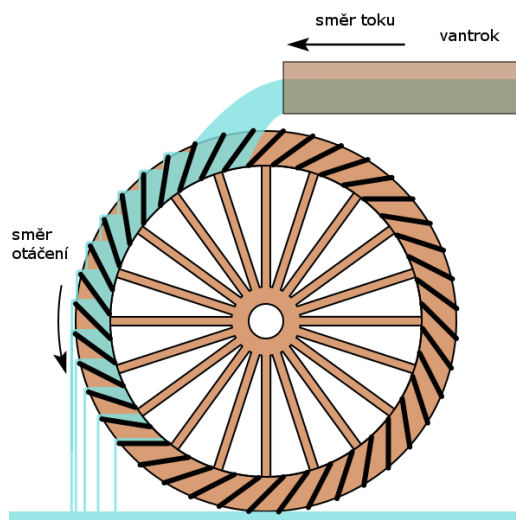
Dělení podle dopadu vody na kolo:

- ❖ *Na svrchní vodu*
 - *Chodem ve směru odtékání*
 - *S chodem proti směru*
- ❖ *Na střední vodu*
- ❖ *Na spodní vodu*

2.1. Vodní kola na svrchní vodu

2.1.1. S normálním chodem

Kol na svrchní vodu zůstalo až doposud nejvíce v provozu. Tato kola byla stavěna hlavně tam, kde bylo proměnlivé anebo malé množství vody. Jedna z jejich výhod je velikost průměru kola, která není tak výrazná jako u kol na spodní vodu. Průměr kola je bezmála stejně veliký jako samotný spád. [7]



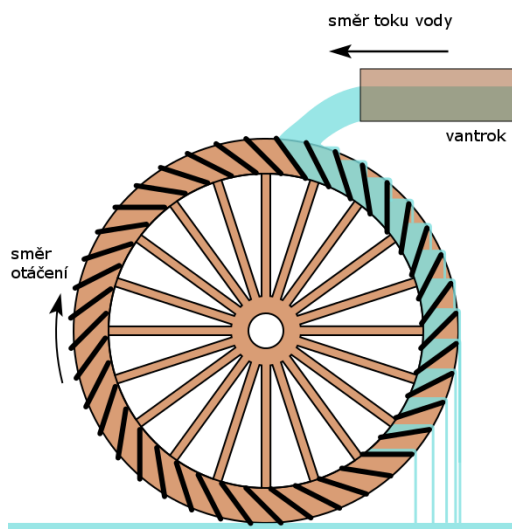
Obr. 2. Kolo na svrchní vodu (převzato z [10])

Principu těchto kol napovídá obrázek (Obr. 2.). Voda je přiváděna ke kolu korytem, též nazývaným "vantrokem", na jehož konci, ještě před nejvyšším bodem kola, je regulační stavidlo. To je ve většině případů šikmé, aby nedocházelo k tvoření vodních vírů a voda mohla protékat rovnoměrně. Pod stavidlem je vypouštěn tenký a plochý paprsek vody tak, aby obloukem dopadal právě do nejvyššího bodu kola. Tento paprsek musí mít dvojnásobnou rychlost, než jakou se kolo otáčí, aby voda dokázala korečky doběhnout a naplnit je. Při plnění korečku působí voda na kolo nejprve svojí kinetickou energií, po uklidnění vody začne voda teprve předávat svoji potenciální energii. Při předávání energie je kolo otáčeno, otočí-li se kolo na určitou mez, voda přestane předávat svoji potenciální energii, korečky se začnou postupně vylévat a vracejí se zpět k plnění. Ve spodní části kola může však docházet k předčasnému vylévání vody z korečků a tím i částečnému snížení účinnosti kola. Tomuto jevu lze zabránit zakřivenou stěnou tzv. "voletem". [7]

Jedna z podmínek spolehlivé funkčnosti tohoto kola je, že musí být ukotveno tak, aby se otáčelo v prostoru a nebrodilo ve spodní vodě. Při zvednutí hladiny, například vlivem deště, se zvyšuje spodní voda pod kolem a kolo začíná brodit. Důsledkem deště je také zvětšení průtoku a brodění kola se tak kompenzuje a stroj neztrácí na účinnosti. [7] Účinnost tohoto typu kol je v rozmezí 75% až 86% a využití naleznou spíše na menších tocích, kde jsou spády nad 2,5 m a průtoky od 0,1 do 0,25 m³/s. Jsou však i případy, kdy se tento typ používá pro spády větší, a to až nad 10 metrů, ale z ekonomického hlediska toto řešení není výhodné. U větších spádů je lepší zvážit možnost instalování malé vodní turbíny, pokud to povolují hydrologické podmínky lokality. [6]

2.1.2. Se zpětným chodem

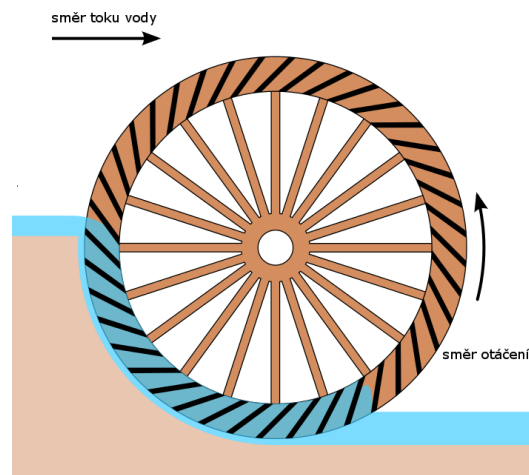
Obdobně jako v předešlém případě funguje i tento typ kol, změna je zde pouze ve směru otáčení, kdy se stroj otáčí proti směru přítoku vody žlabem. Voda ze žlabu do něj padá otvorem ve dně žlabu a je kulisou usměřována do protisměru. Tento typ se navrhuje pro spády 3 až 7 m a průtoky 0,1 až 0,25 m³/s. Účinnost je o trochu nižší, než u předešlého typu a pohybuje se od 70 do 80%. Výhodou obráceného chodu je vyšší účinnost při vzestupu dolní vody a brodění kola v ní, protože kolo se otáčí ve směru proudění dolní hladiny. [5]



Obr. 3. Kolo na svrchní vodu (převzato z [11])

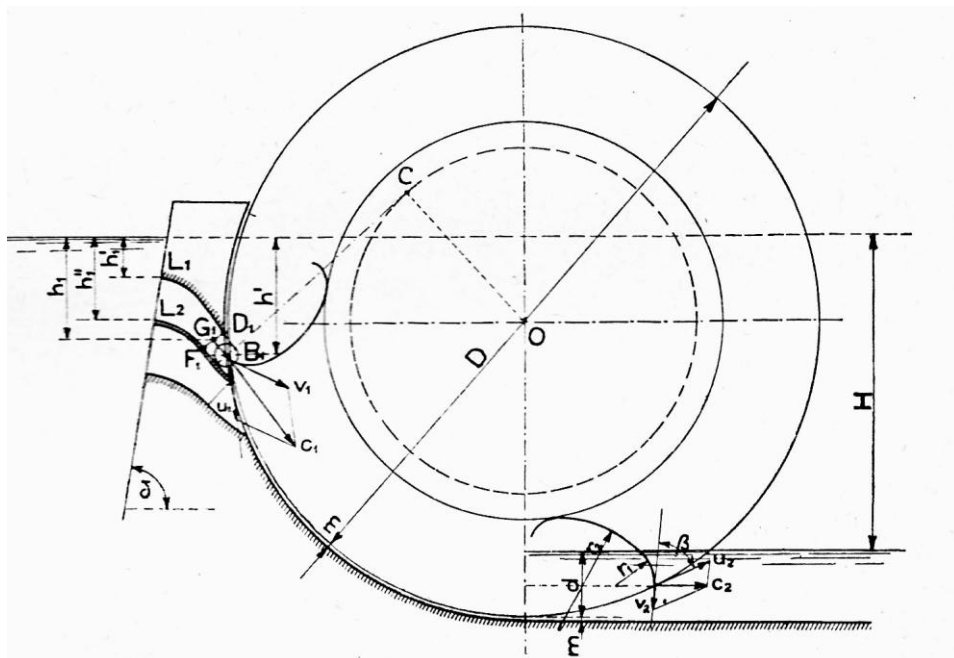
2.2. Vodní kola na střední vodu s kulisovým vtokem

Princip tohoto vodního kola je stejný jako u kola na svrchní vodu s tím rozdílem, že zde se voda přivádí do středu kola pomocí přívodního kanálu tzv. kulisy (Obr. 5.). Tyto kulisy bývají nejčastěji tvořeny z plechu o síle 4 až 8 mm a zasazené do litinových straníc, které jsou součástí konce přívodního žlabu. Na tomto žlabu je pomocí příčného nosníku připevněno stavidlové zdvihadlo, kterým přivíráme vtokové otvory a tím regulujeme množství vody přitékající do kola. Samotné kulisy musí být dostatečně blízko kola, aby bylo zajištěno co nejefektivnější plnění korečků. Většinou se kulisy nastavují tak, aby byla mezera mezi kolem a kulisou 15 mm až 30 mm, přičemž záleží na použitém materiálu, ze kterého je kolo zhotoveno. Pokud je kolo dřevěné, nechává se mezera mezi kulisou a samotným kolem větší, a to z důvodů chování dřeva vlivem vlhkosti a změnou ročních období. Pokud je kolo z nějakého jiného materiálu, nechává se mezera co nejmenší, aby nedocházelo k odtékání vody mimo kolo. [6]



Obr. 4. Kolo na střední vodu (převzato [12])

Výtok bývá často tvořen ze dvou až čtyř kulis uspořádaných nad sebou, které se volí tak, aby každou z těchto kulis protékalo stejné množství vody. Každá z kulis je přihnuta jinak, jelikož první kulisa je položena níže pod horní hladinou než druhá, jsou zde rozdílné výtokové rychlosti. Hlavní podmínkou je, aby z každé kulisy vytékalo stejné množství vody a proto bude sklon první kulisy L_1 vzhledem k obvodu kola větší než v případě kulisy L_2 . Rozdílný tvar kulis je vidět na obrázku (Obr. 5.). [6]



Obr. 5. Kolo na střední vodu s kulisou (převzato z [1])

Tato kola se využívají zejména tam, kde by se nevyplatilo postavit kolo na spodní vodu a tam, kde je malý spád pro kolo na svrchní vodu. Důvodem jeho použití namísto

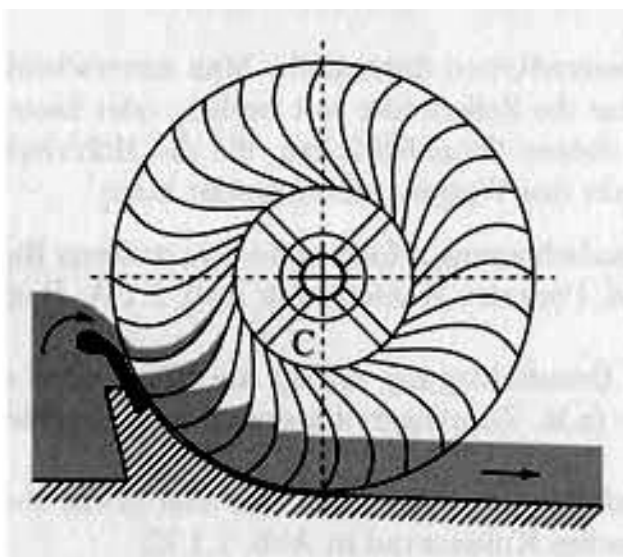
zmíněných kol je, že má v uvedeném rozmezí větší účinnost oproti kolům na spodní vodu, ale větší hltlost oproti kolům s vrchním nátokem [6]

Vlivem rozstříkávání, unikání vody z korečků a přestříkávání vody je možno v laboratorních podmínkách dosáhnout u tohoto typu kola účinnost až 80%. Realita je bohužel jiná a účinnost je něco málo okolo 60%. [1].

2.3. Vodní kola na střední vodu s přepadem

Jedná se o podobné kolo jako v předešlém případě, ale s rozdílem zakřivení lopatek a nátokem do kola. Voda natéká mezi lopatky přepadem přes regulační stavidlo a dosahuje tak jistého počátečního zrychlení pro uspořádání plnění komůrek. Nejdříve je předána kinetická energie lopatce, dále je využívána jen potenciální energii stejně jako v předešlém případě.

Do těchto typů patří například Zuppingerovo kolo (Obr. 6.), které je navrhováno pro spády od 1 do 3 m s průtoky od 0,04 do 3,5 m³/s. Účinnost těchto strojů je vysoká a nabývá hodnot až 78%, díky velkému rozsahu působnosti jsou v současnosti spolu s koly na horní vodu nejčastěji navrhovanými koly. [5]

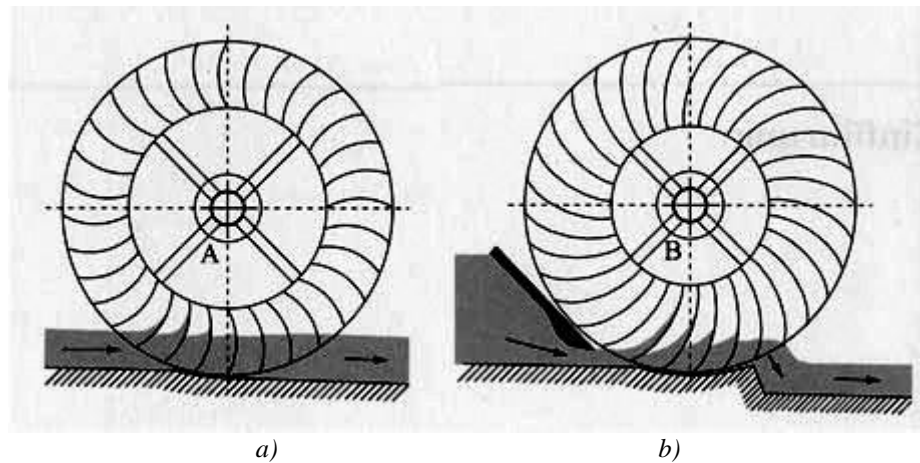


Obr. 6. Zuppingerovo kolo na střední vodu s přepadem (převzato z [5])

2.4. Vodní kola na spodní vodu

Vodní kola na spodní vodu se využívají zejména tam, kde jsou spády velmi malé, a množství protékající vody nedovoluje instalaci jiných typů. Výhodou je hlavně cena a jednoduchost stavby. Další výhodou je šetrnější přístup k životnímu prostředí, protože při stavbě kola nemusíme měnit ráz krajiny stavbou kolosálních jezů na zadržení dostatečného množství vody. Mezi nevýhody pak patří menší účinnost, což znamená malé využití

potenciálu lokality. Možnost nasazení na toky s malými spády je vykoupena potřebou většího průtoku, proto jsou stavěna na místech mělkých proudů v rovinnaté krajině. [1]



Obr. 7 a) kolo na spodní vodě b) Ponceletovo kolo (převzato z [5])

Princip obyčejného kola na spodní vodě (Obr. 7a.) je velice jednoduchý. Voda protékající pod kolem se opírá o lopatky a předává svojí energii, jakmile svojí energii předá, tak opouští lopatky a odtéká dále. Tento případ je ze všech kol konstrukčně a principiálně nejjednodušší, dochází zde však k velikým ztrátám. Vlivem víření vody při opouštění lopatek dochází k nežádoucímu jevu, kolo před sebou hrne určité množství vody a tím ztrácí na účinnosti, která se pohybuje na hranici 30% u stříkové hřebenáče.

Lepší účinnosti nabývá Ponceletovo kolo (Obr. 7b.). Ve špičce pod zvednutým stavidlem se celý spád vody přetransformuje na pohybovou energii. Voda vstoupí do kola a po skloněné zakřivené lopatce vyběhne do výše. Při změně směru pohybu z vodorovného na svislý se opírá o lopatku a uvádí kolo do pohybu, jelikož se jedná o změnu pozvolnou a plynulou (jako při průtoku zakřiveným kanálem turbínového kola), nedochází zde k rázům či víření a přeměna energie proběhne s malými ztrátami. Když voda vyčerpala svou rychlostní energii, její vzestup po lopatce vzhůru se zastaví a voda se dá do pohybu směrem dolů. Protože i zpět klouže po zakřivené ploše, opět uvádí vodní kolo do pohybu. [7]

Pod kolem, v místě kde voda opouští lopatky, musí být prohlubeň tzv. „vývařiště“, aby vytékající voda mohla změnit směr a klidně odtékat odpadním kanálem. Tímto způsobem pak eliminujeme zbytečné brždění vodního kola. Mezi známější kola tohoto typu patří ještě například Zuppingerovo kolo a nebo Sagenbienovo kolo. [1] Tato kola mají účinnost od 60% do 78% v reálném provozu.

2.5. Porovnání vodních kol a jejich využití v energetice

Pro lepší porovnání výhod a nevýhod různých typů kol jsem vypsali jejich vlastnosti a poté je porovnal. Samozřejmě toto porovnání neslouží pro odsouzení nějakého typu kol, ale pouze pro orientaci v kolech samotných. Porovnání není jednoduché, jelikož každý typ se hodí na něco jiného, jde jen o priority, které je potřeba si stanovit před návrhem.

2.5.1. Jednotlivé druhy kol a jejich vlastnosti

- Korečník na horní vodu

Jedná se o nejrychloběžnější vodní kolo, které se využívá především tam, kde jsou velké spády. Spolehlivě plní svoji činnost i při velice malých a proměnlivých průtocích. Problém nastává při zvýšení spodní hladiny, kdy kolo začíná brodit a ztrácí na účinnosti. Jako výhodu využívání těchto kol v energetice vidím fakt, že tato kola byla na našem území nejpoužívanější, tudíž se dochovalo nejvíce míst, náhonů pil a mlýnů, kde by stačila malá investice na jejich obnovení či opravu. [7]

- Korečník se zadním dopadem

Tento typ je schopen pracovat i s velice malými průtoky, i při jejich kolísání. Nevýhodou je nepřesná regulace výkonu a možnost ucpávání kulisy větvemi. Díky masivnímu věnci dosahuje obřích rozměrů, odměnou za to je vysoká účinnost a nízké stavební náklady. [7]

- Lopatník s kulisou

Použití pouze na střední a velké průtoky s malými spády. Pomocí volete docílíme u tohoto typu vysoké účinnosti. Nevýhodou je pomalá a nepřesná regulace výkonu a fakt, že při zablokování lopatek je znemožněn průtok. Mezi výhody počítáme malé pořizovací náklady a spolehlivý chod i při velkém kolísání průtoku při stabilních otáčkách.[7]

- Lopatník s voletem

Velmi pomaluběžný stroj s velkými náklady na výrobu. Velké rozměry zajistí použitelnost na střední a velké průtoky. Hodí se na malé spády a má stabilní otáčky, dokonce mu nevádí kolísání spodní hladiny. [7]

- Sagebienovo kolo

Technicky překonané pomaluběžné kolo obřích rozměrů, hodící se pro velké průtoky. Může být použit pouze na malé spády. Díky svým obřím rozměrům je i nákladné na výrobu.

Jeho výhodou je velice vysoká účinnost a velká přetížitelnost. [7]

- Zuppingerovo kolo

Tento typ (Obr. 10.) se využívá zejména na střední a vysoké průtoky při nejnižších spádech. Výhodou je vysoká účinnost i při velmi malých spádech díky použití volete. Lopatky kola mají větší šířku, než je šířka proudu vody přiváděná na ně, tím je docíleno nejefektivnějšího zhodnocení spádu. Tento stroj vyniká svojí přizpůsobivostí spádovým podmínkám, a proto je dnes nejvyužívanější vodní motor v nízkospádových lokalitách. [7]

- Ponceletovo kolo

Využívá pouze kinetickou energii vody, a to již od nejnižších spádů, potřebuje k tomu velké průtoky. Má velice dobrou účinnost, a však i veliké rozměry (Obr. 7b.). [7]

- Stříkový hřebenáč

Toto kolo se vyznačuje velmi špatnou účinností. Jedná se o technicky překonaný stroj, hodící se pouze na velké a střední průtoky. Jeho použití je možné při téměř nulových spádech, ale bohužel je citlivý na vzestup spodní hladiny. Stříkový hřebenáč je díky své jednoduché konstrukci velice odolný a přetížitelný. Velkou výhodou je možnost amatérské výroby s minimálními náklady na výrobu, která je ovšem vykoupena velice bídnou účinností. Proto se také nevyužívá v energetice. [7]

2.5.2. Shrnutí

Při použití vodních kol jako hnacích motorů elektrických generátorů, narážíme na problém přímého spojení hřídelí generátoru a kola, jako tomu je v případě některých turbín. Tento problém je způsoben pomaluběžností kola, které má sice značný točivý moment, ale velmi malé otáčky. Generátory elektrického proudu vyžadují otáčky řádově stokrát větší, samozřejmě je zde možnost navrhnout generátor, který by pracoval na malých otáčkách. Rozměry takového generátoru by byly zbytečně veliké a cena neúměrně vysoká. Jednodušší a levnější řešení je použití menších generátorů a převodu do rychla. Proto žádáme od kola co nejvyšší účinnost a stálé otáčky i při proměnlivých průtocích. [7]

Nejlépe vychází kola korečková a Zuppingerovo kolo na střední dopad. V účinnosti jsou lepší kola korečková, v regulaci jsou na tom také obdobně. Porovnat, které kolo z těchto dvou typů je lepší pro využití v energetice, je těžké. Ve výsledku rozhodují hydrologické podmínky lokality, kde chceme kola instalovat.

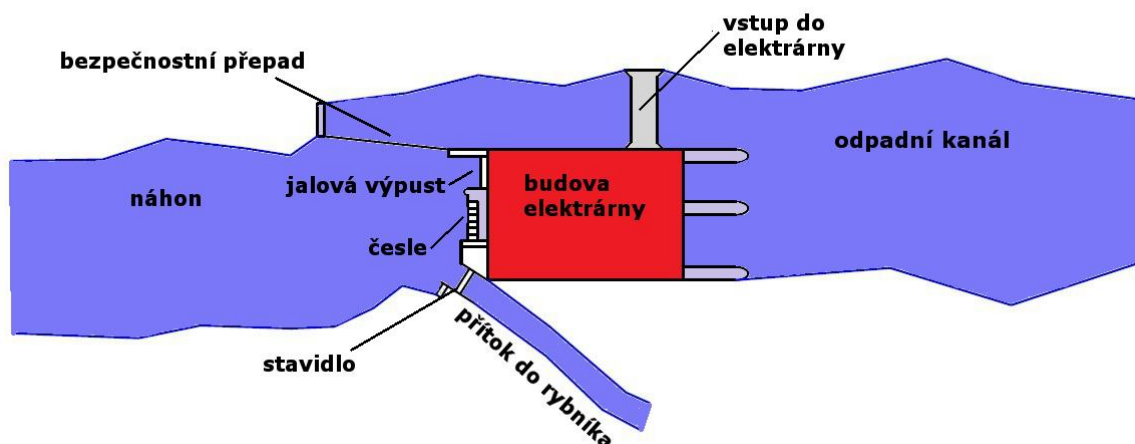
3. Zuppingerovo vodní kolo Bystřice nad Úhlavou

3.1. Části malé vodní elektrárny na odpadním kanále v Bystřici

Malá vodní elektrárna v Bystřici nad Úhlavou, kterou pohání Zuppingerovo kolo na střední vodu s přepadem, je postaveno na odpadním kanále turbínové elektrárny (dále jen elektrárna), která je napájena derivačním kanálem řeky Úhlavy. Tento kanál napájí vodou Francisovu turbínu o výkonu 75 kW a hltnosti 1.700 l/s, tudíž vody, která vytéká do odpadního kanálu, je dostatek.

V nižších částech odpadního kanálu se nachází několik malých domů a stavení, včetně nedaleké chatařské kolonie. Lidé obývající tyto objekty měli časté problémy se zvyšováním hladiny při vydatných deštích. Často se stávalo, že se voda zvedla a zatopila místním obyvatelům zahrady a sklepy. Protože za odpadní kanál přebírá zodpovědnost majitel provozujícího vodního díla, bylo potřeba provést potřebné kroky tak, aby k tomuto jevu nedocházelo. Řešením tohoto problému byla kompletní revitalizace břehů a podloží odpadního kanálu. Samotná realizace revitalizace břehů vyšla i s projektem poměrně draho a proto padlo rozhodnutí na zhodnocení investic s možností návratu vstupních nákladů. Tímto zhodnocením se měl stát další objekt na výrobu elektrické energie, tedy malá vodní elektrárna (dále jen MVE). Při spádu 1,4 metru se nabízela možnost použití turbíny, k tomuto kroku však nedošlo. Návrh na turbínu byl zavrhnut Českým rybářským svazem, v případě dalšího možného řešení se rozhodovalo mezi vodním kolem a Archimédovým šroubem. Archimédův šroub se jevil nejprve jako správná alternativa, již splňoval podmínku šetrnosti k životu ve vodě a životnímu prostředí. Toto řešení se však setkalo s nevolí od památkářského úřadu, ten udělil stanovisko, že by šroub kazil ráz krajiny a nezapadal do vzhledu místního zámku, jenž je historickou památkou. Samotné zdi jsou vzdálené několik metrů od odpadního kanálu. Poslední možností bylo vodní kolo, které dokonale splňovalo požadavky obou orgánů a dokázalo by zhodnotit investice vložené jak do stavby samotné elektrárny tak investice vložené do revitalizace břehů.

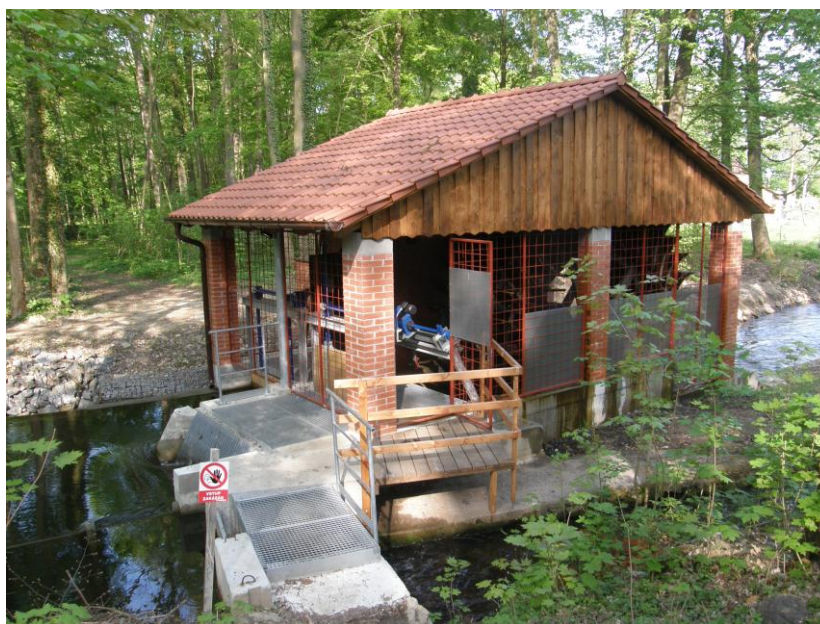
Na obrázku (Obr. 8.) můžeme vidět polohu budovy MVE vzhledem k odpadnímu kanálu. Dále je na tomto schématu znázorněno koryto a stavidlo umožňující napouštění místního rybníka, jehož stavba byla jednou z mnoha podmínek k povolení výstavby MVE. Pro lepší pochopení uspořádání částí vně MVE nezbytných k provozu, včetně vodního motoru je přiložen obrázku (Obr. 10.).



Obr. 8. Schématické znázorění náhonu

3.1.1. Objekt elektrárny

Jedná se o samotný objekt MVE (Obr. 9.), která chrání vodní motor před vnějšími vlivy a neautorizovaným vstupem. Samotné kolo je viditelné přes mříže, ale elektronika, včetně převodovky a generátoru, je ukryta v místnosti, aby na ní nepůsobila vlhkost a vnější vlivy, které by snižovaly jejich životnost. Budova elektrárny je postavena na železobetonovém podloží, z důvodu lepší odolnosti proti síly vody, která touto stavbou protéká. Zdi včetně nosných sloupů jsou cihlové, byla to jedna z podmínek památkového úřadu, budova tak vzhledově zapadá k místnímu zámku. Krov je kompletně ze dřeva a jako krytina byla využita česká pálená taška.



Obr. 9. MVE Bystřice nad Úhlavou

3.1.2. Přívodní kanál

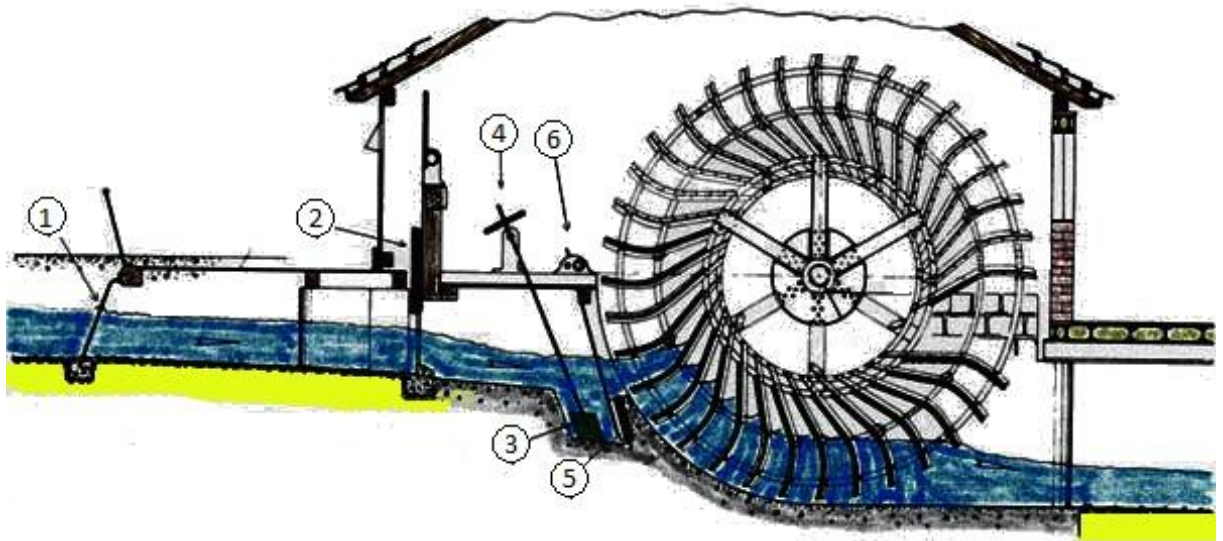
Přivádí vodu od vodní elektrárny, která je napájena derivačním kanálem ústící z řeky Úhlavy. Za samotný přívodní kanál můžeme tedy počítat odpadní kanál z turbínové elektrárny. Díky kvalitním podmínkám je zde i na odpadním kanále dostatečný spád a průtok na malou vodní turbínu, byť již tato voda teče z elektrárny. Náhon k MVE je přibližně 280m dlouhý a je řešen jako přírodní tok, jehož břehy jsou zpevněny kořeny stromů a kameny. Přes koryto je postavena řada mostů a mostků pro lepší přístup chatařů a místních lidí, kteří zde bydlí. Tím je břeh částečně vybetonován a také zpevněn. Další výhodou této lokality je, že šířka koryta není tak velká, aby bylo potřeba stavět mosty a mostky s pilíři v řece, tím pádem není voda bržděna a teče rychleji.

3.1.3. Bezpečnostní přepad a jalová propust

Velice dobře je funkce bezpečnostního přepadu vysvětlena na stránkách inženýra Sochy: „*Slouží k ochraně části náhonu a samotné elektrárny před nadměrným přívalem vody. Musí být schopen zachytit všechny nadbytečné průtoky s dostatečnou rezervou tak, aby nedošlo k přelití hrází náhonu nebo ke ztrátě jejich stability. Bývá o to důležitější, čím delší je samotný náhon a tím pádem vzdálenost bezpečnostního přepadu od jezu. Někdy bývá spojen s jalovou propustí a osazován před česlemi, kde strhává zachycené plovoucí předměty a odvádí je níže po toku*“. [6]

Oproti tomu jalová propust zajišťuje úplné vypuštění náhonu při uzavřeném stavidle odběrného objektu při nuceném odstavení MVE, tuto propust využíváme zejména při údržbě. Nejčastěji je jalová propust umístěna těsně před jemnými česlemi, aby zajistila proplach celého náhonu. [6] V případě této elektrárny jsou zde bezpečnostní přepad a následně jalová propust řazeny téměř vedle sebe (viz. Příloha I. Obr. 1.). Koryto na jalovou propust musí být dobře vyzděno a zpevněno, jelikož v případě odstavení elektrárny jím protéká velké množství vody a hrozí poškození koryta. [2]

Specialitou tohoto koryta je již avizované stavidlo na napájení místního rybníka, které do jisté míry může posloužit také jako jalová propust.



Obr. 10. Zuppingerovo vodní kolo (převzato z [6])

3.1.4. Česle

Hrubé česle brání vstupu větším objektům zpravidla do derivačního kanálu, jako jsou například kusy stromů nebo ledových ker. V případě této MVE nejsou použity, protože se jedná již o odpadní kanál z jiného díla a tudíž hrubé česle nejsou potřeba. [2]

Jemné česle mají za úkol zachytávat menší části, jako větve menších velikostí, listí atd. Jsou stavěna těsně před nátokem na vodní kolo ve formě podélně železných plátů. Vzdálených od sebe 8 mm až 35 mm a silných 4x50 mm. U větších děl se využívají pláty o síle až 20x100 mm. [2]

Vzdálenost, tzv. světlost, česlí určuje předpis pro ochranu ryb, samotná vzdálenost mezi jednotlivými žebry musí být vždy menší než nejmenší průtoková mezera motoru. Vodní kola se tímto pravidlem neřídí, jelikož vodní kolo není tolik náchylné na nečistoty jako turbína. Přesto jsou česle nedílnou součástí každé MVE jako ochrana před vnikáním cizích předmětů na lopatky kola.

Česle jsou sestaveny do jednotlivých polí, které jsou k sobě připevněny šrouby a distančními tyčemi, celková váha těchto polí je okolo 200 kg dle velikosti a použitého materiálu. Požadavky na váhu jsou takové, aby bylo možné česle demontovat bez používání speciálních jeřábů. Zanášející se česle je potřeba neustále čistit aby nedocházelo ke snížení účinnosti MVE vlivem snížení hladiny za česlemi a tedy i použitelného spádu. Česle jsou znázorněny na obrázku (Obr. 10.) pod číslem 1. U velkých průmyslových objektů je čištění řešeno automaticky řízeným ramenem, které se stará o údržbu a čistotu česlí, jediná starost obsluhy je vyprázdnit zásobník na nečistoty.

V případě této MVE nebyla čistící automatika namontována i když je zde vše připraveno na její umístění. Použita nebyla hlavně z důvodů finančních ale také z důvodů možného poškození neautorizovanou manipulací, jelikož objekt není obehnan plotem a je volně přístupný.

3.1.5. Uzavírací stavidlo

Toto stavidlo slouží k úplnému uzavření nebo otevření nátoky vody do objektu elektrárny. Neslouží k regulaci průtoku (vyjma kol na horní vodu). Použije se vždy při potřebě zastavit nebo rozběhnout vodní kolo. V našem případě při dodávání elektrického proudu do sítě musí být toto stavidlo automaticky řízeno řídicí jednotkou, aby se automaticky uzavřelo při výpadku proudu v síti. Při výpadku el. proudu v síti se toto stavidlo spouští a uzavírá tak přívod vody k vodnímu kolu, hladina ovšem stoupá, a proto se automaticky otvírá jalová výpust, aby mohla voda odtékat a neponičila objekt elektrárny a jeho části. Toto stavidlo je (Obr. 10.) znázorněno pod číslem 2. [6]

3.1.6. Lapač kamenů a písku

Na dně náhonu za uzavíracím stavidlem (Obr. 10. část 1.), ještě před samotným vodním motorem je upravená prohlubeň veliká 30 – 40 cm. Tato prohlubeň slouží k zadržování malých nečistot, jako jsou například kameny a písek. Samotná vodní kola jsou velice odolná proti drobným nečistotám a mohou fungovat i ve velice znečištěné vodě, ovšem měli bychom se snažit, aby toto zařízení vydrželo co nejdéle a mohlo bezproblémově fungovat a to s co nejmenšími servisními zásahy. Proto se snažíme chránit mechanismy co nejvíce a k tomu nám dopomáhá i tento lapač kamenů. Údržba lapače je jednoduchá, jednou za čas se propláchne otevřením stavidla (Obr. 10. část 3.), které je na straně kanálku a ústí přímo do jalového kanálu, proud vody vtáhne všechny nečistoty do jalové výpusti a kanálek se tímto způsobem pročistí.

3.1.7. Regulační stavidlo

Slouží k regulaci množství vody, která natéká na lopatky kola. Kola na spodní vodu jsou regulována zdvižným stavidlem, které je šikmo osazené do proudu vody. Stavidlo tak usměrňuje vodu pod vodní kolo. U kol na střední vodu probíhá regulace nastavením přepadu (Obr. 6.). V případě této MVE (Obr. 10. část 5.) je regulace stavidla řešena automaticky pomocí pastorku a elektromotoru. Pokud dojde k poklesu horní hladiny, stavidlo se zvedá, dokud nevykompenzuje průtok, není-li ani potom průtok dostatečný, stavidlo vyjede na hladinu celé a dojde tak k odstavení vodního motoru. [7]

3.1.8. Vodní motor

Vodním motorem máme na mysli samotné vodní kolo, které se otáčí působením vody do něj vhaněné. V případě této MVE bylo využito Zuppingerovo kolo se středním dopadem (Obr. 10.). Nosná železná konstrukce kola je složená ze tří stejných částí. Výdřeva kola je z modřínového dřeva. Počet lopatek nainstalovaných na železnou konstrukci je 40, přičemž každá lopatka je přišroubována přibližně 60 šrouby. Celkově má vodní kolo průměr 5.3 m a šířku 2 m, odhadovaná váha kola včetně výdřevy je 7000 kg (viz. Příloha I. Obr. 3.). Otáčky kola jsou spočítány na 4.5 otáčky za minutu, přičemž průměr a počet lopatek určují rychlost kola, šířka lopatek pak jeho hltnost.

3.1.9. Odpadní žlab

Slouží k odvedení vody, která byla již využita na pohon vodního motoru nebo byla pouze propuštěna jalovou propustí. Bývá řešen stejným způsobem jako náhon, tím pádem i stejně zpevněn, v našem případě je tento žlab z části vybetonován a zbytek je zpevněn lomovým kamenem vsazeným do železných klecí, ty jsou mezi sebou provázány a tím tak dostatečně zpevněny, aby nedocházelo k vymílání břehů.

3.1.10. Hřídel

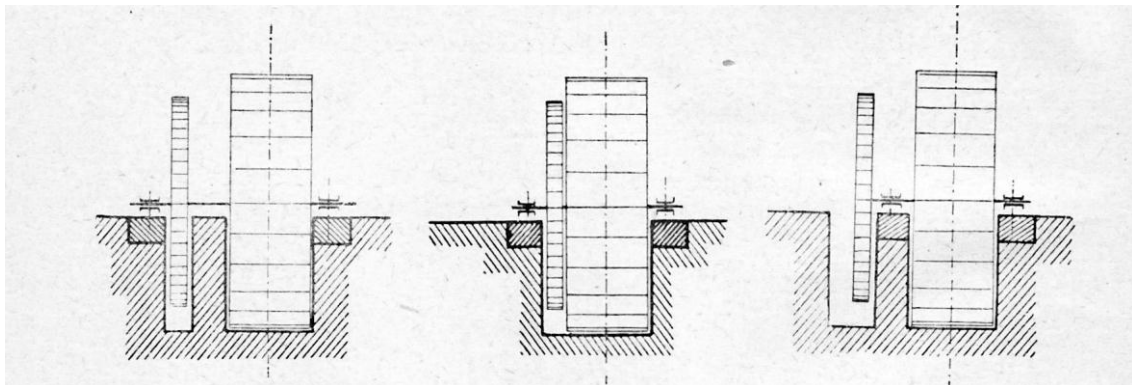
Dříve byly hřídele z dubového či jiného dřeva řešeny pomocí hranolu, který byl na každém konci obroušen do válce pro omezení tření. Dnes při novějších instalacích využíváme ocelové hřídele, které jsou dimenzovány na krouticí moment vodního motoru. Nejčastěji je hřídel ukotvena pomocí dvou ložisek na každé straně kola, jsou i případy, kdy se z technického hlediska nehodí použít ložiska na stranách vodního kola a je lepší učinit jinak. Případy různého uchycení hřídele můžeme vidět na obrázku (Obr. 12.).[1] Hřídel nesmí být moc dlouhá, stejně jako rozteč ložisek, aby nedocházelo k ohýbání hřídele a vymílání soukolí.

Pokud se bude velikost ozubeného kola přibližovat nebo rovnat průměru vodního kola, tak je výhodnější připevnit ozubené kolo na samotné vodní kolo. Takto se řeší často problém potřeby vysokých otáček.(Obr. 11.) [1]



Obr. 11. Mlýn v městě Waynesville, v U.S.A. (převzato z [9])

Jestli bude ozubené kolo součástí vodního kola, anebo bude pomocí hřídele připevněno v budově, rozhoduje hlavně velikost ozubeného věnce a velikost prostoru v budově. Další možnost je připevnění pomocí tří ložisek s ozubeným kolem mezi 2. a 3. ložiskem.



Obr. 12. Nejčastější případy uchycení kola (převzato z [1])

3.1.11. Převodovka

Jak již bylo výše zmíněno, vodní kolo se otáčí příliš pomalu, aby mohlo být přímo připojeno na generátor elektrického proudu, k vyšším otáčkám nám musí pomoci převodovka nebo řemenový převod.[7]

V případě elektrárny v Bystřici byla převodovka zhotovena firmou SEW- Eurodrive , která má ve svém sortimentu typové řady, které lze individuálně upravit na požadované otáčky. Pro tento případ vyšla nejlépe čelní průmyslová převodovka série X s maximálním

možným krouticím momentem až do 475 kNm. Převodovka byla přepočítána na požadované otáčky v rozmezí 1000 – 1200 otáček za minutu a upravena podle kritérií, které byly zadané od projektanta elektrárny. [15]

Výsledná převodovka má čtyři převodové stupně, přičemž ten poslední je realizován pomocí několika řemenic a fotky této převodovky jsou příloze (Příloha I. Obr. 2.). Od provozovatele a spolujeditele jsem se dozvěděl, že museli dbát na kvalitu převodovky a řemenic, jelikož zde bývá často problém, obzvláště u elektráren nad 10 kW takto řešených docházelo k častému přepalování řemenic a tím častému odstavení elektrárny. Zde by tento problém neměl nastávat, zda se tento jev bude dít i u této instalace prověří čas.

3.1.12. Generátor

Nejčastěji jako generátor elektrického proudu pro vodní kola je využíván asynchronní stroj, protože je nejspolehlivější a neklade velké nároky na údržbu. U těchto strojů odpadá potřeba regulace frekvence a napětí. Nevýhodou těchto strojů vidím v tom, že elektrická energie jimi generovaná může být dodávána pouze do veřejných třífázových sítí. [7]

3.2. Technické informace

Typ kola:	Vodní kolo se středním dopadem (Zuppinger)
Průměr kola:	5.3 m
Šířka kola:	2 m
Účinnost:	67% - 70%
Spád:	1.4 m
Max. hltnost:	1,7 m ³ /s
Max. výkon:	15 kW
Otáčky:	4.5 za minutu
Max. výkon na spojce hřídele	16,4 kW
Max. krouticí moment na hřídeli:	58 kNm
Počet lopatek:	40 ks.
Počet šroubů na konstrukci kola:	3000 ks.
Hmotnost kola včetně nosné konstrukce a výdřevy:	7000 kg
Roční výroba na kole:	70 kWh
Návratnost kola:	13 - 15 let
Převodovka:	Čelní čtyřstupňová

Tab. 1. Základní technické informace vodního kola typu Zuppinger

V tabulce (Tab. 1.) jsou zaznamenány základní parametry vodního kola a některé doplňkové informace, zejména počet šroubů se dá s trochou nadsázky považovat spíše za

zajímavost, než jako informaci výchozí pro výpočet konstrukce kola. Jelikož každá instalace kola vyžaduje vlastní přepočet a individuální přístup. Proto nás zajímá při konstrukci vodního motoru zejména spád a průtok, z těchto informací lze vycházet a spočítat velikost kola.[1]

Doba návratnosti celé investice, včetně revitalizace břehů je odhadnuta na 14 let při předpokládané roční výrobě 70 MWh.

4. Porovnání vodních kol a turbín

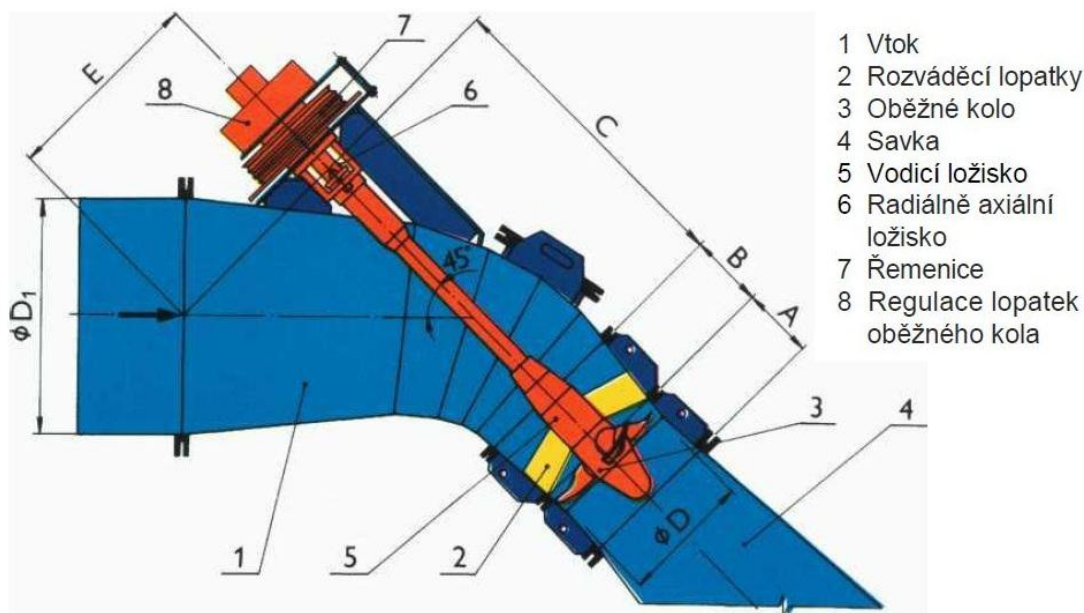
Volba technologicky již překonaných vodních kol není pouze otázkou ekonomickou, ale musíme také zohlednit všechny aspekty, které se váží na projektování MVE. Vodní turbíny jsou dnes nejvýznamnějšími hydrodynamickými motory.

Rozdělení turbín:

- ❖ Podle způsobu přenosu energie
 - Přetlaková turbína
 - Rovnotlaká turbína
 - Mezní turbína s tvarovanými lopatkami
- ❖ Podle polohy hřídele
 - Horizontální
 - Vertikální
 - Šikmé
- ❖ Podle vstupní části turbíny
 - Spirální
 - Kašnová
 - Kotlová
 - Násosková
 - Přímoproudá
- ❖ Podle průtoku oběžným kolem
 - a) Centrifugální turbína, b) centripetální turbína, c) axiální turbína, d) radiálně axiální turbína, e) diagonální turbína, f) turbína se šikmým průtokem, g) tangenciální turbína, h) turbína s dvojím průtokem.*

4.1.1. Kaplanova turbína

Jedná se o přetlakovou turbínu, která vznikla vylepšením vrtulové turbíny prof. Kaplanem v roce 1919. Ten jí zdokonalil tím, že umožnil při regulaci natáčet jak rozváděcí lopatky, tak oběžné lopatky, takto dosahuje tato turbína vysoké účinnosti. [3]



Obr. 13. Příklad řešení Kaplanovy S-turbíny (převzato z [17])

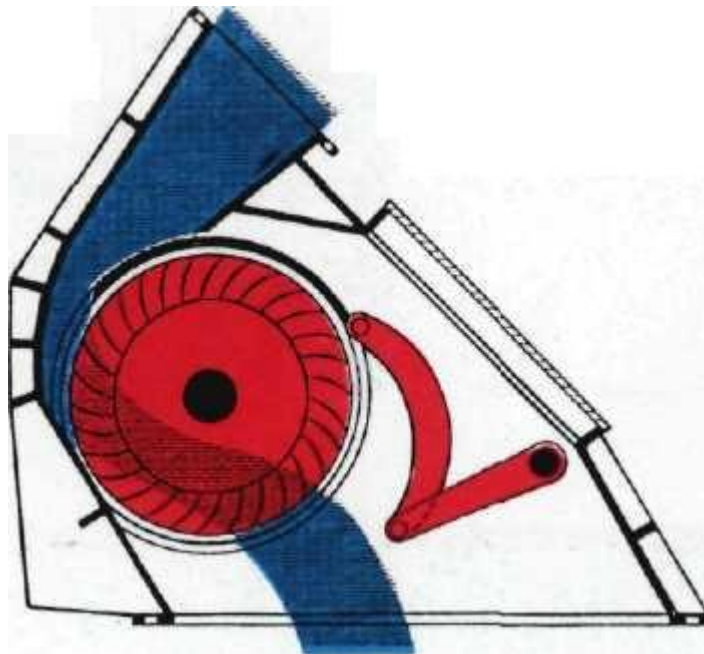
Na obrázku (Obr. 13.) lze vidět jedno z řešení kaplanovy horizontální turbíny, je to jedno z nejvyužívanějších řešení MVE u nás. Bývá často osazována na jezových vodních dílech, ale osazuje se také na vodní díla derivační s otevřeným přivaděčem na menších spádech. Používá se výhradně pro pohon generátorů, a to především asynchronních, ale díky dobré regulovatelnosti je možné použití i generátoru synchronního a dodávat tak elektřinu do samostatné sítě. Takto řešená turbína umožňuje použití od nízkých spádů začínající od 1,5m až do 5,5 metru u větších zařízení při průtocích od 250 – 6000 litrů za sekundu. Nejčastěji se tyto turbíny montují tam, kde jsou spády v rozmezí 2-4 metrů a průtoky okolo 1000 litrů za sekundu.[7]

Kaplanova S-turbína má spoustu výhod a nevýhod, mezi její výhody patří bezesporu její použití na nižších spádech. Také náklady na stavbu objektu jsou menší, jelikož je tato turbína poměrně nízká nepotřebuje žádnou kašnu anebo hluboké vývařiště, nejčastěji má tvare kolena esovitého tvaru a kopíruje tak dno odpadního kanálu, aby voda mohla plynule opouštět turbínu. Při malých spádech nemá tato turbína dostatečné otáčky na pohánění generátoru, proto se i v tomto případě někdy montuje převodovka, ve většině případů postačí řemenový převod.[7][2]

Nevýhodou těchto strojů je značná mechanická složitost, a od toho se odvíjející vysoká cena a podstatně vyšší náklady na údržbu. Tento typ turbíny instalujeme pouze na lokality, kde je její stavba opodstatněná hydrologickým charakterem. Například tam kde není možnost akumulace vody a kde je průtok během roku proměnlivý a použití jednodušších typů strojů přinášelo velké ztráty.[7]

4.1.2. Bankiho turbína

Jedná se o konstrukčně jednoduchou turbínu, která je principiálně stejně jednoduchá jako vodní kolo. Voda je k oběžnému kolu turbíny přiváděna potrubím, nejčastěji obdélníkového průřezu a na konci potrubí je umístěn regulační orgán ve formě klapky. V novějších instalacích se místo regulační klapky používá segmentový uzávěr ovládaný pístem (Obr. 14.).[7][3]



Obr. 14. Příklad řešení bankiho turbíny se segmentovým uzávěrem (převzato z [17])

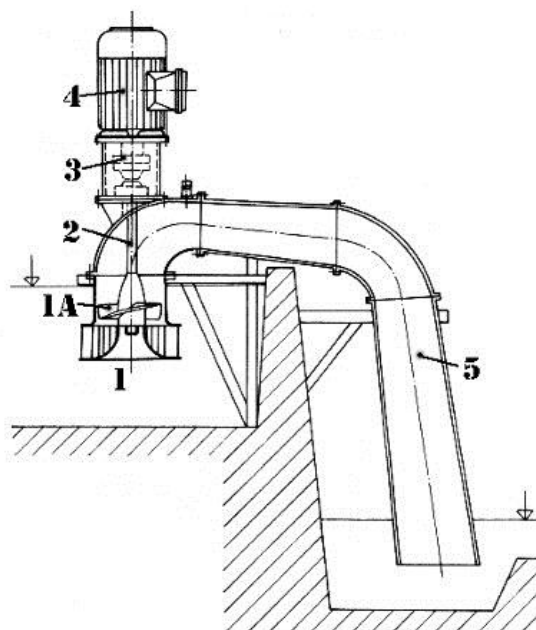
Z obrázku (Obr. 14.) je jasně vidět, že voda oběžným kolem protéká dvakrát, přičemž při prvním vniknutí na kolo, které je hustě osazené lopatkami, předá přibližně 79% své energie. Tomuto průtoku oběžným kolem se říká průtok odstředivý, načež druhý průtok je dostředivý. Vlivem souběhu rychlostí vody a otáček kola proteče paprsek vody oběhovým kolem, které je duté a vstupuje do lopatek na protější straně a předává zbytek své energie, tedy zbývajících 21% výkonu turbíny. Tato turbína se sice řadí mezi rovnotlaké, ovšem rovnotlaký je pouze druhý průtok.[7]

Výhody této turbíny jsou hlavně v realizaci, mnohdy tato turbína nahrazovala vodní kola na horní vodu. Svou jednoduchostí na výpočet je snadno realizovatelná i v amatérských podmínkách a v nepříznivých podmínkách dává velice dobrou účinnost při plnění v rozsahu 30% - 100%. Jako další výhody je třeba zmínit šetrnost k životnímu prostředí, jelikož má ložiska umístěna mimo vodu a nehrozí tak znečištění vody mazáním ložisek. Díky tomu může být použita na přehradních nádržích zajišťující dodávku pitné vody. Je velice dobře přizpůsobitelná jakékoliv lokalitě, vhodným zvolením šířky oběžného kola anebo jeho segmentováním. Do nevýhod této turbíny patří citlivost řídicího orgánu na nečistoty a dlouhé přívodní potrubí. Tyto turbíny se využívají při spádech už od 1,5 m a při průtocích od 0,5 do 10 m³/s. [7] [3]

4.1.3. Násosková turbína

Jedná se o jednoduchou vrtulovou turbínu. Součástí turbíny je sací roura tzv. „násoska“ s litinovou komorou a její délka je vždy přizpůsobena podmínkám, na které je aplikována. [3]

V horní nádrži dochází ke zvyšování hladiny, a tak se voda dostává do komory násosky, jakmile hladina stoupne na úroveň kolena násosky, začne pozvolna malým proudem přetékat sací rourou do vývařiště. Voda přitom vytlačuje vzduch, který se v sací rouře nachází a tak strhává větší množství vody. Jakmile je všechn vzduch z potrubí vytlačen, voda proudí celým průřezem savky a turbína funguje plným výkonem.[7]



Obr. 15. Násosková neregulovatelná turbína METAZ (převzato z [18])

Popis násoskové turbíny (Obr. 15.):

1. Pevný nestavitelný stator. 1A Rotor. 2. Hřídel. 3. Pružná spojka k zachycení hydrodynamických rázů 4. Střídavý alternátor 3x380voltů /10kW. 5. Násoska

V sací komoře se nachází i vrtule turbíny, která se prouděním vody otáčí. Na druhém konci hřídele vrtule je připojen asynchronní motor, který funguje nejdříve v motorickém režimu a nasává tak vodu do násosky, tímto sníží dobu potřebnou k vyčerpání vzduchu v násosce. Při zcela plném zavodnění násosky se turbína roztáčí plným výkonem a motor se dostává do nadsynchronních otáček. Při těchto otáčkách se chová asynchronní motor jako generátor. [7]

Výhodami násoskových turbín jsou pořizovací náklady a dobré okysličování vody. Nevýhodou tohoto řešení je nutnost stálého ponoření savky do spodní vody, pokud tato podmínka není splněna, turbína nebude fungovat. Výrobou těchto turbín se zabývají Metalurgické závody METAZ Týnec nad Sázavou, nabízejí dvě řady těchto systémů. Jedním je METAZ MT 3 (průměr oběžného kola 33 cm) a druhým je METAZ MT 5 (Obr. 15.) s oběžným kolem o velikosti 55 cm. Tyto turbíny mají účinnost okolo 74% až 82%. [7]

4.1.4. Francis-Reiffensteinova turbína

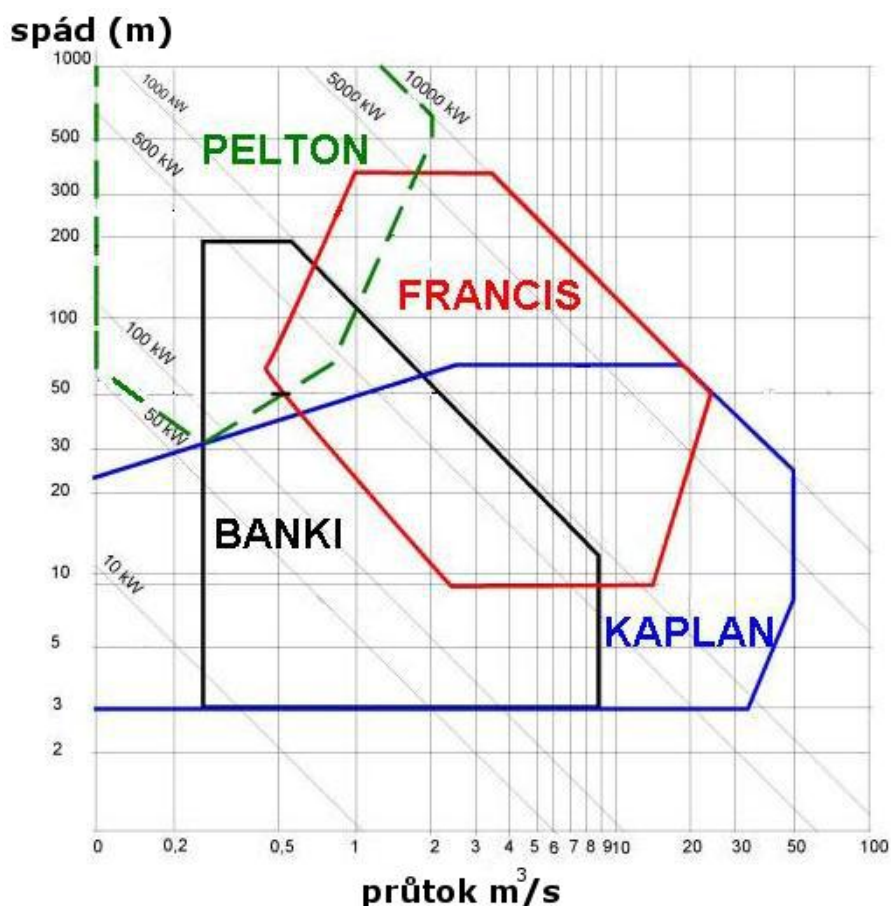
Tento typ turbíny patří mezi málo rozšířené a řadí se do přetlakových vodních motorů. Používá se na spádech od 5 do 35 metrů při malých a středních průtocích (přibližně od 100 do 5000 litrů/sec.). Je možnost osadit ji i na místa, kde je menší spád, pokud je to výhodné. Turbína pracuje na stejném principu jako Francissova turbína s tím rozdílem, že nemá žádné rozváděcí lopatky a tyto lopatky jsou nahrazeny spirálou s rovnoběžnými stěnami a kuželovým přechodem. Výhodou této spirály jsou její malé rozměry. Voda je k turbíně přiváděna potrubím kruhového průřezu, které se pomocí přechodové části změnilo na čtvercový průřez. Voda je touto změnou uvedena do rotace a proto snadněji vstupuje na mezilopátkové kanály oběžného kola. Jejich zakřivením mění voda směr a předává tak svoji energii oběžnému kolu. Z oběžného kola odtéká do savky, která využije její zbývající výstupní energii. Celá turbína pracuje stejně jako klasická Francissova turbína. Turbína je tak výrazně jednodušší a levnější. Použité oběžné kolo má zásadní vliv na vlastnosti stroje. Tento vodní motor může být řešen jako vertikální nebo častěji jako horizontální. [7]

4.1.5. Porovnání

Samozřejmě tímto výčet turbín nekončí, ovšem ostatní turbíny nemá smysl zmiňovat, jelikož jejich plnění začíná od spádů nad 10 metrů, při těchto spádech se již nevyplatí stavět vodní kola a vyplatí se spíše zvolit turbínu, která by splňovala hydrologické poměry dané lokality. Na oblastním grafu (Obr. 16.) vidíme, že porovnání vodních kol s Peltonovou turbínou je zbytečné. Jelikož se tato turbína navrhuje pro spády v rozmezí 30 m – 1000 m, a proto ji zde ani neuvádím.

Francisova turbína sice vychází lépe, ale bez potřebných modifikací ji na nízkospádové lokality použít nelze. Zajímavějším řešením je pak turbína TURGO, avšak to je další příklad turbíny, kterou nelze použít na nízké spády. Výhodou této turbíny je potřeba minimálního průtoku při spádu začínající od 10 m. [7]

S vodními koly mohou soupeřit mikroturbíny, které jsou navrhovány maximálně do výkonu 20 kW, nejčastěji se pohybují okolo 5 kW. K těmto turbínám lze zařadit systémy od firmy METAZ nebo Bánkiho turbínu, které si vystačí i s menšími spády.



Obr. 16. Oblastní diagram nejzákladnějších turbín (převzato z [17])

Pro spády nad 10 metrů se nová vodní kola nestaví, pouze se rekonstruuji tam, kde již v minulosti tato kola fungovala daleko v době, kdy ještě nebyly turbíny tak používané. Většinou když má lokalita takový spád, tak se jí snažíme lépe využít a proto zvolíme místo kola turbínu.

Z výsledků vyplývá, že turbíny se hodí spíše pro vyšší spády, Pro dobré porovnání turbín s vodními koly je dobré vědět, jak se budou jednotlivé instalace chovat. Jako příklad uvedu situaci, kdy se vodní kolo zachová lépe než turbína.: Představme si, že při vydatných deštích stoupne spodní hladina elektrárny osazené turbínou, tudíž celkový použitelný spád se snížil. Kvůli snížení spádu se snížil i průtok turbínou a tím i její účinnost. Paradoxně tak turbínou protéká méně vody, když je všude vody nadbytek. V případě že je v elektrárně nainstalováno vodní kolo, začne sice více brodit a tím ztrácet na účinnosti ale důsledkem deště se zvýšil i průtok kolem a tím se ztráta kompenzuje. [7]

Dále o turbínách se můžeme dočíst v odborné literatuře, velice detailně popisuje problematiku turbín a všeho ohledně vodních motorů Dr. Ing. Jaroslav Hýbl ve své knize Vodní motory[1]. Dále o dalších typech turbín, zvláště o těch historických se můžeme dočíst na internetových stránkách mve.energetika.cz [7], na kterých je vše srozumitelně popsáno a ukázáno.

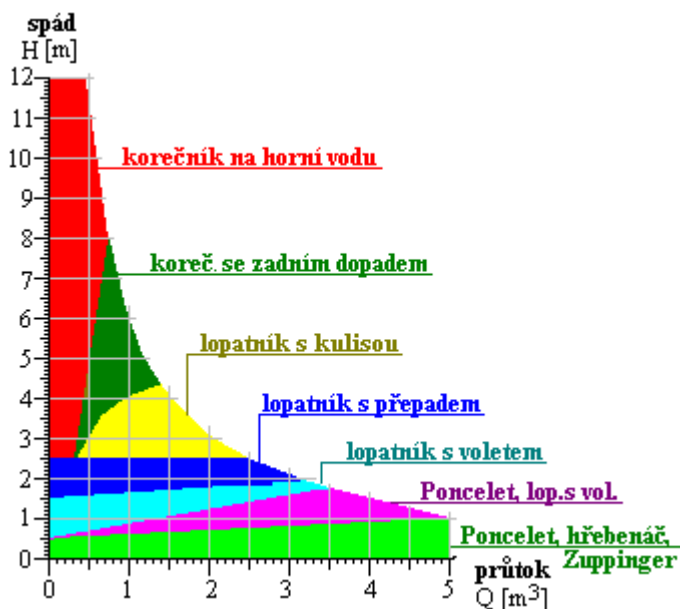
5. Vodní motory pro nízkospádové lokality

Nízkospádové lokality nejsou definované rozsahem velikosti spádu, můžeme tedy říci, že jsou to lokality se spády v řádech jednotek metrů. Těchto lokalit je v České republice veliké množství v podobě řek, říček a potoků, jejichž potenciál je bohužel nevyužit vůbec nebo v lepším případě ne maximálně. V tomto ohledu se máme ještě co učit od zahraničních sousedů, kde téměř na každém potoce funguje MVE a tato čistá energie je plně využívána. Na našem území se nachází stovky vodních elektráren, v porovnání s potenciálními lokalitami, které je možno takto využít je to mizivé procento.[14]

Toto je dáno hlavně vnitřní politikou naší země, kdy stát znemožňoval výstavby nových elektráren na povodích řek. Ministerstvo zemědělství, jako zřizovatel všech našich povodí vydával příkaz, kterým zakazoval jakýkoliv přístup k nevyužitým lokalitám na našich řekách. Dnes se tato situace zlepšila a je možnost si zažádat o výjimku. [19]

5.1. Vodní kola v nízkospádových lokalitách

Jak již bylo výše zmíněno, vodní kola nabízejí možnost využití již od velmi malých spádů, která lze využít přinejmenším na většině potocích. Na grafu (Obr. 17.) je znázorněna křivka využitelnosti vodních kol a její závislost na spádu a průtoku.



Obr. 17. Graf využitelnosti vodních kol (převzato z [7])

Podle této charakteristiky můžeme určit jaké kolo je pro danou lokalitu nejvýhodnější, a to na základě předem zjištěných informací o spádu a průtoku. Tímto volba kola nekončí, je potřeba ještě dohledat další informace, jako třeba účinnost, tu můžeme zjistit podle tabulky (tab. 2.). Tyto základní informace nám poslouží k přibližnému určení typu vodního kola.

Korečník na horní vodu s obráceným chodem	až 85%
Korečník na horní vodu	65% - 80%
Lopatník s kulisou	65% - 70%
Lopatník s přepadem	65% - 75%
Lopatník s voletem	45% - 55%
Sagebienovo kolo	až 80%
Zuppingerovo kolo	70% - 78%
Ponceltovo kolo	60% - 65%
Stříkový hřebenáč	30% - 35%

Tab. 2. Výpis účinností nepoužívanějších vodních kol (převzato z [7])

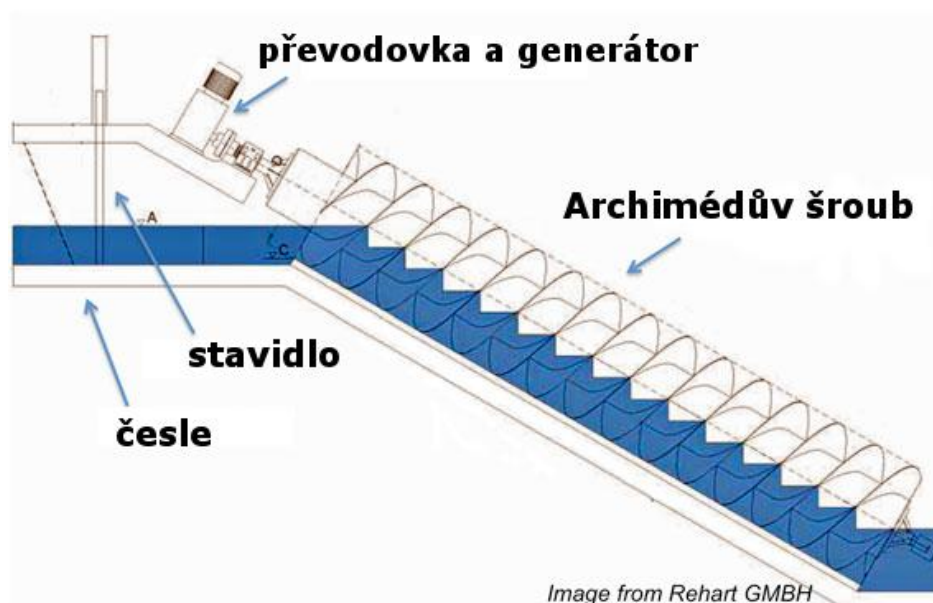
Pro lepší pochopení určení uvedu příklad:

Budu-li uvažovat, že vlastním lokalitu kde je spád 1,6m při průtoku 2m za sekundu a budu zde chtít postavit vodní kolo. Podle grafu si zjistím, že vychází nejlépe lopatník s voletem, při pohledu do tabulky účinností vidím, že lopatník s voletem má velice špatnou účinnost. Dle vlastností definovaných výše vím, že je tento typ velice drahý na výstavbu. Proto řešení tohoto typu nezvolím a podívám se po jiné alternativě.

Vezmeme-li v potaz že nízkospádové lokality jsou definovány jednotkami metrů, můžeme dle grafu (Obr. 17.) říci, že jsou pro nás nejzajímavější kola typu Zuppinger a Poncelt. Jak již bylo výše zmíněno, tato kola mají dobré vlastnosti. Obě vychází velice dobře pro nízkospádové lokality, jelikož mají široký rozsah průtoků. Pokud se podíváme do tabulky účinností (tab. 2.) zjistíme, že mají účinnost okolo 78%, proto vycházejí tato kola pro nízkospádové lokality nejlépe. Vzhledem k vlastnostem vypsáných výše, vychází přece jen lépe Zuppingerovo kolo, proto je tento typ nejlepší volba pro využití v energetice v nízkospádových lokalitách.

5.2. Archimédův šroub

Jedná se o alternativní systém pro výrobu elektrické energie, samotný Archimédův šroub (Obr. 18.) byl původně využíván jako čerpadlo, dnes se s tímto využitím můžeme setkat v čističkách odpadních vod. Princip turbíny je stejný jako u čerpadla, rozdíl je akorát ve směru proudění vody. V našem případě se více zajímáme o turbínový režim, tedy využití přeměny potenciální energie vody na elektrickou.[16]



Obr. 18. Archimédův šroub v turbínovém režimu (převzato z [13])

Proud vody přitékající k prvnímu závitu šroubu do něj naráží a tím působí na zakřivenou plochu svojí potenciální energií, šnekovnice se v důsledku jejího působení odvíjí směrem dolů. Voda klesající dolů ve šnekovnici je uzavřená odděleně mezi jednotlivými závity šneku. Po celou cestu šroubem předává voda svojí potenciální energii, na konci šroub opouští a odtéká odpadním kanálem. Používá se na spády od 1m s účinností až 82% [7]

Archimédův šroub je jedna z alternativ, které lze využít pro lokality s nízkými spády. Vlastnostmi je podobný jako vodní kolo, je šetrný k přírodě a není náročný na provoz. Archimédův šroub vychází však lépe, díky větší odolnosti před opotřebením vlivem nečistot ve vodě. [7]

Závěr

.V této práci jsem zmínil nejpoužívanější typy vodních kol a popsal jejich vlastnosti, abych je mohl lépe porovnat z hlediska možné použitelnosti pro výrobu elektrické energie. Zjistil jsem, že největším problémem ve využívání vodních kol v energetice je přenášení točivých momentů, jelikož vodní kola jsou pomaluběžná a generátory elektrického proudu potřebují otáčky mnohonásobně vyšší. Proto musíme využívat různých převodovek a převodů. Pro lepší pochopení problematiky jsem navštívil několik různě řešených elektráren. Mezi nimi byla i nejmodernější elektrárna v České republice s vodním kolem, která se nachází v Bystřici nad Úhlavou.

Při porovnávání různých typů kol jsem z teoretických předpokladů zjistil, že nejlépe pro nízkospádové lokality vychází Zuppingerovo vodní kolo na střední dopad. Tento poznatek jsem odvodil z grafu využitelnosti vodních kol a z účinností jednotlivých typů kol. Zuppingerovo kolo vyšlo nejlépe, díky širokému rozsahu průtoků, vysoké účinnosti a dobrým regulačním vlastnostem při velmi malých spádech. Tento poznatek jsem měl možnost diskutovat se spolumajitelem malé vodní elektrárny, kde tento typ kola funguje v reálném provozu. Z této exkurze jsem si odnesl nejen zajímavé poznatky, které jsem popsal v této práci ale také fotografie. Část fotografií dodávám jako přílohu k této práci.

Při porovnávání různých druhů turbín jsem se zaměřil na jejich vlastnosti a zjistil, že je zcela nevhodné uvádět v této práci některé z nich. Například Peltonovu turbínu zde nezohledňuji, jelikož využívá spádů řádově vyšších, než uvažujeme. Porovnáním jsem zavrhl i známou Francisovu turbínu jelikož se také nehodí pro malé spády, uvádím zde jen Reiffensteinovu modifikaci této turbíny, která díky této modifikaci může být použita pro malé spády. Také zde zmiňuji násoskové turbíny firmy METAZ, na jejichž funkci jsem se byl osobně podívat v MVE Nýrsko. Dalším porovnáním jsem zjistil, že pro nízké spády se hodí použít turbínu typu Kaplan. Jako možnou alternativu pro nízkospádové lokality zde také zmiňuji Archimédův šroub, který má podobné vlastnosti jako vodní kola.

Návštěvou několika vodních elektráren jsem si rozšířil vědomosti o reálném využití vody jako obnovitelného zdroje. Využitelnost vodního zdroje určitě zaslouží větší pozornost, nejen v otázce schvalování lokalit ale také k zamyšlení, které elektrárny jsou pro nás výhodnější.

Použitá literatura

- [1] - HÝBL, Jaroslav. Vodní motory: První díl. Praha: Česká matice technická, 1922.
- [2] - HÁJEK, Gustav. Vodní motory. 2. vydání. Věra Macháčková. Praha: Práce, vydavatelstvo ROH, 1951, 150 s. 50.
- [3] - ŠKORPIL, Jan a Milan KASÁRNÍK. Obnovitelné zdroje energie I.: vodní elektrárny. 2. vyd., přeprac. V Plzni: Západočeská univerzita, Elektrotechnická fakulta, 2000, 126 s. ISBN 80-708-2675-4.
- [4] - ŠTĚPÁN, Luděk a Magda KŘIVANOVÁ. Dílo a život mlynářů a sekerníků v Čechách. Vyd. 1. Praha: Argo, 2000-2008. ISBN 80-7203-254-2.

Použité internetové zdroje

[5] - WaterHistory.org. WaterHistory.org [online]. 2012 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <<http://www.waterhistory.org/histories/waterwheels/>>.

[6] - Vodní kola. Vodní kola - Přemysl Socha [online]. 2009 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z : <http://www.vodnikola.cz/typy_vodnich_kol.html>.

[7] - Abeceda malých vodních pohonů [online]. 2009 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: <<http://mve.energetika.cz/>>.

[8] - TYPES OF WATER WHEELS. Power in the Landscape [online]. 2007 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <http://www.powerinthelandscape.co.uk/water/water_wheels.html>.

[9] - Waterwheel Factory. WaterWheel Factory: The world's largest manufacturer of metal waterwheels [online]. 2011, 11.4.2011 [cit. 2012-04-30]. Dostupné z: <<http://www.waterwheelfactory.com/index.htm>>.

[10] - SHORT, Daniel. Wikipedia: Schematic diagram of an undershot water wheel. Wikipedia [online]. 2007 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Overshot_water_wheel_schematic.svg>.

[11] - SHORT, Daniel. Wikipedia: Schematic diagram of an undershot water wheel. Wikipedia [online]. 2007 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pitchback_water_wheel_schematic.png>.

[12] - SHORT, Daniel. Wikipedia: Schematic diagram of an undershot water wheel. Wikipedia [online]. 2007 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Breastshot_water_wheel_schematic.svg>.

[13] - Archimedes Hydro screw. Archimedes Hydro screw [online]. 2011 [cit. 2012-05-31]. Dostupné z: <<http://www.archimedeshydroscrew.com/archimedean-screw-turbine/>>.

[14] - Malé vodní elektrárny. Atlas zařízení využívající obnovitelné zdroje energie [online]. 2012 [cit. 2012-06-01]. <Dostupné z: <http://www.calla.cz/atlas/>>.

[15] - Průmyslové převodovky. SEW - EURODRIVE [online]. 2010 [cit. 2012-06-01]. Dostupné z: <<http://www.sew-eurodrive.cz/>>.

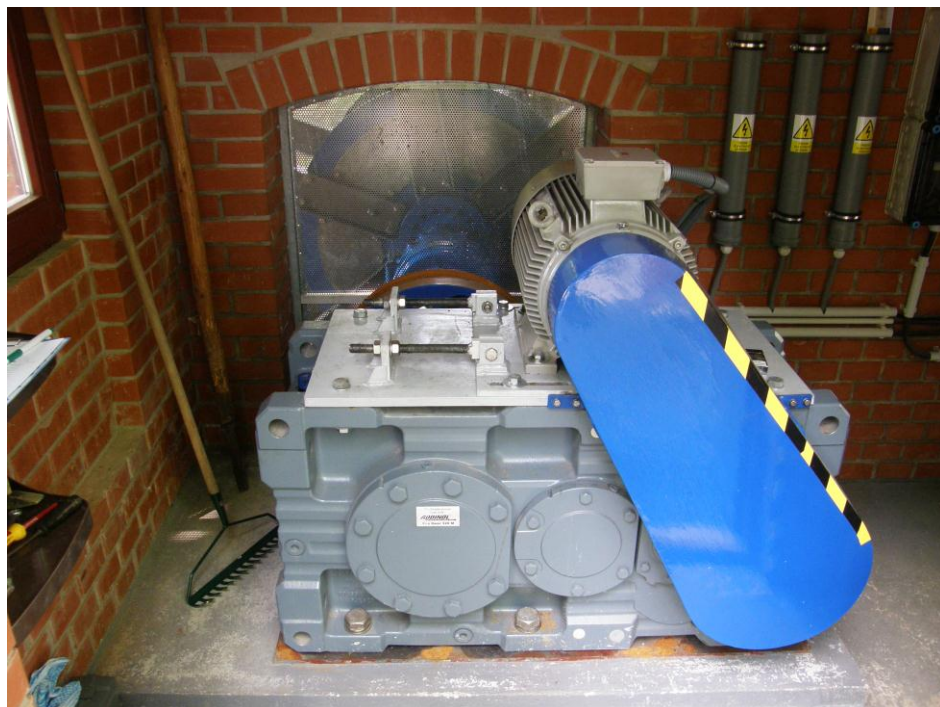
- [16] - Archimedes' screw. Wikipedia [online]. 2012 [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Archimedes'_screw >.
- [17] - Kaplanova turbína. P&S a.s [online]. 2012 [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: <<http://www.p-s.cz/kaplanova-kolenova-turbina-c6z2l0.html>>.
- [18] - Město Vlašim: zámecká elektrárna ve Vlašimi. Násosková turbína [online]. 2012 [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: <<http://old.mesto-vlasim.cz/kraftwerk.htm>>.
- [19] - Vodní energie: Je hydropotenciál v ČR skutečně vyčerpán?. ADAM, Roman. ASOCIACE HYDROENERGETIKŮ ČR. TZDinfo [online]. 2011, 30.1.2011 [cit. 2012-06-06]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/vodni-energie/7109-je-hydropotencial-v-cr-skutecne-vycerpan>>.

Přílohy

Příloha I.



Obr. 1. Budova elektrárny z Jihozápadní strany



Obr. 2. Čelní čtyřstupňová převodovka od firmy SEW - Eurodrive

Příloha I.



Obr. 3. Vodí kolo ze západní strany