

Vodní mikroelektrárny a možnosti jejich využití

Micro Hydroelectric Power Plants and their Potential Use

Martina Kamarytová

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martina Kamarytová**
Osobní číslo: **A13794**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Vodní mikroelektrárny a možnosti jejich využití**

Téma anglicky: **Micro Hydroelectric Power Plants and their Potential Uses**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte problematiku využitelnosti vodních toků pro stavbu vodních elektráren.
2. Zaměřte se zejména na vodní toky s malými průtoky a spády.
3. Prostudujte základní fyzikální a matematické vztahy související s výrobou elektrické energie z vodních zdrojů.
4. Podrobně prostudujte možnosti technických řešení použitelných pro malé vodní toky.
5. Provedte průzkum trhu s malými vodními elektrárnami či mikroelektrárnami.
6. Na vybraném vodním toku navrhnete realizaci vodní mikroelektrárny.
7. Provedte podrobný rozbor finančních nákladů a posudte ekonomickou návratnost takového zařízení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **BEDNÁŘ, Josef.** Malé vodní elektrárny. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989, 237 s.
2. **GABRIEL, Pavel.** Malé vodní elektrárny. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1992, 178 s.
3. **NOYES, Robert.** Small and micro hydroelectric power plants: technology and feasibility. Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corp., 1980, xvii, 457 p. ISBN 0815508190.
4. **ULRYCH, Emil.** Hydromechanika. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001, 146 s. ISBN 80-213-0854-0.
5. <http://www.wind-solar.cz/kategorie/vodni-turbiny-generatory/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lubomír Macků, Ph.D.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce: **26. února 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. května 2016**

Ve Zlíně dne 16. února 2016

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Valouch, Ph.D.
ředitel ústavu

Jméno, příjmení: Martina Kamarytová

Název bakalářské/diplomové práce: Vodní mikroelektrárny a možnosti jejich využití

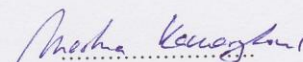
Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s tím, že vyrovnaní případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 18.5.2016


.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tématem vodní mikroelektrárny a možnosti jejich využití. V teoretické části jsou popsány vodní toky v České republice. Dále se zaměřuje na malé vodní toky a malé vodní elektrárny na nich ležící. Jsou zde vypsány matematické a fyzikální vztahy související s vodními elektrárnami. Poslední část teoretické části se zaměřuje na technické řešení vhodné pro malé vodní toky. Praktická část se zabývá průzkumem trhu s malými vodními elektrárnami v České republice a ve světě. V závěru práce je popsán návrh vodní elektrárny a jeho finanční stránka.

Klíčová slova:

Vodní mikroelektrárny, typy vodních toků, vodní turbíny, DVE 120, návrh projektu, finanční náklady.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the topic of micro hydroelectric power plants and their potential use. The theoretical part describes the watercourses in the Czech Republic. It also focuses on small streams and small hydroelectric power plants lying on them. Listed are mathematical and physical formulas related to hydroelectric power. The last part of the theoretical part focuses on the technical solutions suitable for small streams. The practical part researches the market with small hydropower plants in the Czech Republic and around the world. In the final part the design of hydroelectric power plant and its financing is described.

Keywords:

Micro hydroelectric power plants, types of water course, water turbines, DVE 120, project draft, financial expenses.

Ráda bych poděkovala mé rodině a mému manželovi za podporu při studiu a za hlídání syna kdykoliv to bylo nutné a potřeba. Také bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Lubomíru Macků, Ph.D. za připomínky k práci a za trpělivost.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 VODNÍ TOKY V ČESKÉ REPUBLICE	12
1.1 ROZDĚLENÍ TOKŮ	12
1.2 POVODÍ V ČESKÉ REPUBLICE.....	13
1.2.1 Povodí Vltavy.....	14
1.2.2 Povodí Odry	14
1.2.3 Povodí Labe	15
1.2.4 Povodí Ohře	15
1.2.5 Povodí Moravy.....	15
1.3 DĚLENÍ VODNÍCH ELEKTRÁREN.....	15
2 MALÉ VODNÍ TOKY	19
2.1 KRITÉRIA VÝBĚRU VODNÍHO TOKU PRO VÝSTAVBU MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY.....	19
2.1.1 Průtok a spád	19
Spád	19
Průtok.....	20
2.2 ROZDĚLENÍ MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN	21
2.2.1 Dělení podle velikosti spádu	22
Nízkotlaké vodní elektrárny.....	22
Středotlaké vodní elektrárny	22
Vysokotlaké vodní elektrárny	23
2.2.2 Dělení podle hospodaření s vodou	24
Průběžné vodní elektrárny	24
Akumulační vodní elektrárna.....	24
Přečerpávací vodní elektrárna.....	24
2.3 MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY V ČESKÉ REPUBLICE.....	24
3 FYZIKÁLNÍ A MATEMATICKÉ VZTAHY U MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN	27
3.1 ÚČINNOST	27
3.1.1 Působení proudu vody na lopatku vodního kola.....	28
3.1.2 Působení vody na lopatku Peltonovy turbíny.....	29
3.2 VÝKON.....	31
3.2.1 Výkon ustáleného proudu tekutiny	31
3.3 HYDROENERGETICKÝ POTENCIÁL TOKU	32
3.4 MĚRNÁ ENERGIE	33
3.4.1 Měrná energie u rovnotlakých turbín	34
3.4.2 Měrná energie přetlakových turbín	35
4 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VHODNÉ PRO MALÉ TOKY	38
4.1 HISTORIE VODNÍCH MOTORŮ	38
4.2 VODNÍ MOTORY.....	39
4.3 VODNÍ TURBÍNY	40
4.3.1 Složení turbíny	40

Zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu.....	40
Oběžné kolo	41
Zařízení pro odvod vody od oběžného kola.....	41
4.3.2 Konstrukční částí malé vodní turbíny	42
Přívod vody k rozváděcímu ústrojí.....	43
Odvod vody od turbíny	44
4.3.3 Dělení turbín.....	44
Přetlakové turbíny.....	45
Rovnotlaková turbína.....	45
4.4 TURBÍNY VHODNÉ PRO MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY.....	45
4.4.1 Reiffensteinova rovnotlaková turbína	46
4.4.2 Peltonova turbína	47
4.4.3 Bánkiho turbína	48
4.4.4 Francisova turbína	49
4.4.5 Kaplanova turbína	51
4.4.6 Miniturbína.....	52
DVE 120	53
II PRAKTICKÁ ČÁST	55
5 PRŮZKUM TRHU S MALÝMI VODNÍMI ELEKTRÁRNAMI.....	56
5.1 TRH V ČESKÉ REPUBLICE	56
5.1.1 Elzaco Šumperk	56
5.1.2 SH Control s.r.o.....	56
5.1.3 CINC Hydro-Energy k.s.....	57
5.1.4 ČKD Blansko Engineering.....	57
5.1.5 Hydropol Project & Management a.s.....	57
5.1.6 E-shop wind-solar.cz.....	57
5.1.7 MECHANIKA Králův Dvůr.....	58
5.1.8 Další zdroje	58
5.2 TRH VE SVĚTĚ	58
5.2.1 GLOBAL Hydro	59
5.2.2 TECHYDRO	59
5.2.3 Koupě na Ebay	59
6 NÁVRH VODNÍ MIKROELEKTRÁRNY	61
6.1 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ENERGIE.....	61
6.2 NA CO VŠECHNO MŮŽEME POUŽÍT ENERGII Z MIKROELEKTRÁRNY	63
6.2.1 1000 Wattů	63
6.2.2 500 Wattů	63
6.2.3 200 Wattů	63
6.2.4 100 Wattů	64
6.2.5 50 Wattů	64
6.2.6 20 Wattů	64
6.2.7 10 Wattů	64
6.2.8 1 Watt	64
6.3 VÝBĚR TOKU	64
6.4 VÝBĚR MÍSTA PRO ELEKTRÁRNU	66
6.4.1 Spotřeba energie.....	66
6.4.2 Jaký má tok výkon	68

6.5	POTŘEBNÉ KOMPONENTY K INSTALACI	69
6.5.1	Komponenty pro přívod vody do mikroelektrárny	69
6.5.2	Komponenty pro elektrickou energii	71
6.6	HARMONOGRAM NÁVRHU ŘEŠENÍ PROJEKTU.....	72
7	FINANČNÍ STRÁNKA MVE	75
7.1	CELKOVÉ NÁKLADY	75
7.2	SPOTŘEBA DÍLNY.....	76
7.3	NÁVRATNOST INVESTICE.....	77
	ZÁVĚR	78
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM TABULEK.....	84
	SEZNAM GRAFŮ	87

ÚVOD

Lidé postupem času začínají více myslet na naši přírodu a Zemi, tzn. smýšlejí ekologicky. Mezi ekologický způsob získání energie patří větrné, fotovoltaické a vodní elektrárny. Energie z fotovoltaických a větrných elektráren je ovlivňována střídáním dne a noci, nebo častým střídáním počasí.

Stavba velké vodní elektrárny je velkým zásahem do životního prostředí kvůli nutnosti vytvoření přehradních hrází a zatopení oblastí. Mikro a malé vodní elektrárny při vhodném umístění tyto zásahy nepotřebují. Stavějí se na místech, kde dříve stály pily a mlýny, nebo na místech nových. Ekologické jsou například díky nulové produkci emisí a odpadu. Nepotřebují zásoby paliv pro pohon, jsou poháněné jen vodou.

V chudých oblastech světa může být stavba mikro vodní elektrárny nejlevnějším zdrojem pro získání energie pro rodiny či malé podniky, které poté vedou ke zvýšení životní úrovně v dané oblasti. Tyto oblasti se nachází například v Peru, na Srí Lance, v Zimbabwe či v Keni. Elektrárny se staví na horských řekách, kde je dostatečně velký průtok a spád pro jejich stavbu. Energie jde do baterií a generátorů, které pak slouží k pohonu osvětlení, domů, škol i nemocnicí.

Tato práce je zaměřena na malé vodní elektrárny v České republice. Cílem je seznámit čtenáře s vodními toky v České republice a s využitelností malých toků u nás. Diskutován bude taktéž postup výběru toku, výpočet hydroenergetického potenciálu a následně samotný návrh vodní mikroelektrárny. Zmíněna bude taktéž finanční stránka stavby a případný časový harmonogram návrhu řešení projektu malé vodní elektrárny [1].

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VODNÍ TOKY V ČESKÉ REPUBLICE

Voda je a vždy byla pro člověka velmi důležitá. Potřebujeme ji jak z biologického tak i z hlediska funkčního. Je to zdroj energie, používá se jako dopravní prostředek, užívá se v různých technologiích a je potřebná hlavně v zemědělství.

Vodní toky lidé využívali už od pradávna, stavili si obydlí blízko nich, sloužily pro dodání pitné vody i pro spojení s dalšími územími. Vodní energie sloužila k pohonu mlýnů, pil, valch, tkalcoven, papíren, brusíren skla a mnoha dalších malých továren. Většina na těchto malých vodních elektrárnách zanikla v padesátých letech minulého století.

Energie z vody je relativně dostupná a obnovitelná. Energie, která se získává z toků, se nazývá energie mechanická, projevuje se jako energie potenciální a kinetická.

V České republice většina řek jen pramení a vodu odvádí do zahraničí. Naše republika leží na hlavním evropském rozvodí. Mezi řeky, které odvádí vodu pryč, patří Labe, Morava a Odra. Labe odvodňuje největší plochu naší země a vodu odvádí do Severního moře. Řeka Morava se vlévá do Dunaje a ten odtéká do Černého moře. Řeka Odra teče do moře Baltského. Délka všech toků v České republice je kolem 59 700 km [2], [3].

1.1 Rozdělení toků

Vodní toky dělíme: - bystřiny

- potoky

- řeky

- veletoky

Bystřiny se nazývají horské toky, které mají nepravidelný sklon dna a tvar koryta. Koryto je zařezáno do terénu a vodní proud si dělá cestičku mezi balvany u dna a mezi přirozenými překážkami. Vznikají zde peřeje a vodopády. U těchto toků se často mění výška hladiny, je ovlivňována deštěm a tajícím sněhem. Po hladině se za zvýšeném průtoku plaví spousta splavenin, které se níže v menším průtoku ukládají v nánosových kuželech.

Potok je menší tok, který má mírnější sklon dna a pohybuje se zde méně splavenin. Vodní hladina zde nemá tak velké výkyvy jako u bystřin, voda se zde může vsakovat.

Řeka je větší tok s mírnějším a vyrovnanějším sklonem dna, má ale větší průtoky. Mezi splaveniny na řekách patří štěrk, písek a kal. Voda je ovlivněna dlouhými dešti.

Veletok je mohutná řeka o velkém průtoku. Dosahuje délky 5000 až 6000 km a ústí do moře [4].

1.2 Povodí v České republice

Na stránkách vodohospodářského informačního portálu nalezneme všechny důležité toky a k nim i informace o stavech a hodnotách průtoků. Stačí si jen kliknout na námi vybraný tok a nalezneme zde jaký je jeho průtok, stav vody a jestli nehrozí povodňový stav.

Česká republika je rozdělena na pět povodí (obrázek 1). Patří sem povodí Vltavy, Labe, Ohře, Odry a povodí Moravy. Každé povodí má svého provozovatele, který se o toky a všechna díla na nich stará.



Obrázek 1 Rozdělení povodí [5]:

růžově – povodí Ohře, žlutě – povodí Vltavy, zeleně – povodí Labe, modře – povodí Moravy,
oranžově – povodí Odry

1.2.1 Povodí Vltavy

Povodí Vltavy se nachází na rozloze 28 708 km². Podnik se stará o 23 000 km vodních toků. Ty se dělí na 5 503 km důležitých velkých vodních toků, 12 000 malých toků a 5 600 drobných toků.

Nejznámější velké vodní elektrárny se nachází na řece Vltavě, jsou známy jako tzv. vltavská kaskáda. Dohromady je zde elektráren devět a nacházejí se na úseku o délce 250 km [6].

Vltavská kaskáda: - Lipno I

- Lipno II
- Hněvkovice
- Kořensko
- Orlík
- Kamýk
- Slapy
- Štěchovice
- Vrané

1.2.2 Povodí Odry

Jedna polovina povodí je spravována státním podnikem Povodí Odry, druhá polovina je rozdělena mezi Lesy České republiky, Vojenský újezd a polského správce.

Oblast povodí má rozlohu 6 252 km². Nachází se zde 25 důležitých toků. Je zde v provozu celkem 78 malých vodních elektráren (tabulka 1), které patří pod podnik Povodí Odry [7].

Tok	Počet elektráren
Odra	9
Opava	32
Ostravice	17
Olše	4
Okrajové přítoky	16

Tabulka 1 Malé vodní elektrárny

1.2.3 Povodí Labe

O povodí Labe se stará státník podnik Povodí Labe. Plocha povodí má velikost 14 976,1 km². Délka toků je 9352,7 km. Ve správě má podnik 20 malých vodních elektráren [8].

1.2.4 Povodí Ohře

Délka vodních toků patřících pod povodí Ohře je 6950,7 km, z toho délka významných toků je 2376,7 km a délka drobných toků 4574 km. Podnik Povodí Ohře vlastní 21 malých vodních elektráren [9].

1.2.5 Povodí Moravy

Podnik Povodí Moravy se stará o povodí o rozloze 21 137 km², délka vodních toků je 11 000 km, z toho je 7200 drobných toků. Je zde provozováno podnikem celkem 15 malých vodních elektráren (tabulka 2). Mezi zástupce velkých vodních elektráren patří elektrárna Vranov [10].

Malá vodní elektrárna	Tok	Instalovaný výkon (kW)
Nové Mlýny	Dyje	2410
Ivančice	Jihlava	320
Křetínka	Křetínka	225
Veselí nad Moravou	Morava	110
Těšov	Olšava	70
Bystřička	Bystřička	56
Karolínka	Stanovnice	56
Chomoutov	Střední Morava	56
Slušovice	Dřevnice	48
Boskovice	Bělá	45
Plumlov	Hloučela	31
Luhačovice	Luhačovický potok	22
Horní Bečva	Rožnovská Bečva	17
Opatovice	Malá Haná	6

Tabulka 2 MVE Povodí Moravy

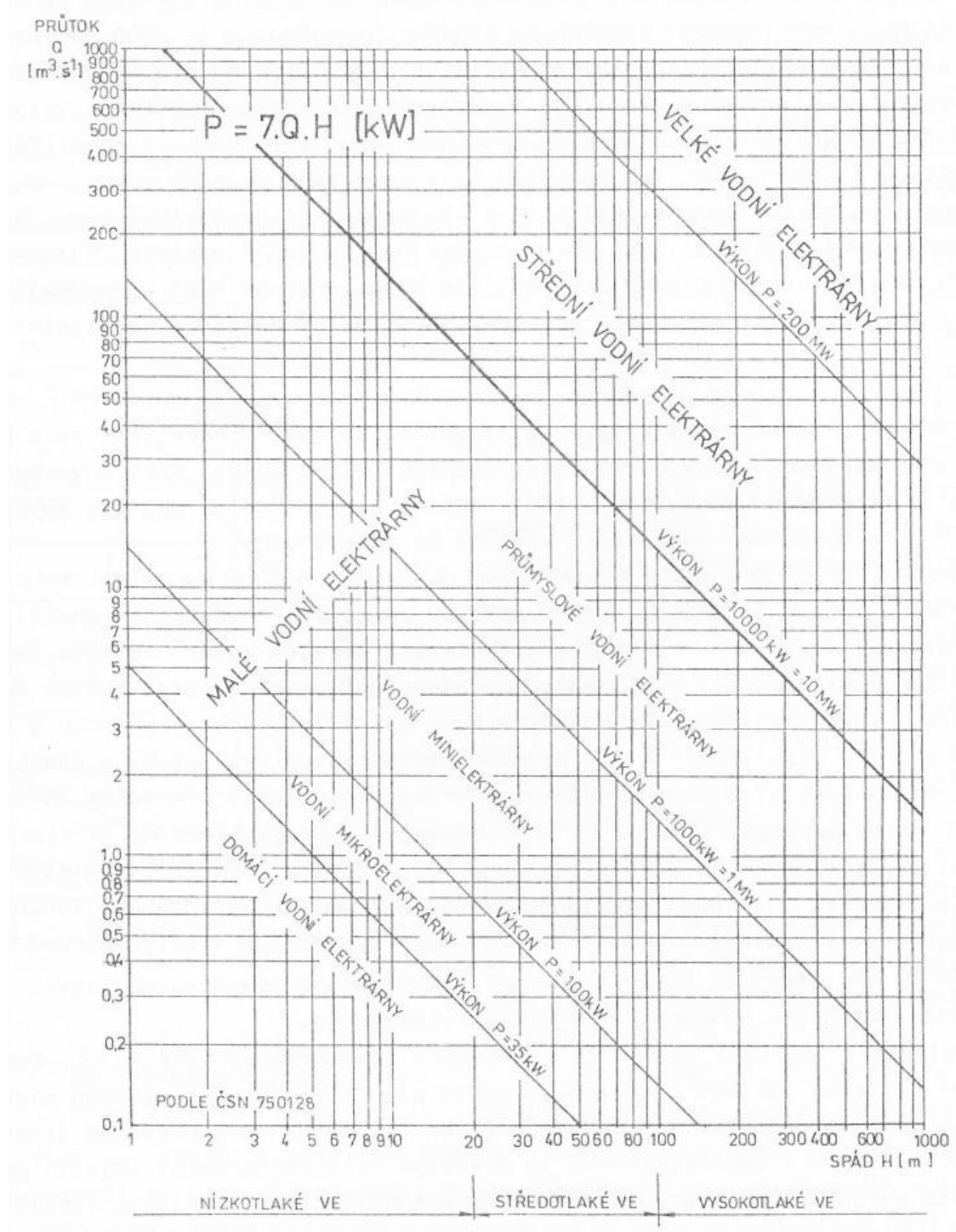
1.3 Dělení vodních elektráren

Vodní elektrárny se mohou dělit podle výkonu:

- Velké vodní elektrárny – výkon do 200 MW

- Střední vodní elektrárny – výkon od 10 - 200 MW
- Malé vodní elektrárny – průmyslové vodní elektrárny: výkon od 1 - 10 MW
 - vodní minielektrárny: výkon od 100 – 1000 kW
 - vodní mikroelektrárny: výkon od 35 – 100 kW
 - domácí vodní elektrárny: výkon do 35 kW

Na obrázku 2 je vidět předchozí rozdělení vodních elektráren a pro jaké spády a průtoky toku, jsou dané elektrárny vhodné.



Obrázek 2 Dělení elektráren podle průtoku a spádu [14]

Domácí vodní elektrárny jsou podle obrázku 2 vhodné pro spád od 1 m až do 50 m a pro průtok o velikosti $0,1 - 5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Vodní mikroelektrárny jsou pro spád od 50 – 100 m a průtok $5 - 15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Minielektrárny jsou pro spád nad 150 m a pro průtok o velikosti $15 - 150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Na celkové výrobě elektrické energie se naše velké vodní elektrárny podílejí 3%.

Tyto elektrárny neslouží jen pro výrobu elektrické energie, ale také pro regulaci průtoku, k vyrovnávání odtoku z jiných vodních elektráren, slouží jako rezervoáry vody pro jiné elektrárny a pro udržování stálé hladiny toku [11].

2 MALÉ VODNÍ TOKY

Toky se dělí podle plochy povodí. Plocha povodí se značí písmenem F (km^2) [4]:

- Odvodňovací kanály $F < 1 \text{ km}^2$
- Velmi malé vodní toky $1 < F < 5 \text{ km}^2$
- Malé vodní toky $5 < F < 50 \text{ km}^2$
- Vodní toky $50 < F < 150 \text{ km}^2$

2.1 Kritéria výběru vodního toku pro výstavbu malé vodní elektrárny

Pro stavbu malé vodní elektrárny je potřeba dobře prozkoumat všechny pro nás možné lokality. Pokud máme možnost, je dobré využít spolupráci s odborníkem.

Před výběrem lokality bychom si měli sami říci, co vše od elektrárny budeme vyžadovat, na co ji budeme používat a jaké množství energie chceme využívat. Zda jen pro nás, na malé domácí použití, či na větší výkon pro více domů. Musíme se rozhodnout, kolik wattů nám bude elektrárna vyrábět.

2.1.1 Průtok a spád

Velikost výkonu závisí na průtoku a spádu řeky. Spád je rozdíl výšky hladiny vody nad elektrárnou a pod elektrárnou. Průtok je protékající voda určitým profilem za čas.

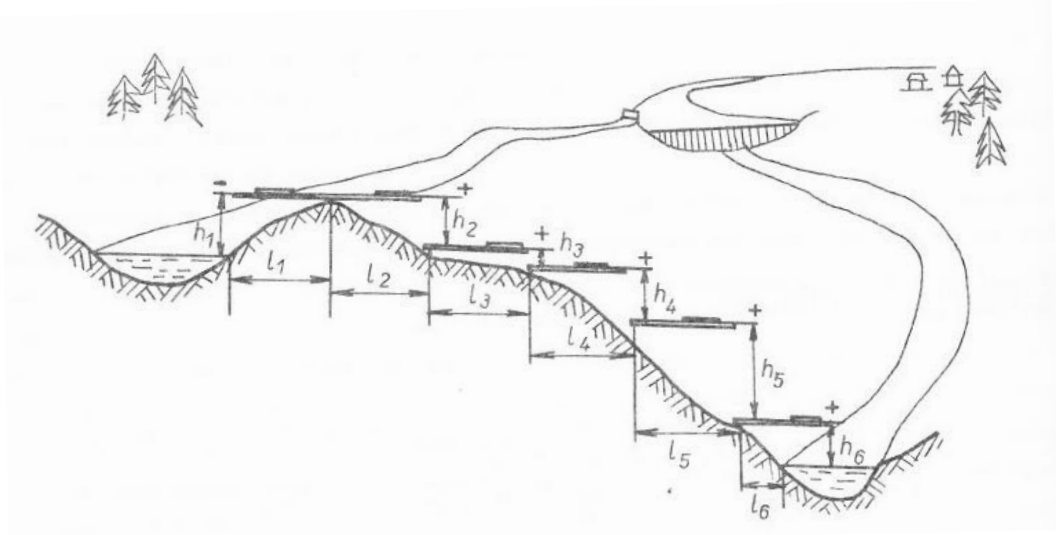
Velikost spádu a toku nám také ovlivňuje výběr turbín, které budeme moct použít. Místa s vhodným spádem a průtokem můžeme najít přírodně vytvořená. Pokud nejsou v chráněné oblasti, můžeme je využít pro naši elektrárnu. Jsou to místa u vodopádů či tam kde je dostatečný sklon toku. Když taková místa nenajdeme, můžeme si je vytvořit uměle. Říká se jim jezy a přehrady.

Spád

Dříve se informace o spádu zjišťovaly z map nebo od majitele stojícího díla, pokud jsme měli v plánu jeho stavbu odkoupit a přestavět. Další možností je zaměření v terénu. Tomuto úkonu se říká nivelace. Slouží k určení výšky dvou bodů. Použije se buď nivelační přístroj, nebo vodováha s vážnou latí.

Pro měření s latí a vodováhou potřebujeme dostatečně dlouhou lať (čím delší, tím lépe). Kolíky zarazíme do země ve vzdálenosti 3 m od sebe, položíme na ně vážnou lať (v

obrázku 3 značeno 1). Pomocí vodováhy vyrovnáme vážnou lať do roviny. Písmenko h v obrázku 3 nám označuje výškový rozdíl kolíků, jejich sečtením získáme celkový spád [12],[13].



Obrázek 3 Nivelace [13]

Průtok

Na větších tocích se údaje o průtoku dají snadno vyhledat v literatuře. Dlouhodobý průměrný průtok (Q_a) se stanovuje váženou interpolací mezi dvěma známými profily pro danou plochu povodí s váhou průměrného odtoku.

Malé toky v atlase zakreslené nejsou, můžeme provést odhad průměrného ročního průtoku Q_a z izochar průměrných specifických odtoků pokud známe plochu a polohu lokality.

Dále je potřeba si vypočítat jaký bude návrhový průtok naší vodní elektrárny na námi zvoleném místě. Je dobré, pokud bude průtok blízký tzv. Q_{90d} , tj. devadesátidenní průměrný denní průtok. Vypočítá se pomocí vztahu:

$$Q_{90d} = 1,15 Q_a \quad (1)$$

Rozpětí je od $Q_{90d} = Q_a$ do $Q_{90d} = 1,2 Q_a$. Malé toky se nachází v dolní hranici. Proto ne každý tok, i když je pro nás na vhodném místě, je možné využít pro výstavbu malé vodní elektrárny.

Na opravdu malém toku, můžeme průtok vypočítat pomocí barelu a stopek. Změříme si čas, za který se nám nádoba naplní pomocí vztahu:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

Kde V je objem nádoby,

t je čas, za který se nádoba naplní.

Pro odhad roční výroby elektrárny se musí počítat s překročením M-denních průtoků, mezi Q_{90d} a Q_{365d} . Turbíny jsou schopny pracovat do průtoků odpovídajícího jedné třetině návrhové kapacity Q_T . Minimální turbínový průtok v průměrném roce bude mít hodnotu:

$$Q_T = Q_{250d-260d} \quad (3)$$

Pokud toto nastane, bude elektrárna více jak 100 dní odstavena, kvůli malému průtoku.

V dnešní době je většina informací o spádu a průtoku větších řek a potoků k dohledání na internetu. V tabulce 3 jsou vypsány tři potoky v okolí autorky práce, které bylo možné najít na internetových stránkách http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_main.php.

Tok	Průtok (m^3s^{-1})	Stav (cm)
Radotínský potok	0,095 - 0,115	18 - 19
Loděnice	0,252 - 0,29	50 - 51
Stroupínský potok	0,11 - 0,13	27

Tabulka 3 Toky v okolí

Pokud, ale nikde informace nenajdeme, je nejlepší použít již dříve popsané postupy. Slouží nám i pro případnou kontrolu informací nalezených na internetu.

Když už máme nějakou lokalitu na řece či potoce vybranou, je dobré si také zjistit, komu pozemek patří, jestli je zde možnost něco vybudovat. Zda oblast nespadá pod ochranu přírody, památkové péče nebo stanovisek veřejnosti [14].

2.2 Členění malých vodních elektráren

- Podle instalovaného výkonu - domácí vodní elektrárny s výkonem do 35 kW
 - vodní mikroelektrárny s výkonem od 35–100 kW
 - vodní minielektrárny s výkonem od 100–100kW
- Podle získaného spádu – přehradová vodní elektrárna
 - zdržovací (jezová)

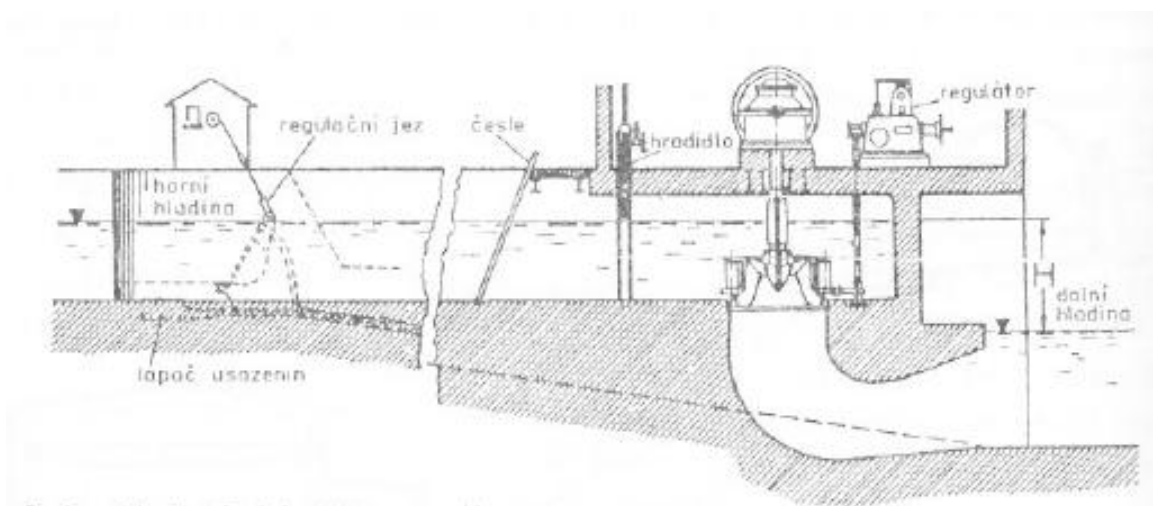
- derivační
- vodní elektrárny bez vzdouvací stavby
- Podle velikosti spádu – nízkotlaké
 - středotlaké
 - vysokotlaké
- Podle hospodaření s vodou – průběžné
 - akumulární
 - přečerpávací

2.2.1 Dělení podle velikosti spádu

Nízkotlaké vodní elektrárny

Nízkotlaké malé vodní elektrárny (obrázek 4) se používají pro spád od 1 m do 10 m. Tento typ elektráren je nejrozšířenější. Staví se buďto na náhonech s volnou hladinou nebo jako součástí zdymadel vedle jezu s přímým vtokem na turbíny.

Turbíny vhodné pro tento typ vodních elektráren jsou přímoproudé, Bánkiho, vrtulové a Kaplanovy [14].



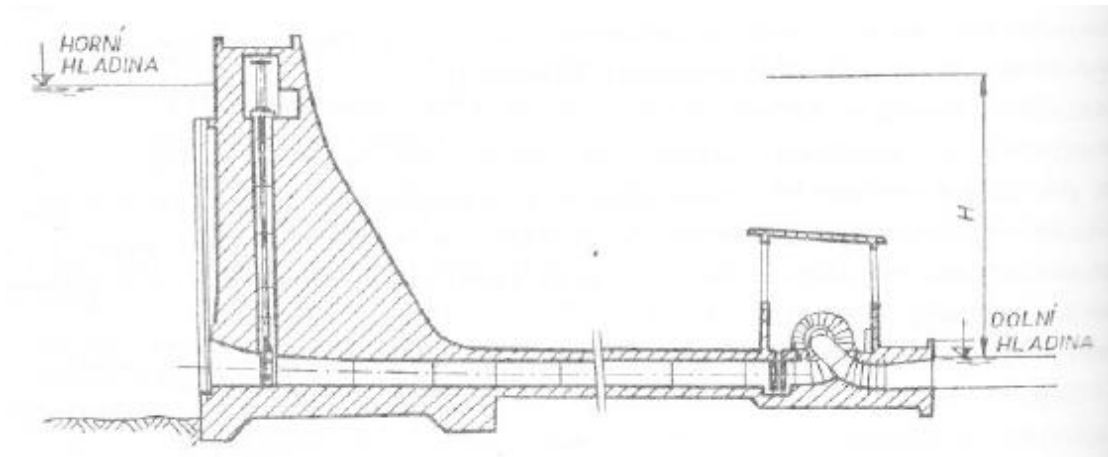
Obrázek 4 Nízkotlaká vodní elektrárna na náhonu [14]

Středotlaké vodní elektrárny

Tyto malé vodní elektrárny (obrázek 5) se staví na středním úseku toku, kde je spád od 10 m až do 50 m. Mezi jejich části patří krátké tlakové přivaděče, které většinou nepo-

třebují vyrovnávací komoru a pokud ano nacházejí se na dlouhých derivačních kanálech či beztlakových náhonech.

Zde se dají použít turbíny vrtulové, Bánki nebo Kaplanovy [14].

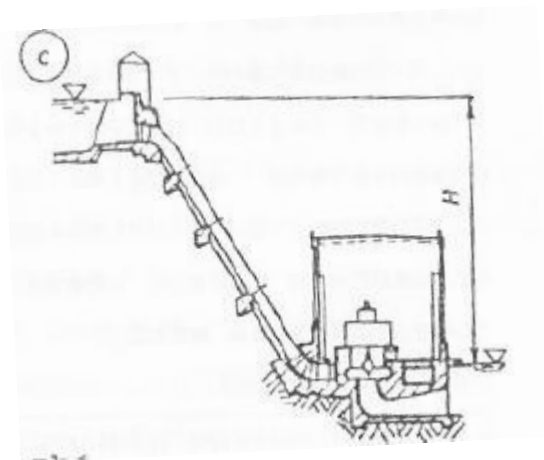


Obrázek 5 Středotlaká vodní elektrárna [14]

Vysokotlaké vodní elektrárny

Vysokotlaké malé vodní elektrárny (obrázek 6) se staví na horním úseku řeky. Využívají se pro spády nad 50 m a pro malé průtoky. Skládají se z dlouhého tlakového příváděče s vyrovnávací komorou. Voda je odebírána z horní nádrže vtokovým objektem nebo se odebírá přímo z toku odběrným objektem s použitím lapače štěrku a usazováku písku. Odpad vody je krátký.

Pro tento typ elektráren se mohou použít turbíny Pelton, Bánki nebo Francis[14].



Obrázek 6 Vysokotlaká vodní elektrárna [14]

2.2.2 Dělení podle hospodaření s vodou

Průběžné vodní elektrárny

Průběžné vodní elektrárny využívají soustředěný spád a přirozený průtok do určité hodnoty elektrárny. Pokud je průtok vyšší než je mez, voda přepadává přes vzdouvací zařízení (jez). Nejčastěji jsou takovéto elektrárny nízkotlaké, některé středotlaké [14].

Akumulační vodní elektrárna

Tato vodní elektrárna odebírá vodu z nádrže s užitkovým obsahem. Slouží k hospodaření s vodou, můžeme vodu zadržovat a regulovat její odběr podle našich potřeb. Nacházejí se v přehradní části nebo jsou s nádrží spojeny delším tlakovým přivaděčem. Výkon je ovlivňován průtokovými poměry toku a velikostí objemu akumulační nádrže [14].

Přečerpávací vodní elektrárna

Přečerpávací vodní elektrárna se skládá ze dvou nádrží, které jsou každá v jiné výšce. Spojeny jsou tlakovým potrubím. V dolní části je umístěna reverzní turbína a motor-generator. Pokud máme elektrické energie mnoho, využívá se pro čerpání vody z dolní nádrže do horní. A když je elektrické energie málo, prouděním vody z horní nádrže do spodní přes turbínu se elektrická energie vyrábí [14].

2.3 Malé vodní elektrárny v České republice

V České republice je celkem cca 1500 vodních děl. Na internetové stránce Interaktivní mapy obnovitelných zdrojů energie najdeme informace o 537 registrovaných malých vodních elektrárnách patřící nejen podnikům povodí, ale vlastní je i fyzické a právnické osoby. Není povinnost se na tyto stránky registrovat, ale pro přehled je to dobré. Další souhrn informací je z těchto stránek, které autorka této práce sama vypracovala do tabulek.

Pro stavbu malých vodních elektrárn je u nás využito 165 řek, potoků a rybníků. Z toho na 69 řekách a potocích se nachází minimálně dvě vodní elektrárny a na 16 řekách a 1 potoce je více než osm těchto elektrárn [15].

V tabulce 4 jsou vypsány nejvíce využitě toky pro stavbu malých vodních elektrárn, kde se nachází, jaká je jejich délka a kolik vodních elektrárn je zde postaveno. Je zde vidět, že nezáleží na délce toku pro počet elektrárn.

Řeka	Oblast výskytu	Délka v ČR (km)	Počet elektráren
Úhlava	Plzeňský kraj	108,5	30
Nežárka	Jihočeský kraj	56,2	19
Otava	Západní a Jižní Čechy	112	19
Blanice	Jihočeský kraj	94,7	18
Labe	Severní Čechy	370,74	17
Lužnice	Jihočeský kraj	208	14
Svitava	Moravský kraj	98	14
Vltava	Jižní a Střední Čechy	420	14
Jizera	Severní Čechy	164	11
Mže	Západní Čechy	106	11
Radbuza	Západní Čechy	112	10
Berounka	Západní Čechy	139	9
Harmenský potok	Vysočina a Jihočeský kraj	43,35	9
Malše	Jihočeský kraj	96	9
Ohře	Severozápad Čech	246,55	9
Svratka	Morava	168	9
Bystřice	Moravskoslezský kraj	53,9	8

Tabulka 4 Malé vodní toky

V tabulce 5 je přehled o tom, kolik a jaké elektrárny podle výkonu jsou na těchto daných tocích. Domácích vodních elektráren je na těchto tocích dohromady 80, mikroelektráren je zde 65 a minielektráren je 56. Z těchto údajů můžeme vyvodit, že na těchto řekách převažuje malý průtok a spád.

Řeka	Výkon do 35 kW	Výkon 35 - 100 kW	Výkon 100 - 1000 kW	Výkon nad 1000 kW	Neznámý výkon
Úhlava	12	14	3	0	1
Nežárka	11	8	0	0	0
Otava	5	6	6	0	2
Blanice	16	0	2	0	0
Labe	0	2	3	9	3
Lužnice	7	4	3	0	0
Svitava	2	10	2	0	0
Vltava	3	2	7	2	0
Jizera	0	0	10	1	0
Mže	4	2	0	1	4
Radbuza	6	1	1	0	2
Berounka	0	1	8	0	0
Harmenský potok	6	3	0	0	0
Malše	5	3	1	0	0
Ohře	1	2	5	1	0
Svratka	1	4	3	1	0
Bystřice	1	3	2	0	2

Tabulka 5 Rozdělení elektráren na tocích

Dnes se spíše než na stavbu nových vodních elektráren lidé soustředí na přestavbu elektráren starých. Je to pro ně jednodušší, nemusí zdlouhavě hledat prostory, jen si na toku zkontrolují, jestli jim hodnoty průtoku a spádu budou vyhovovat.

3 FYZIKÁLNÍ A MATEMATICKÉ VZTAHY U MALÝCH VODNÍCH ELEKTRÁREN

V této kapitole se podíváme na vztahy, které slouží k zjištění účinnosti toku, účinnosti lopatky vodního kola a turbíny. Jak se dá vypočítat výkon turbíny a výkon proudu vody. Mezi nejdůležitější část patří zjištění hydroenergetického potenciálu toku. A jako naposled se podíváme, co je to měrná energie.

3.1 Účinnost

Při toku ideální kapaliny nedochází k hydraulickým ztrátám, měrná energie je nulová a hydraulický výkon určíme pomocí vztahu:

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot E \quad (4)$$

kde ρ = měrná hmotnost vody, tj. $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

Q = průtok,

E = měrná energie.

Pokud máme reálnou kapalinu, máme i reálnou hodnotu měrné energie. Výkon je nižší, protože část byla spotřebována pro překonání hydraulických ztrát:

$$P = \rho \cdot Q \cdot (E - E_d) \quad (5)$$

kde E_d = disipovaná měrná energie.

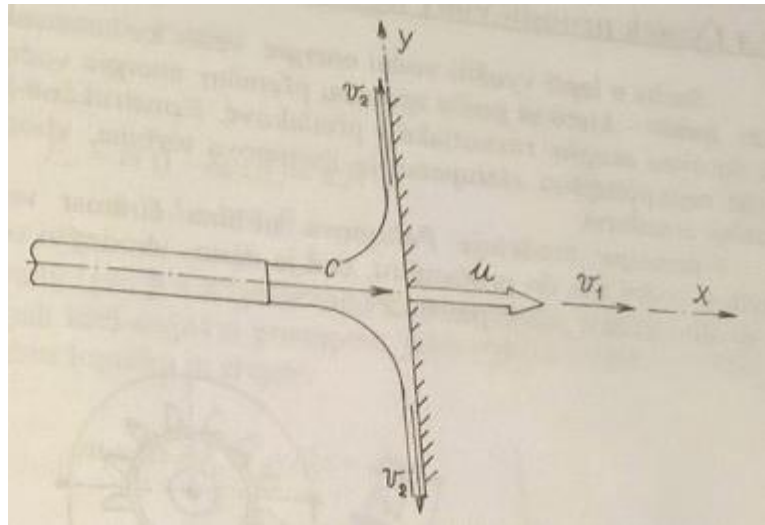
Hydraulickou účinnost získáme z relativní velikosti hydraulických ztrát, která je určena poměrem výkonů toku ideální a reálné kapaliny [16]:

$$\eta_h = \frac{P}{P_h} = \frac{E - E_d}{E} \quad (6)$$

$$\eta_h = 1 - \frac{E_d}{E} \quad (6a)$$

kde η_h = hydraulická účinnost.

3.1.1 Působení proudu vody na lopatku vodního kola



Obrázek 7 Lopatka vodního kola [17]

Na příkladu proudu vody dopadajícího kolmo na rovinnou desku, si zjistíme vztahy pro účinek vody u vodního kola.

Deska se bude pohybovat směrem x unášivou rychlostí u . Absolutní rychlost vody, která vytéká z dýzy, si označíme c (obrázek 7).

U lopatky vodního kola se používá vztah:

$$u = r \cdot \omega \quad (7)$$

kde r = střední poloměr

ω = úhlová rychlost kola.

Voda bude dopadat na desku rychlostí:

$$v_t = c - u \quad (8)$$

kde c = absolutní rychlost vody,

u = unášivá rychlost.

Na desku působí hydrodynamickou silou vodní proud:

$$\vec{F} = \dot{m}(\Delta\vec{v}) \quad (9)$$

kde \dot{m} = hmotnostní tok

F_x je nenulová složka, která je k desce kolmá, zde platí:

$$\Delta\vec{v} = v_1 = c - u \quad (10)$$

Voda na desku působí ve výsledku hydrodynamickou silou:

$$F_d = F_x = \dot{m}\Delta v = \rho A v_1 (\Delta v) = \rho A (c - u) \cdot (c - u) = \rho A (c - u)^2 \quad (11)$$

kde A = plocha.

Pomocí vztahu (12) zjistíme výkon, který může lopatka odevzdávat:

$$P = F_d \cdot u = \rho A (c - u)^2 \cdot u \quad (12)$$

Zjistili jsme, že pokud kolo stojí, je výkon nulový. Výkon je funkcí unášivé rychlosti u. Abychom zjistili, pro jakou unášivou rychlost bude výkon maximální, musíme určit optimální unášivou rychlost pomocí vyhledání extrému funkce P (u):

$$\frac{\partial P}{\partial u} = 0 \quad (13)$$

Za P ve vztahu (13) dosadíme rovnici (12) a dostaneme:

$$\frac{\partial}{\partial u} [(c - u)^2 \cdot u] = 0 \quad (14)$$

$$-2(c - u) \cdot u + (c - u)^2 = 0$$

$$(c - u) \cdot (c - 3u) = 0$$

Z této rovnice jsme dostali, že $u=c$ je minimum funkce P (u), zde je výkon nula. A $u=\frac{1}{3}c$ nám určuje maximální výkon lopatky. Ten dosadíme do (12):

$$P_{max} = \rho A (c - \frac{c}{3})^2 \cdot \frac{c}{3} = \frac{4}{27} \rho A c^3 \quad (15)$$

V tomto příkladu s lopatkovým kolem jsme využili jen 30% výkonu. Pro získání lepšího výkonu můžeme použít turbínu [17].

3.1.2 Působení vody na lopatku Peltonovy turbíny

Hydrodynamickou sílu vypočítáme stejně jako u lopatky vodního kola. Zvolíme osu x, která bude ve směru výstupního průřezu:

$$F_x = \dot{H}_{1x} - \dot{H}_{2x} \quad (16)$$

kde

$$\dot{H}_{1x} = \dot{H} = \dot{m} v_1, v_1 = c - u \quad (17)$$

$$\dot{H}_{2x} = -\dot{H}_{1x} \cos \beta = -\dot{H} \cos \beta \quad (18)$$

kde \dot{H} = tok hybnosti,

\dot{m} = hmotnostní tok,

v_1 = rychlost,

c = absolutní rychlost,

u = unášivá rychlost,

β = výstupní úhel lopatky.

Úhel β zvolíme v rozmezí 4° - 10° .

Vztah (16) upravíme a přepíšeme:

$$F_x = \dot{H}(1 + \cos \beta) = k \cdot \dot{H} \quad (19)$$

kde

$$k = 1 + \cos \beta \quad (20)$$

Úhel β je malý, klade se $k=2$.

Výkon lopatky vypočítáme také stejně jako u vodního kola. Hmotnostní tok \dot{m} jedné lopatky je:

$$\dot{m} = \rho A v_1 = \rho A(c - u) \quad (21)$$

kde ρ = měrná hmotnost vody,

A = plocha.

Tok hybnosti bude:

$$\dot{H} = \dot{m} v_1 = \rho A(c - u)^2 \quad (22)$$

Hydrodynamická síla F_x :

$$F_x = k \dot{H} = k \rho A(c - u)^2 \quad (23)$$

Výkon jedné lopatky zjistíme podle vztahu:

$$P_1 = F_x u = k \rho A(c - u)^2 \cdot u \quad (24)$$

Maximální výkon lopatky určíme podle vztahu (13). Vyjde nám stejný optimální výkon jako u vodního kola a po dosazení zjistíme maximální výkon jedné lopatky:

$$P_{max} = k \rho A \left(c - \frac{c}{3}\right)^2 \cdot \frac{c}{3} = \frac{4}{27} k \rho A c^3 \quad (25)$$

Pro $k = 2$ dostaneme:

$$P_{max} = \frac{8}{27} \rho A c^3 = 0,296 \rho A c^3 \quad (26)$$

U Peltonovy turbíny bude účinnost 60%. Ta, ale nastane při ostříkování jen jedné lopatky a zde jich je více, takže účinnost bude větší. Když turbína využije všechnu vodu, bude mít hmotnostní tok \dot{m} hodnotu:

$$\dot{m} = \rho A c \quad (27)$$

Pokud nám budou platit vztahy (21) a (22) dostaneme:

$$F_x = k \rho A c (c - u) \quad (28)$$

$$P = F_x u = k \rho A c (c - u) \cdot u$$

Zjistíme se optimální unášivou rychlost stejným postupem jako předtím použitím vztahu (13) a dostaneme:

$$\frac{\partial}{\partial u} [(c - u) \cdot u] = 0 \quad (29)$$

Derivujeme a získáme:

$$u = u_{opt} = \frac{c}{2} \quad (30)$$

Maximální teoretický výkon turbíny tedy bude:

$$P_{max} = k \rho A c \left(c - \frac{c}{2}\right) \cdot \frac{c}{2} = \frac{1}{2} \rho A c^3 \quad (31)$$

Skutečný výkon dostaneme, když P_{max} vynásobíme účinností turbíny η_T :

$$P_{Sk} = P_{max} \cdot \eta_T \quad (32)$$

Peltonova turbína má účinnost okolo 0,9 [17].

3.2 Výkon

Mechanický výkon turbíny určíme vztahem:

$$P = \rho \cdot Q \cdot E \cdot \eta \quad (33)$$

kde ρ = měrná hmotnost vody,

Q = průtok,

E = měrná energie,

η = účinnost.

Hydraulický výkon P_h je výkon, který odpovídá průtoku vstupním průřezem turbíny, určuje se vztahem (4). Další výkony jsou jmenovitý výkon turbíny, zaručovaný výkon a instalovaný výkon [17].

3.2.1 Výkon ustáleného proudu tekutiny

Výkon proudu tekutiny, která teče z dýzy o určitém průměru, zjistíme pomocí kinetické energie za jednotku času, podle vztahu:

$$P = \frac{E_k}{t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{t} \cdot v^2 \quad (34)$$

kde E_k = kinetická energie,

t = čas,

m = hmotnost,

v = rychlost.

Podíl $\frac{m}{t}$ se nazývá hmotnostní tok a značíme ho \dot{m} . Hmotnostní tok se vyjadřuje pomocí vztahu:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad (35)$$

kde ρ = hustota tekutiny,

\dot{V} = objemový tok.

Objemový tok \dot{V} se značí jako objem tekutiny, který protekl průřezem za 1 s rychlostí v .

$$\dot{V} = A \cdot v \quad (36)$$

Toto všechno můžeme sepsat do jednoho vztahu:

$$\dot{m} = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot v \quad (37)$$

Když tento vztah dosadíme do (34), získáme [16], [17] :

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 = \frac{1}{2} \rho \dot{V} v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (38)$$

3.3 Hydroenergetický potenciál toku

Rozlišujeme hydroenergetický potenciál primární a sekundární. Primární hydroenergetický potenciál se nachází u většiny řek, hlavně v malých tocích. V přečerpávacích elektrárnách se vytváří potenciál sekundární.

$$P = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (39)$$

kde Q = průtok toku,

ρ = měrná hmotnost vody,

H = spád,

g = gravitační zrychlení.

Když rozdělíme tok na n úseků, označíme si výšky tak, aby nám podél toku vznikla kaskáda s vodorovnými hladinami. Stupně nemůžeme zjistit všechny, máme v cestě různé překážky, města a komunikace. Začátek i -tého úseku si označíme z a konec k . Výška bude:

$$H_{k_i} = H_{z_{i+1}} \quad (40)$$

Mezi těmito místy si stanovíme potenciální výkon:

$$P_i = \frac{Q_z + Q_k}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot (H_{z_i} - H_{k_i}) \quad (41)$$

Teoretický potenciál celého toku dostaneme sečtením všech výkonů:

$$\sum_{i=1}^n P_i \quad (42)$$

Energii, kterou nese tok za jeden den, zjistím ze vztahu:

$$A = 3600 \cdot 24 \cdot \sum_{i=1}^n P_i \quad (43)$$

Kde A je teoretická zásoba vodní energie.

Hydroenergetický potenciál, který využíváme, je ve skutečnosti nižší než ten, co jsme zjistili. Nižší je kvůli třecím ztrátám, ztrátám průtoku a z omezení využití toku [18].

3.4 Měrná energie

V kapitole o turbínách, se dozvíme, jakou měrnou hodnotu turbíny mají.

Měrná energie je mírou energetického obsahu a určuje jí vztah:

$$E = \frac{m}{A} \quad (44)$$

kde m = hmotnost kapaliny,

A = energie.

Celkovou měrnou energii zjistíme ze vztahu:

$$E = E_z + E_p + E_v \quad (45)$$

kde E_z = polohová měrná energie,

E_p = tlaková měrná energie,

E_v = kinetická měrná energie.

Polohová měrná energie:

$$E_z = g \cdot z \quad (46)$$

kde z = výška těžiště průřezu od základní vztažné roviny.

Tlaková měrná energie:

$$E_p = \frac{p}{\rho} \quad (47)$$

kde p = tlak.

Kinetická měrná energie:

$$E_v = \frac{v^2}{2} \quad (48)$$

kde v = rychlost proudění.

Když tyto vztahy dosadíme do (45) dostaneme:

$$E = g \cdot z + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} \quad (49)$$

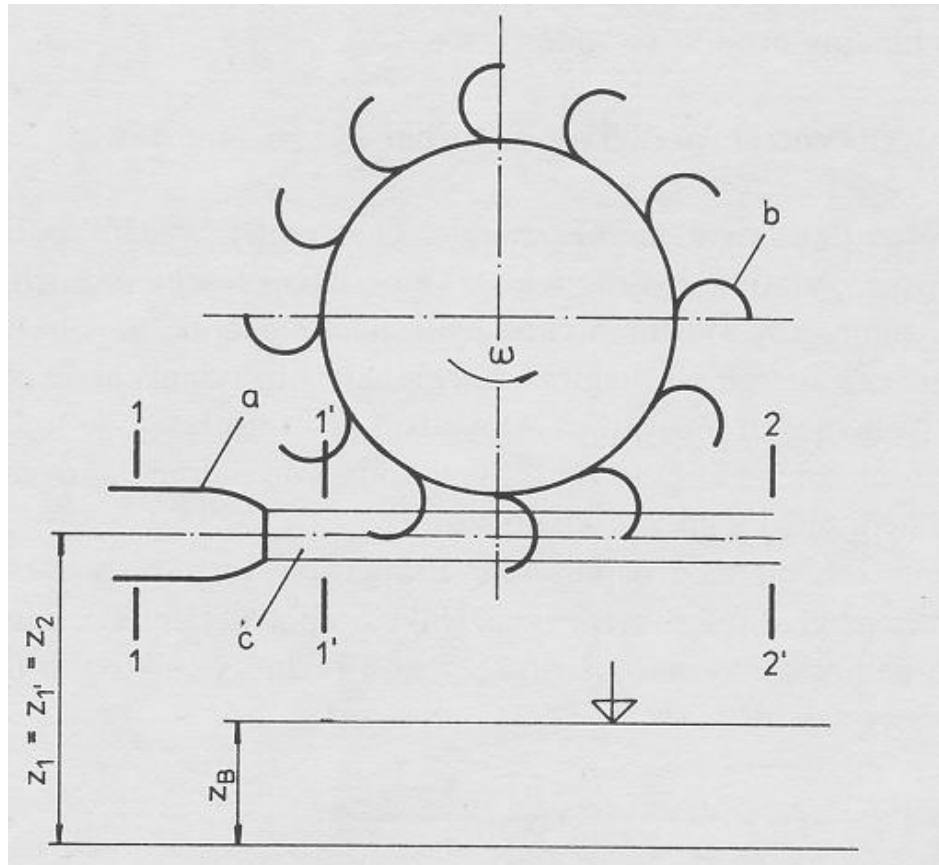
U reálné kapaliny nám tok ovlivňují třecí ztráty. energii, nutnou pro překonání ztrát nazýváme disipovanou měrnou energií E_d . Určíme ji vztahem [16]:

$$E_d = k \cdot v^2 \quad (50)$$

kde k = konstanta.

3.4.1 Měrná energie u rovnotlakých turbín

Rovnotlaké turbíny využívají kinetickou měrnou energii. Patří sem Peltonova turbína (obrázek 8), té se týkají následující vztahy.



Obrázek 8 Průřez Peltonovy turbíny [16]

1 – vstupní průřez turbíny, 1' – průřez před vstupem do oběžného kola,

2 – výstupní průřez, a – dýza, b – oběžná lopatka, c – vodní paprsek

Měrnou energii průřezů určíme vztahy:

$$E_1 = \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} \quad (51)$$

kde p = tlak tekutiny,

v = rychlost tekutiny,

ρ = hustota tekutiny.

$$E_{1'} = \frac{p_{1'}}{\rho} + \frac{v_{1'}^2}{2} \quad (52)$$

$$E_2 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} \quad (53)$$

Polohové výšky jsou si rovny. Součet polohové, tlakové, kinetické a disipované energie je v každém z těchto průřezů stálý:

$$E_1 = E_{1'} + E_{d_{1-1'}} = E_2 + E_{d_{1-2}} \quad (54)$$

Pomocí atmosférického tlaku p_b si vyjádříme hodnoty pro tlak v průřezech:

$$p_1 = p_1^* + p_b \quad (55)$$

$$p_{1'} = p_2 = p_b \quad (56)$$

Dosadíme do vztahu (54) a dostaneme:

$$\frac{p_1^*}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{v_{1'}^2}{2} + E_{d_{1-1'}} = \frac{v_2^2}{2} + E_{d_{1-2}} \quad (57)$$

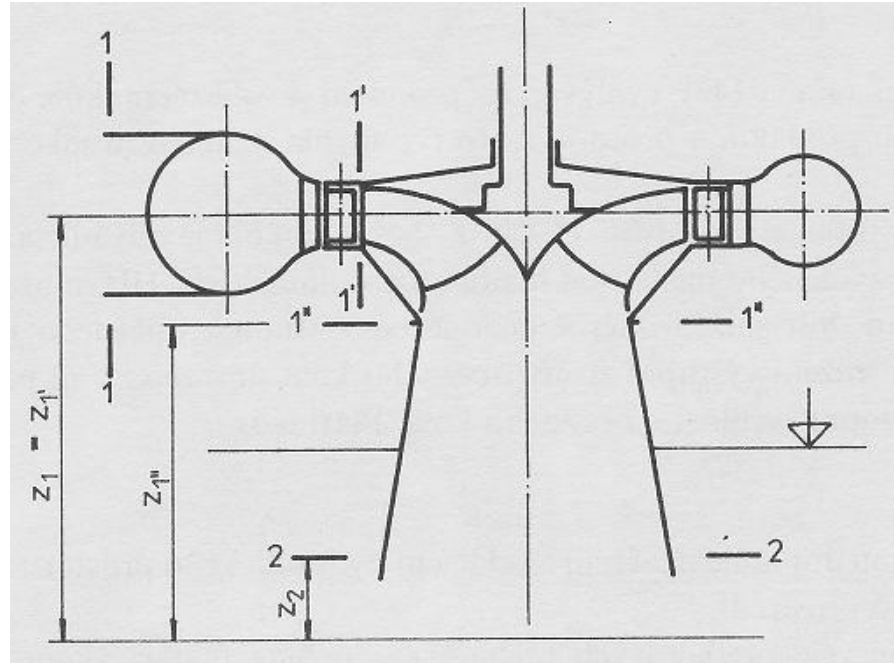
Celková měrná energie se přeměňuje v dýzách na kinetickou měrnou energii. Při atmosférickém tlaku se přenášejí hydraulická energie na oběžné kolo mění na energii mechanickou. Rovnotlaké turbíny se jim říká, protože při vstupu a výstupu z oběžného kola platí rovnost tlaků (56).

Měrnou energii rovnotlaké turbíny určíme vztahem [16]:

$$E = \frac{p_1^*}{\rho} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \quad (58)$$

3.4.2 Měrná energie přetlakových turbín

Hydraulická energie se přenáší na oběžné kolo a k její přeměně na energii mechanickou dochází v uzavřených a izolovaných prostorech. Voda vstupující do oběžného kola má zbytkovou hodnotu měrné tlakové energie a ta se mění na kinetickou energii.



Obrázek 9 Průřez přetlakové turbíny [16]

1 - vstupní průřez turbíny, 1' - vstupní průřez oběžného kola,
1'' - výstupní průřez oběžného kola, 2- výstupní průřez turbíny

Vztahy zde se týkají Francisovy turbíny (obrázek 9). Hodnoty celkových měrných energií pro průřezy:

$$E_1 = z_1 \cdot g + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} \quad (59)$$

kde z = polohová výška,

g = tíhové zrychlení,

p = tlak,

ρ = hustota,

v = rychlost.

$$E_{1'} = z_{1'} \cdot g + \frac{p_{1'}}{\rho} + \frac{v_{1'}^2}{2} \quad (60)$$

$$E_{1''} = z_{1''} \cdot g + \frac{p_{1''}}{\rho} + \frac{v_{1''}^2}{2} \quad (61)$$

Díky zákonu zachování energie vyjádříme vazbu měrných energií v průřezu 1-1 a 1'-1':

$$E_1 = E_{1'} + E_{d_{1-1'}} \quad (62)$$

A pokud jsou si polohové výšky rovny $z_1 = z_{1'}$, upravíme tvar vztahu na:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_{1'}}{\rho} + \frac{v_{1'}^2}{2} + E_{d_{1-1'}} \quad (63)$$

K přeměně části tlakové měrné energie na kinetickou energii dochází v rozváděcím ústrojí a platí přitom [16]:

$$p_1 > p_{1'} > p_2 \quad (64)$$

4 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ VHODNÉ PRO MALÉ TOKY

V této kapitole se podíváme, jak se vodní motory postupem času vyvíjely a zdokonaľovaly. Jak se turbíny dělí a z čeho se skládají. V poslední části se podíváme na turbíny vhodné pro malé vodní elektrárny.

4.1 Historie vodních motorů

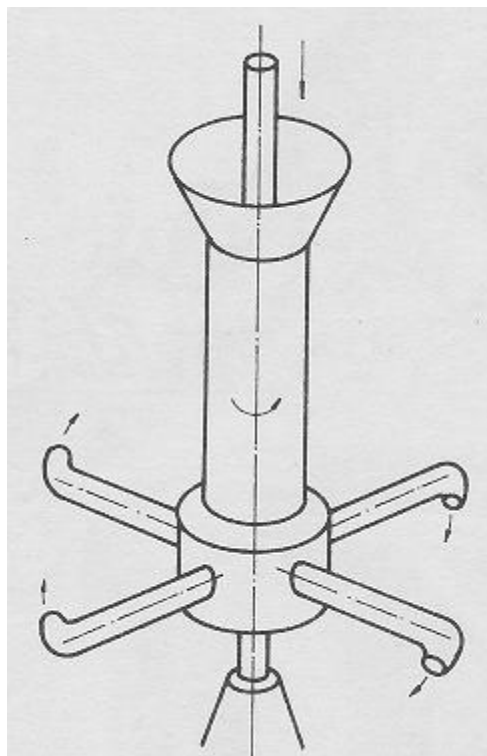
Vodní energie se využívala jako pohon už před mnoha lety. První zmínka je o nich už ve 2. století př. n. l. v Ilyrii. Zde postavili vodní kolo s vertikální hřídelí. Jedná se o první využití pohonu vodou.

Mezi první stavitele vodních kol, patří Vitruvius Pollio, který v 1. st. př. n. l. postavil vodní kolo s horizontální osou a přenosem otáčení na mlýnské kameny, které byly postaveny vertikálně.

Později se vodní kola začali stavět v širší míře k ulehčení práce, například pro mletí obilí. Čím dále budeme postupovat v čase, tím více vidíme lepší a dokonalejší stroje, jak se vše zdokonaľovalo a vylepšovalo.

V 11. století na Jadranu byla vodní kola poháněna přílivem a odlivem. Ve 14. století zase vznikla vodní kola, která umožňovala až dvojnásobně vyšší výkon než vodní kola z 11. století.

Až v 18. století se před samotným postavením vodního kola na určené místo, experimentovalo a zkoumalo proudění na vybraném místě. Konec tohoto století je nejdůležitější milník v této oblasti, objevila se nová řešení vodních motorů, která pracovala na reakčním principu. Sem patří Barkerův mlýn a Segnerovo kolo (obrázek 10).



Obrázek 10 Segnerovo kolo [16]

V roce 1826 prof. Claude Burdin navrhl, jak by měl vypadat a pracovat vodní motor. Nazval ho „turbinens“ (víry tvořící). Toto dílo bylo základem pro současné přetlakové turbíny. Chybou zde bylo špatné řešení lopatkování, které vedlo k nízké účinnosti. Stroj zdokonalil Benoit Fourneyron v roce 1827, postavil přetlakovou turbínu, která opravdu pracovala. S touto turbínou mohli dosáhnout výkonu až 40 kW.

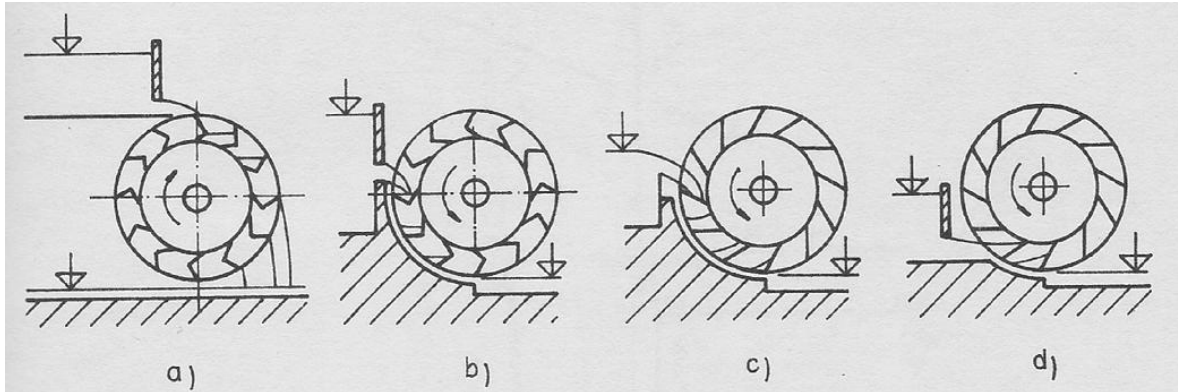
Po tomto roce docházelo u strojů ke zlepšení účinnosti, zvětšovalo se rozmezí parametrů provozu a vylepšovalo se technické řešení. První malé vodní elektrárny byly postaveny v Anglii a Americe v roce 1881. Tyto elektrárny měly za úkol vyrábět energii pro osvětlení. Měly ale bohužel malý výkon. Více vodních elektráren se začalo stavět, až když došlo k dálkovému rozvodu vícefázového střídavého proudu [16].

4.2 Vodní motory

Vodní elektrárnu si můžeme postavit buďto s vodním kolem, nebo s použitím turbíny. Vodní kola patří mezi rotační vodní motory, kde se využívá polohové měrné energie. Kolo se otáčí díky váze vody, která je přiváděna na kolo, naplňuje korečky umístěné na jeho obvodu, ty se poté u dolní hladiny vylévají. Kolo se otáčí působením polohové měrné energie.

Podle přívodu vody se vodní kola dělí (obrázek 11):

- se svrchním nátokem
- středním nátokem
- spodním nátokem



Obrázek 11 Vodní kola [16]

a) se svrchním nátokem, b) se středním nátokem s regulací kulistou, c) se středním nátokem s regulačním přelivem, d) se spodním nátokem

Polohová měrná energie může být před vstupem do kola přeměněna na kinetickou měrnou energii. Takto pracuje vodní kolo Piccardovo a Zuppingerovo [16].

4.3 Vodní turbíny

Turbína je vodní motor, který přeměňuje energii vody na mechanickou energii. Využívá kinetickou a tlakovou měrnou energii vody. Turbín je mnoho typů, mají různé výkony, rozměry a konstrukční řešení podle místa instalace [16].

4.3.1 Složení turbíny

Typ stroje určuje forma a řešení průtočného profilu. Turbína je složena ze tří základních částí. Z oběžného kola, ze zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu a ze zařízení pro odvod vody od oběžného kola [16].

Zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu

V tomto zařízení dochází k částečné nebo k úplné přeměně tlakové měrné energie v kinetickou měrnou energii.

Zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu je složeno z uzávěru přívody vody, na který navazuje spirála ukončená výztužným tělesem tvořícím výztužný horní a dolní kruh s výztužnými lopatkami. K výztužnému tělesu je přiřazen rozvaděč, který se skládá

z lopatkového kruhu horního a dolního, mezi kruhy jsou uloženy rozváděcí lopatky. Rozváděč slouží k regulaci a uzavírá celý stroj, navazuje na něj víko turbíny.

U Peltonovy turbíny se zařízení pro přívod vody nazývá řídicí ústrojí a je řešeno ve tvaru dýzy. V ní je ve vodícím kříži uložena posuvná jehla, sloužící pro regulaci a uzavření průtoku.

Když je zde kruhová lopatková mříž rozváděče, přívod vody je usměrňován a regulován. Proudění vody má určitou rychlost a je rovnoměrné po celém vstupu do oběžného kola.

Pokud je zde dýza, proudění vody je určeno volným kompaktním paprskem vody. Rozdíl konstrukčních částí turbín je vidět na obrázku 12 [16].

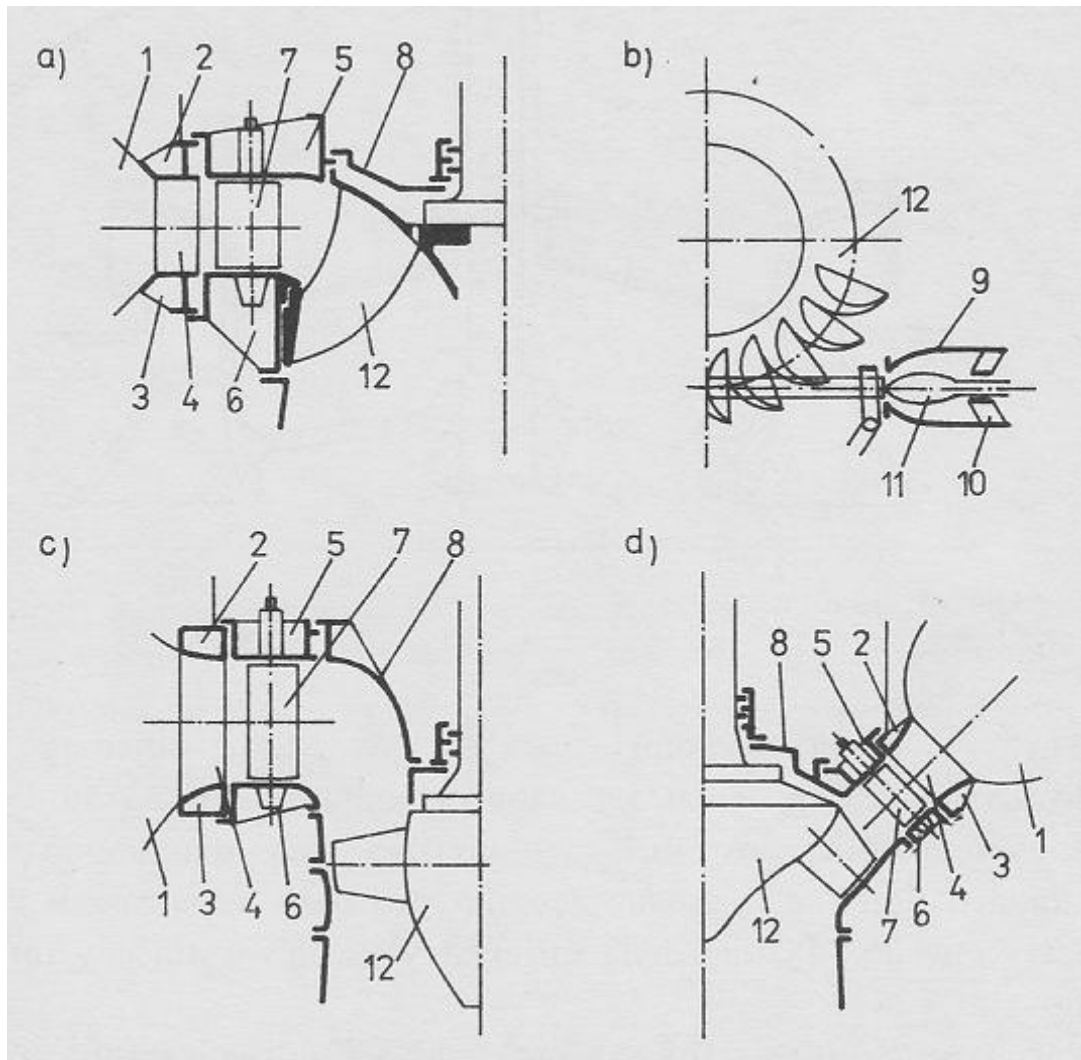
Oběžné kolo

Oběžné kolo slouží k přeměně energie vody v mechanickou energii. K tomuto procesu dochází v jeho kruhově rotující lopatkové mříži [16].

Zařízení pro odvod vody od oběžného kola

U turbín s plným vtokem tuto činnost vykonává difuzor. Má za úkol snižovat rychlost proudění a přeměňovat ji v tlakovou měrnou energii. K snižování tlaku pod oběžným kolem slouží savka, ta účinnost zvyšuje.

U turbín s parciálním vtokem se zařízení pro odtok vody nazývá skříň. Její úlohou je chytat a odvádět vodu z oběžného kola. Tvoří i nosnou konstrukci uložení oběžného kola a celé řídicí části [16].



Obrázek 12 Schéma turbín [16]

a) Francisova turbína, b) Peltonova, c) Kaplanova, d) Dériazova turbína

1 - spirála, 2- horní výztužný kruh, 3- dolní výztužný kruh, 4- výztužná lopatka, 5- horní lopatkový kruh, 6- dolní lopatkový kruh, 7- rozváděcí lopatka, 8- víko turbíny, 9- dýza, 10- vodící kříž, 11- regulační jehla, 12- oběžné kolo

4.3.2 Konstrukční částí malé vodní turbíny

Mezi konstrukční částí malých turbín patří vstupní a výstupní částí turbíny a odvod vody od turbíny. Tyto částí se podílejí na celkové účinnosti přeměny energie [16].

Přívod vody k rozváděcímu ústrojí

Vstupní zařízení má za úkol rovnoměrně rozdělit průtok po celém vnějším obvodu oběžného kola. Tím zaručí symetrické silové zatížení.

Vertikální přetlakové turbíny s průměrem oběžného kola $D < 1$ m jsou umístěné v otevřené kašně. Pracují s měrnou energií $E < 50 \text{ J.kg}^{-1}$. Pomocné brzdící lopatky zde slouží k zamezení vytváření vertikálních vírů.

Symetrickou kašnou může protékat přítok o rychlosti $v=0,8$ až 1 m.s^{-1} . Pokud chceme kašnu pro větší přítok, musím použít excentrické řešení kašny. Spirální kašny slouží pro přetlakové turbíny větších rozměrů. Zde je přítoková rychlost $v < 3 \text{ m.s}^{-1}$. Kotelový přívod patří mezi kašny uzavřené. Ty jsou vhodné pro vyšší hodnoty měrné energie. Tento přívod se používá pro malé turbíny s průměrem oběžného kola $D=0,5$ až 1 m horizontálního provedení.

Nejčastěji se pro přívod k turbíně používá kovová či betonová spirála. Její součástí je výztužné těleso s výztužnými lopatkami, říká se jim předrozváděcí lopatky.

U rovnotlakých turbín se nachází na místě rozváděcího ústrojí dýza. Přívodní potrubí, které přichází k dýze je zde řešeno tak, že průměr tohoto potrubí je trojnásobkem průměru paprsku vody, která vystupuje z dýzy a poloměr zakřivení kolen je dvojnásobkem průměru potrubí.

Přímoproudé turbíny mají vstupní zařízení z potrubí kruhovitého průřezu navazující na uzavírací klapku. Kvůli snížení hydraulických ztrát má tato klapka větší průměr.

Mezi další části vstupních zařízení patří uzávěr. U kašnových turbín a turbín s betonovou spirálou plní tuto funkci rychlouzávěrné nebo obyčejné stavidlo. Kulový uzávěr či klapka se nachází u turbín s kovovou spirálou, u přímoproudých a i u rovnotlakých turbín. Turbíny u drobných vodních elektráren můžou použít uzavírací šoupátka.

Pokud máme velmi malé hodnoty měrné energie, můžeme použít pro přívod vody do spirály a kašny násoskový efekt. Spirála je napojena na vývěvu, ta zajišťuje podtlak důležitý pro vznik tohoto efektu. Tato turbína se nemusí moc zahlubovat a průtok do ní se může přerušit vpuštěním vzduchu do spirály [16].

Odvod vody od turbíny

U přetlakových turbín dělá tuto funkci savka turbíny. Díky savce můžeme využít celkovou polohovou měrnou energii díla a snižuje také výstupní ztráty z oběžného kola. Účinnost savky ovlivňuje zisk, který je získán ze snížení výstupní ztráty. U přímého kuželového provedení má hodnotu $\eta = 0,7 - 0,9$. Savky, které mají koleno, mají účinnost $\eta = 0,6 - 0,85$.

Přímoproudé turbíny používají savky kuželové i savky typu S, které snižují účinnost svým dvojitým změněním směru proudění [16].

4.3.3 Dělení turbín

Abychom využili co nejvíce energie z vodního toku, musíme vybrat vhodnou turbínu, U turbíny je důležitá její účinnost, jaké má meze měrných energií a pro jaké průtoky se hodí. Turbíny můžeme rozdělit takto:

- ❖ Podle způsobu přenosu energie vody: - přetlakové
 - rovnotlaké
- ❖ Podle průtoku vody oběžným kolem: - šikmé uspořádání ústrojí
 - vertikální uspořádání ústrojí
 - horizontální uspořádání ústrojí
- ❖ Podle průtoku vody oběžným kolem: - radiální odstředivé
 - radiální dostředivé
 - axiální
 - radiální axiální
 - diagonální
 - se šikmým průtokem
 - tangenciální
 - s dvojnásobným průtokem
- ❖ Podle měrné energie a výkonu:
 - Podle měrné energie, která se využívá ve vodní turbíně:
 - ◆ Nízkotlaké: $E < 200 \text{ J.kg}^{-1} \Rightarrow$ turbíny Kaplanovy
 - ◆ Středotlaké: $E < 1000 \text{ J.kg}^{-1} \Rightarrow$ turbíny Kaplanovy, Francisovy a Dériazovy

- ◆ Vysokotlaké: $E > 1000 \text{ J.kg}^{-1}$ => turbíny Francisovy, Peltonovy
- Výkonové rozdělení: - velké: $P > 100 \text{ MW}$
 - střední: $P < 100 \text{ MW}$
 - malé: $P < 10 \text{ MW}$
 - drobné: $P < 1 \text{ MW}$

Přetlakové turbíny

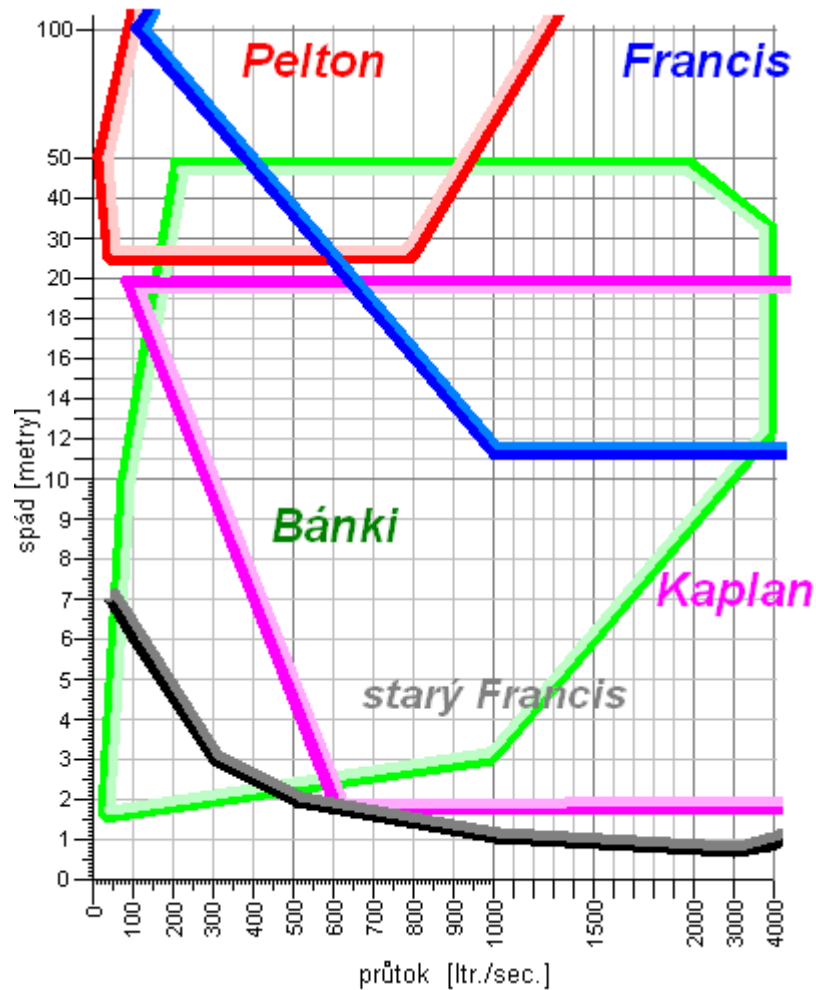
Zařízení pro přívod k oběžnému kolu mění část tlakové měrné energie v kinetickou měrnou energii. Zbytek, což je větší část, se mění, až když voda prochází oběžným kolem. Přetlaková turbína se jí říká kvůli vzniku průtoku působením přetlaku na vstupu do oběžného kola [18].

Rovnotlaká turbína

U těchto turbín dochází v zařízení pro přívod vody k celé přeměně tlakové měrné energie na kinetickou měrnou energii. Na vstupu a výstupu oběžného kola je stejný tlak [9] [18].

4.4 Turbíny vhodné pro malé vodní elektrárny

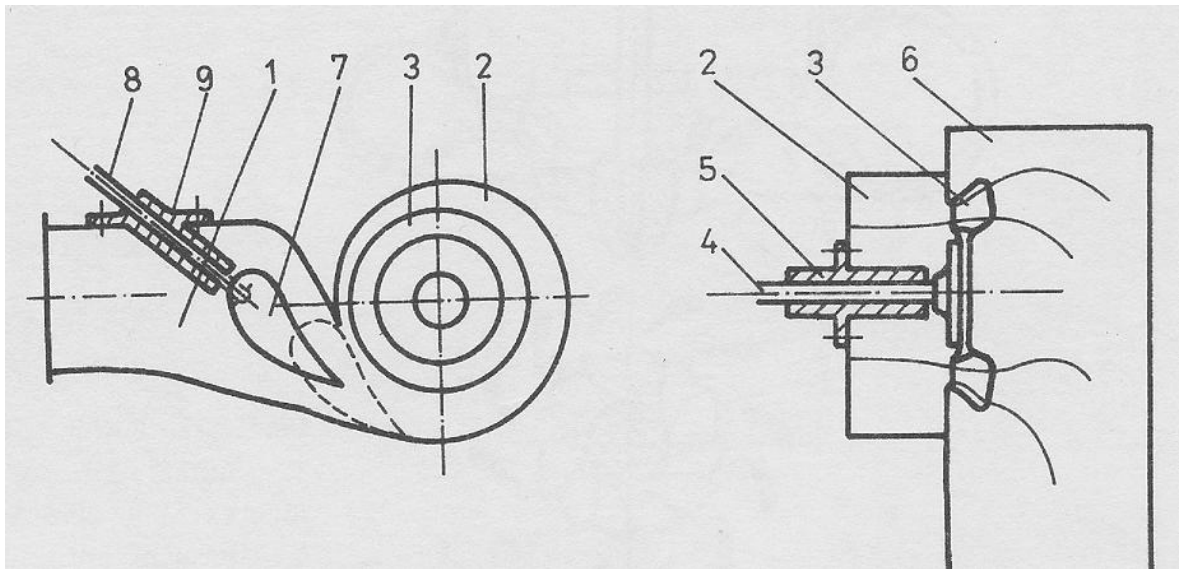
Pro malé vodní elektrárny se používají turbíny rovnotlaké s parciálním vtokem nebo turbíny přetlakové. Rovnotlaké turbíny se vyznačují tím, že voda je vedena k oběžnému kolu lokálně nebo po částech obvodu. Kvůli tomu je vždy určitý úsek lopatek oběžného kola energeticky neefektivní. Proto vznikly turbíny s plným vtokem. Zde je spojitý otisk lopatek po celém obvodu oběžného kola. Zvětšilo se tím průtočné množství a turbíny mají menší rozměry. Na obrázku 13 je vidět rozdělení turbín podle spádu a průtoku [16].



Obrázek 13 Rozdělení turbín podle průtoku a spádu [2]

4.4.1 Reiffensteinova rovnotlaká turbína

Tato turbína (obrázek 14) patří mezi nejstarší typy rovnotlakých turbín. Vstupní těleso přechází do spirály obdélníkového průřezu. V boční stěně se nachází kruhový otvor, z kterého vytéká voda ve formě hyperboloidního paprsku mezikruhového průřezu na oběžné kolo. To je uchycené na hřídeli ležící v ložisku. Do odpadu je tělesem odváděna voda, přicházející z oběžného kola. Regulační jehla slouží k regulaci i jako uzavírací orgán. Je ovládána tyčí vedenou v uložení [16].



Obrázek 14 Reiffensteinova turbína [16]

1 - vstupní těleso, 2- spirála, 3- oběžné kolo, 4- hřídel, 5- ložisko, 6- těleso, 7- regulační jehla, 8- ovládací tyč, 9- uložení ovládací tyče

4.4.2 Peltonova turbína

Peltonova turbína (obrázek 15) patří mezi rovnotlaké turbíny. Má jednoduché hydraulické a konstrukční řešení. Může se použít pro okrajové hodnoty průtoků a měrné energie. Najdeme ji v průmyslových či drobných vodních elektrárnách. U drobných vodních elektrárn se používá pro měrné energie o velikosti $E > 200 \text{ J.kg}^{-1}$ a pro průtoky $Q = 0,01$ až $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nejčastěji se používá ve vysokohorských oblastech a na horních tocích.

Rozváděcí ústrojí je tvořeno dýzou, z ní ve tvaru volného paprsku kruhového průřezu vychází voda. Ta ostříkuje v roztečném průměru lopatky oběžného kola. Zde se přeměňuje celková měrná energie na kinetickou.

Oběžné kolo je složeno z náboje, po obvodu má oběžné lopatky ve tvaru dvojice korečků symetricky položených k rovině kolmé na osu otáčení oběžného kola. V této rovině leží i osa dýzy.

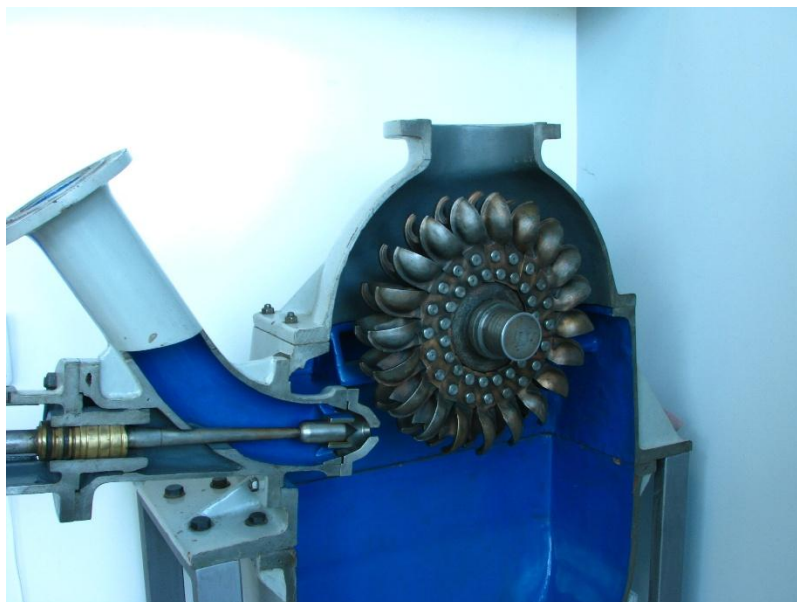
Účinnost Peltonovy turbíny je ovlivňována účinností dýzy, hydraulickou ztrátou v oběžném kole a poměrem absolutní unášivé rychlosti na vstupu. Optimální hodnota je

$$\Psi = \frac{u}{c_1} = 0,46 \text{ až } 0,49 \quad (65)$$

Charakteristikou těchto turbín je dosažení optima účinnosti u všech typů hydraulického řešení. Jednotkové otáčky mají hodnotu $\eta_{11} = 0,20$ až $0,23$.

Výkon je regulován změnou průtoku. K tomu dochází při otvírání a zavírání výtokového otvoru dýzy osovým posuvem jehly. Její rychlost je nastavena tak, aby nedošlo k nebezpečnému zvýšení tlaku v přívodním potrubí. Používá se k tomu dvojitá regulace. Ta spočívá v tom, že pohyb jehly je kombinován s pohybem deflektoru nebo deviátoru, který působí na paprsek. Deviátor je vhodnější pokud tomu prostor dovolí, je méně náročný pro řešení velikosti zdvihu. Kvůli své jemnější regulaci, se ale spíše používá deflektor.

U Peltonových turbín malých výkonů a tam, kde je konstantní zatížení, můžeme použít dýzy bez možnosti regulace. Kulový uzávěr nebo šoupátko, které je před dýzou, slouží k najíždění a odstavení turbíny [16].



Obrázek 15 Peltonova turbína

4.4.3 Bánkiho turbína

Tato turbína je radiální s dvojnásobným průtokem patřící také mezi rovnotlaké turbíny (obrázek 16). Díky svému rozsahu vhodnosti pro měrnou energii $E = 10 - 2000 \text{ J.kg}^{-1}$, hodnot průtoku $Q = 0,02$ až $9 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ a výkonovým rozmezím $P = 1 - 1000 \text{ kW}$ se může turbína použít ve velké oblasti malých vodních elektráren.

Voda vstupuje do vstupního tělesa, z něj je přiváděna k vnějšímu obvodu oběžného kola, protéká lopatkou do tělesa turbíny. To je spojeno s odpadní šachtou či savkou. Oběž-

né kolo se nachází na horizontální hřídeli. Klapka slouží k regulaci průtoku ve vstupním tělese. Na tělese turbíny nalezneme dále zavzdušňovací ventil.

Oběžné kolo je tvořeno kruhovými deskami, po obvodu jsou mezi nimi oběžní lopatky. Voda protéká oběžným kolem dvakrát. První průtok je dostředivý a druhý odstředivý. Díky druhému průtoku se turbína zařadila mezi rovnotlaké. První průtok je totiž přetlakový. Při dvojitým průchodu vody dochází k rozdílnému využití energie vody. Pokud je vstupní úhel oběžného kola $\beta_1 = 30^\circ$ a maximální hydraulická účinnost $\eta_{hmax} = 0,929$ využívá se v prvním průtoku měrná energie

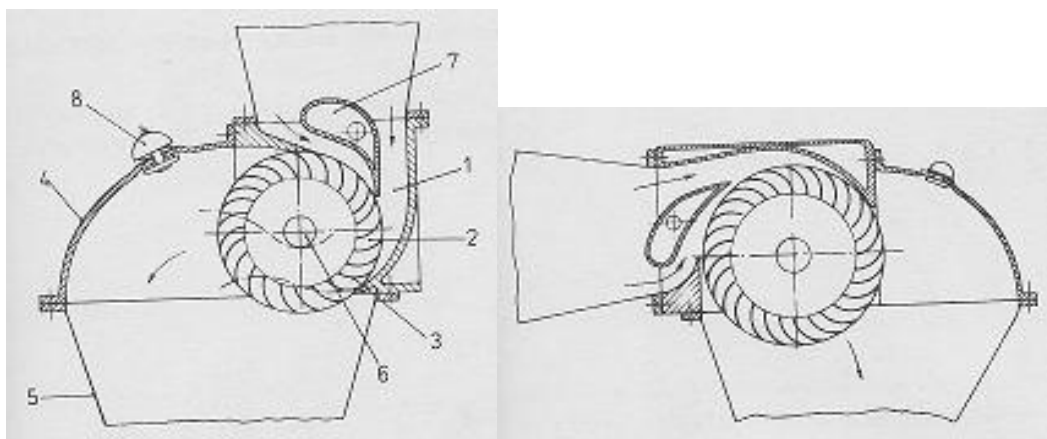
$$E_1 = 0,732 \cdot E \quad (66)$$

Ve druhém průtoku bude

$$E_2 = 0,197 \cdot E \quad (67)$$

Nejvíce energie turbíny se tedy využije při prvním průtoku. K regulaci průtoku a výkonu slouží části vstupního tělesa, mezi něž patří segmentový uzávěr a regulační klapka.

Bánkiho turbína patří k hydraulicky, konstrukčně a technologicky nejjednodušším vodním turbínám, hodící se pro všechny typy malých vodních elektráren. Může se použít i do extrémně hydrologických poměrů [16].



Obrázek 16 Bánkiho turbína [16]

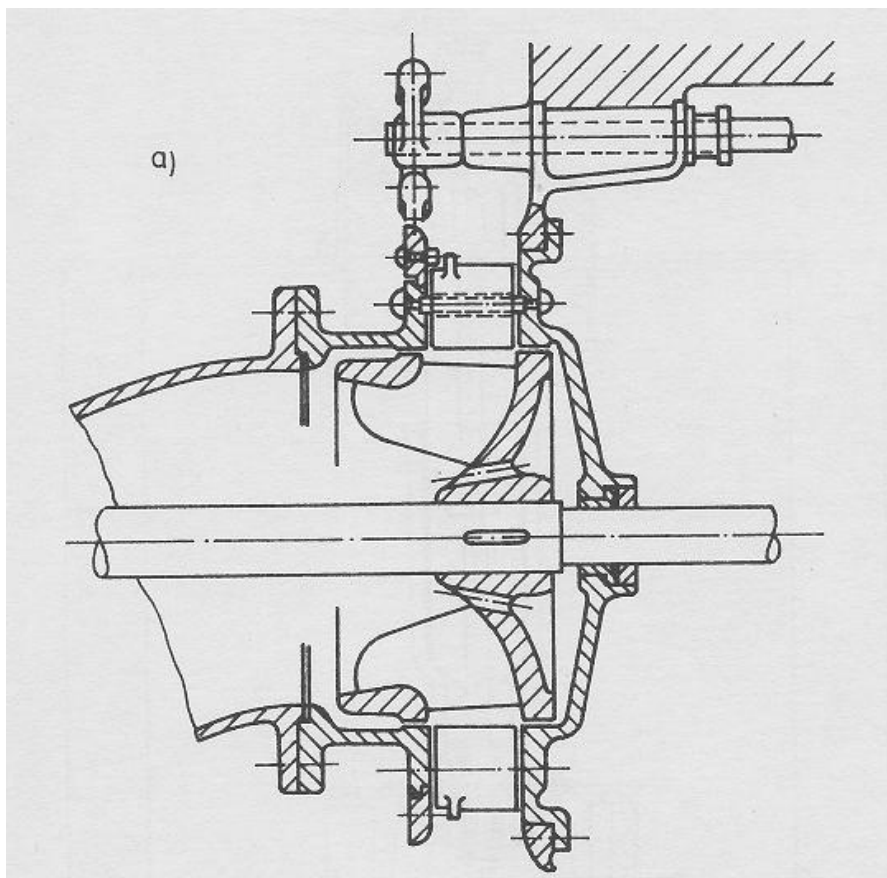
1- vstupní těleso, 2- oběžné kolo, 3- lopatka oběžného kola, 4- těleso turbíny, 5- savka, 6- hřídel, 7- regulační lopatka, 8- zavzdušňovací ventil

4.4.4 Francisova turbína

Dříve patřila Francisova turbína mezi nejrozšířenější typ přetlakové turbíny. Používala se při měrných otáčkách $\eta_q = 0,05$ až $0,36$ a pro měrné hodnoty $E > 20 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dnes se

turbína používá pro měrné energie o hodnotě $E = 50$ až 3000 J.kg^{-1} a měrné otáčky jsou jen $\eta_q = 0,08$ až $0,26$. Používá se na vyšších a středních tocích.

Na horizontální kašnové turbíně (obrázek 17) jsou vidět charakteristické znaky konstrukčního řešení. Oběžné kolo je složeno z věnce, náboje a oběžných lopatek, Mezi nimi je uloženo pero na průchozí hřídeli. Dále je zde válcová těsnící plocha, která je na věnci a náboji. S plochami na víku a dolním lopatkovém kruhu tvoří těsnící spáru. Ta slouží pro snižování objemových ztrát. Odlehčovací otvory na náboji snižují axiální zatížení oběžného kola vyrovnáváním tlaku. Otvory musí být ideálně vzdáleny od osy turbíny a nesmějí ústít do kanálu oběžného kola. Lopatkový kruh je tvořen nosným víkem, které je uchyceno na zabetonovaný pozední kruh do stěny kašny a druhým víkem napojeným na savku. Osazené čepy tyto víka spojují, na nich jsou otočně uloženy rozváděcí lopatky. Ty se mohou natáčet díky táhelkům regulačního kruhu ovládanými táhly spojenými s regulačním srdcem, které je připevněno na hřídeli. Ovládá se ručně či regulátorem. Hřídel najdeme utěsněnou ucpávkou v nosném víku turbíny.



Obrázek 17 Horizontální kašnová Francisova turbína [16]

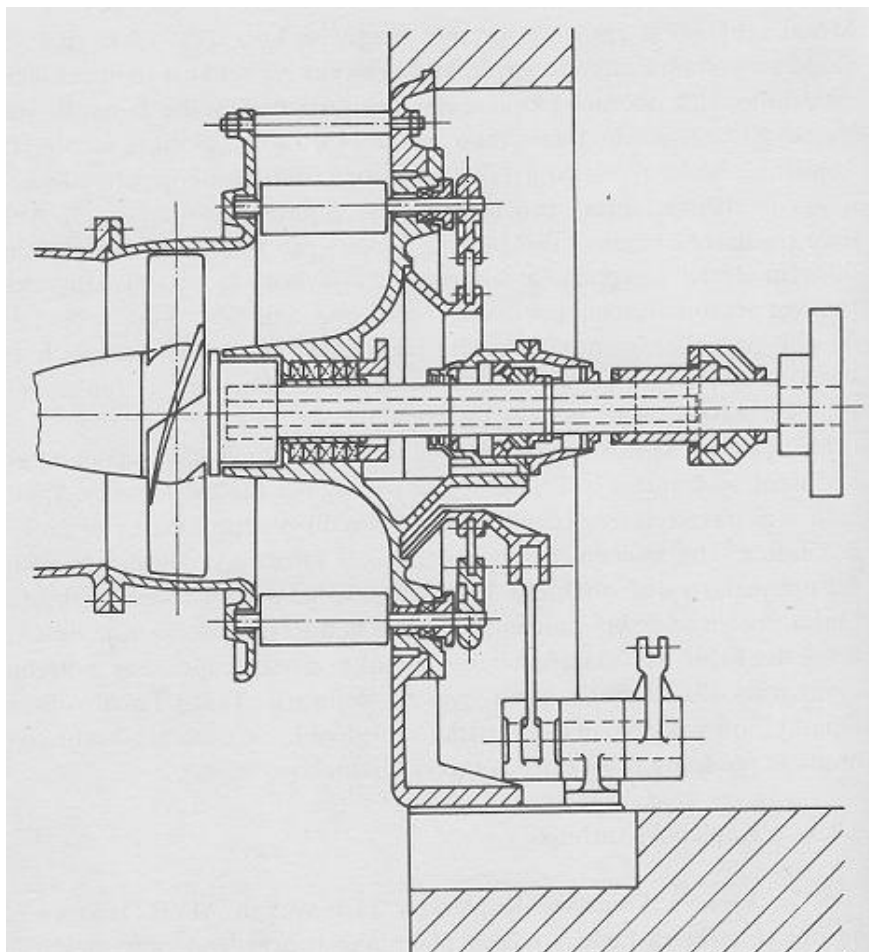
Dnes se používá spíše vertikální řešení kašnové turbíny. Jsou pro měrné energie o hodnotě $E_{\max} = 120 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ a $Q_{\max} = 30 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto turbíny mají regulovatelný rozvaděč, generátor a planžetovou převodovku se zabudovaným axiálním ložiskem. Válcový kryt chrání hřídel.

Mezi další možnosti Francisovy turbíny patří spirální turbíny. Používají se pro oběžná kola o velikosti $D = 1250 \text{ mm}$, kdy má měrná energie velikost $E = 200$ až $3000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ a $Q = 0,6$ až $17 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ [16].

4.4.5 Kaplanova turbína

Kaplanova turbína je charakteristická svým axiálním průtokem oběžným kolem. Její hmotnost je menší než Francisova turbína. Používá se na středních a dolních tocích, díky své regulaci využívá dobře hydroenergetický potenciál.

Pro malé vodní elektrárny se používá turbína s horizontálním kašnovým uspořádáním (obrázek 18) s vnější regulací rozvaděče. Lopatky oběžného kola se ovládají pomocí ovládacího mechanismu. Oběžné kolo se může upravovat jen za klidu, při provozu se může jen upravit otevření rozvaděče. Tuto turbínu můžeme použít pro hodnoty měrné energie $E = 15$ až $50 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, pro průtok $Q = 0,5 - 6 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ [16].



Obrázek 18 Horizontální kašnová Kaplanova turbína [16]

4.4.6 Miniturbína

Miniturbínu můžeme nalézt i pod názvem odvalovací turbína či SETUR. Rozlišujeme dva typy miniturbín. Jednou z ní je miniturbína s podepřeným rotorem, druhá má rotor zavěšený. Dochází zde k různému obtékání rotoru, odvalovací jev bude mít kvůli tomuto různé podmínky. Uspořádání dále ovlivňuje možnosti, kde můžeme turbínu použít, má vliv i na parametry stroje.

Hlavní částí miniturbín je rotor a stator. Tyto části tvoří koncentrický difuzor, který se při průtoku vodou mezerou mezi nimi mění na excentrický.

Při průtoku vody jde rotor směrem ke stěně statoru a je unášen v radiálním směru. To zapříčiní jeho odvalování na statoru a následné otáčení. Díky spojení rotoru s hřídelí, se i ona otáčí. Je připojena v závěsném ložisku, může se tak otáčet a i vychylovat všemi směry. Rotor a hřídel spolu dělají procesní pohyb. Při tomto pohybu rotují kolem podélné osy, ta opisuje v prostoru povrch kužele, který se nachází v závěsném ložisku. Při oběhu se ro-

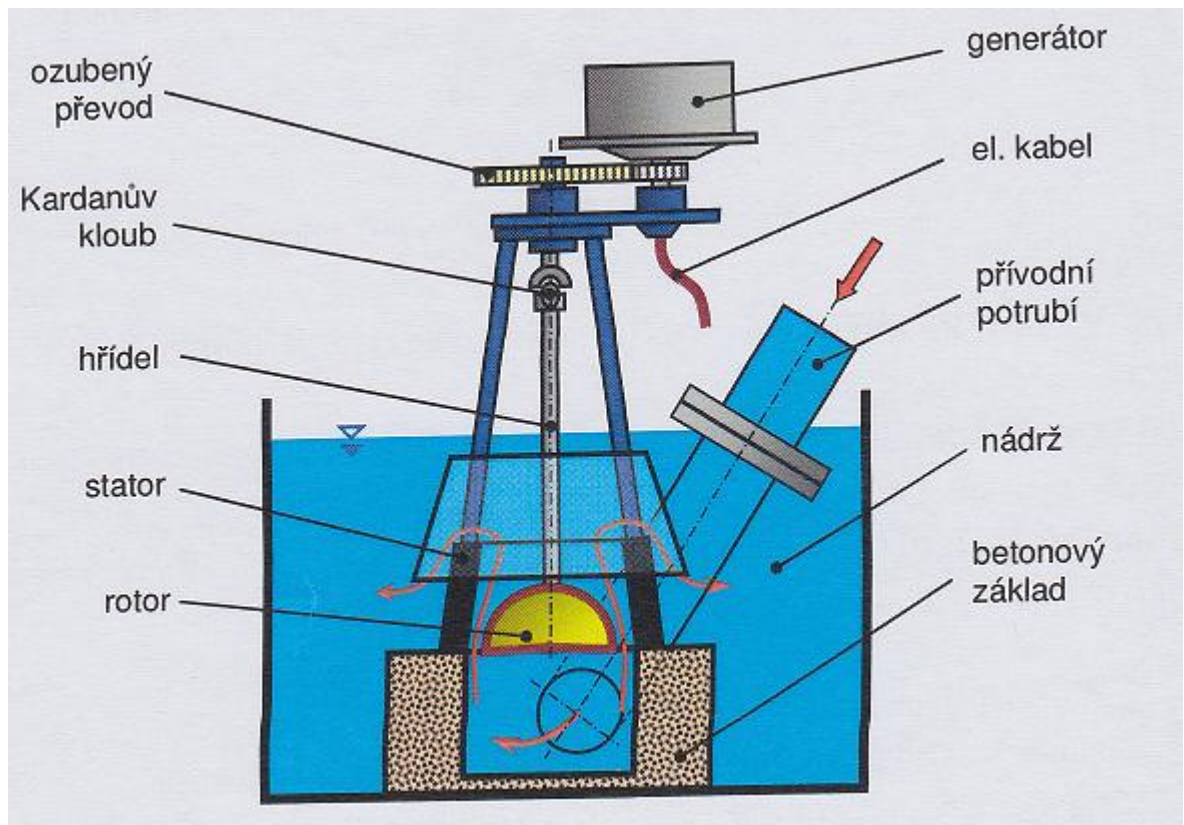
tor a hřídel otočí o určitý úhel. Kvůli menšímu průměru rotoru je potřeba více otočení pro dosažení otočení o 360° [13].

DVE 120

Zkratka DVE znamená domácí vodní elektrárna a číslo 120 nám udává průměr rotoru v milimetrech. Turbína (obrázek 19) je vhodná pro spád 2-20 m a pro průtok $0,004 - 0,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ($4 - 20 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$).

Patří k turbínám, které mají podepřený rotor. Voda přitéká potrubím do části pod turbínu, dále postupuje do prostoru statoru. Na styčných plochách rotoru a statoru je ozubení, to zamezuje prokluzu a následnému snížení účinnosti.

Při průchodu pracovním prostorem se mění hydraulická energie na mechanickou a jde do nádrže. Ta je vytvořena uměle nebo přirozeně. Voda, která vytéká, tvoří dolní odtokovou hladinu a zaplavuje stator s rotorem. Mechanická energie se přenáší z rotoru pomocí hřídele na ozubené soukolí a dále jde k elektrickému generátoru. Spodní část je tvořena ze základového podstavce, který je zabetonovaný, ústí do něj armatura pro přívod vody. Příruby na vstupním hrdle slouží k připojení přívodního potrubí [13].



Obrázek 19 DVE 120 [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PRŮZKUM TRHU S MALÝMI VODNÍMI ELEKTRÁRNAMI

V této kapitole se budeme zabývat možnostmi koupě produktů pro malé vodní elektrárny. Podíváme se na náš český trh, ale i na trh za hranicemi naší země.

5.1 Trh v České republice

V České republice se nachází mnoho firem, které se zabývají jak samotnou stavbou malých vodních elektráren, tak i prodejem částí pro elektrárny. Uvedeme si zde ty větší z nich., vyskytující se na našem trhu delší dobu.

5.1.1 Elzaco Šumperk

Firma Elzaco Šumperk je už na českém trhu od roku 1991. Kromě malých vodních elektráren se zabývá elektrárnami větrnými, pracuje v oblasti energetiky a stavby jednoúčelových strojů.

U malých vodních elektráren se mohou postarat o vypracování studie, zda na námi vybraném místě je možné elektrárnu vybudovat. Vypracují projektovou dokumentaci, zpracují žádost o dotace EU, dále dělají záruční i pozáruční servis.

Elektrárny navrhují pro spád od 1 m do 300 m a o výkonech od 5kW do 5MW. Ceny zde uvedené nejsou. Tu napíše až po vyplnění jejich dotazníku. Na stránkách mají uvedené a popsané některé své vypracované zakázky [19].

5.1.2 SH Control s.r.o.

Firma SH Control začala svou činnost v roce 1992. V oblasti malých vodních elektráren se věnuje jejich řízení, pracuje se synchronními a asynchronními generátory, provozuje elektrárny v ostrovním chodu i v chodu s několika turbínami.

Jejich přesnou náplní je realizace technologického zařízení a to buď celého na klíč, nebo dodají jen ty části, které si zákazník žádá. Provoz elektrárny zautomatizují tak, aby byl využit celý hydroenergetický potenciál toku. Postarají se, aby nedošlo k přetížení elektrárny, zajistí frekvenční, přepětíovou a nadproudovou ochranu a mnoho dalších technologií. Zoptimalizují chod turbín pro maximalizování výroby elektrické energie. Umožní ovládat elektrárnu dálkově, přes internet či GSM komunikaci. Ceny výrobků a montáže jsou na vyžádání [20].

5.1.3 CINC Hydro-Energy k.s.

Firma CINC se zabývá technologií pro malé a střední vodní elektrárny. Prodávají průtokovou turbínu Crossflow, Kaplanovu, Peltonovu a Francisovu turbínu. Vše do výkonu 5 MW. Specializují se na instalaci elektráren v systémech pitné vody.

Všechny turbíny vyrobí na míru podle potřeb zákazníka. Každá z nich je zde detailně popsána, jak pracuje, do jakého spádu a průtoku se dá použít a je zde i obrázek každé z turbín. Mezi další produkty patří čistící stroje česlí s příslušenstvím, uzavírací klapky nátoku, potrubní a ocelové konstrukce, převodovky, spojky, rozvaděče generátoru a další potřebné věci pro elektrárnu.

Celou vodní elektrárnu nejen navrhnou, ale i sestrojí. Pro zjištění ceny je potřeba vyplnit dotazník s poptávkou [21].

5.1.4 ČKD Blansko Engineering

Tato firma dodává zařízení nejen pro vodní elektrárny, ale i pro čerpací stanice. Na trh přináší klasické a reversní turbíny až do výkonu 500 MW, čerpadla, potrubní uzávěry a ocelové konstrukce pro vodní stavby. Zaměřuje se i na projekční a konstrukční zpracování, hydraulický návrh, udělá modelové zkoušky, montáž i garanční měření díla. Dále se zaměřuje na rekonstrukce starých vodních děl a opravuje staré stroje. Konstrukční produkty firmy jsou Peltonovy, Kaplanovy a přímoproudé turbíny, Francisovy, čerpadlové turbíny i malé vodní turbíny pro malé vodní elektrárny. U každé turbíny je napsáno pro jaký spád a průtok se hodí a jaké mají průměry oběžných kol. Ceny zde uvedené nemají [22].

5.1.5 Hydropol Project & Management a.s.

Firma Hydropol je na trhu od roku 1994. V jejím zájmu jsou střední a malé vodní elektrárny, dále se zajímá o jezy, přehrady a přivaděče. Realizují projekty od začátku. Vypracují projektovou dokumentaci, udělají průzkum místa, zařídí všechny licence a povolení. Specializují se na složité rekonstrukce, dodávají i jednotlivé turbíny a další komponenty pro vodní elektrárny [23].

5.1.6 E-shop wind-solar.cz

E-shop wind-solar.cz se zabývá prodejem větrných turbín, solárními panely a turbínami pro malé vodní elektrárny. Nalezneme zde turbíny o výkonu od 300 W do 5 kW. Každá turbína je zde detailně popsána, jsou zde informace o spádu, průtoku a její velikosti.

Dále zde inzerují prodej automatického regulátoru napětí. Cena turbín se pohybuje od 19 000 až do 95 000 korun [24].

5.1.7 MECHANIKA Králův Dvůr

Tato firma se zabývá výrobou a prodejem miniturbíny SETUR, o které se autorka této práce už zmínila. MECHANIKA má sídlo v Králově Dvoře. Vyrábí turbíny SETUR DVE 120 a DVE 120 AG. Cena turbíny DVE 120 je od 42 000 korun bez DPH [25].

5.1.8 Další zdroje

Pro domácí pokusy z vodní mikroelektrárny se dá na stránkách ucebnipomucky.net pořídit malá Peltonova turbína (obrázek 21), nebo malá vodní mikroelektrárna jako celek (obrázek 20). Peltonova turbína obsahuje dynamo 6V AC, které slouží jako generátor. Model elektrárny stačí připojit k vodě a dodá nám napětí 6 V a výkon o velikosti 3 W. Model je schopen rozsvítit malou žárovku [26].



Obrázek 20 Model vodní elektrárny [26]



Obrázek 21 Peltonova turbína [26]

5.2 Trh ve světě

Komponenty k vodním elektrárnám můžeme koupit nejen u nás, ale i v zahraničí. Zde je vypsáno pár firem pro příklad.

5.2.1 GLOBAL Hydro

Rakouská firma zabývající se malými vodními elektrárnami. Specializuje se na Kaplanovu, Peltonovu a Francisovu turbínu. Komponenty jsou vyráběny a montovány ve firmě, která sídlí ve vesnici Niederranna. Exportují až 90% výrobků do zahraničí.

Na stránkách je možnost si zjistit jaká turbína je pro nás vhodná. Stačí zadat do kalkulatoru naši hodnotu průtoku a velikost spádu [27].

5.2.2 TECHYDRO

Techydro je italská firma specializující se na vodní elektrárny. Zaměřují se na renovaci a opravu mlýnských kol, poradí s problémy a potížemi v elektrárně, provádějí technickou analýzu, navrhnu turbínu přesně na míru našim požadavkům. V galerii na stránkách mají k prohlédnutí několik zhotovených zakázek [28].

5.2.3 Koupě na Ebay

Další možností je koupě vodní mikroelektrárny na internetových stránkách ebay.com. Malou 12 V mikro vodní turbínu zde můžeme koupit od 160 korun (obrázek 22). Podle popisu, by měla být po připojení k hadici venkovní či sprchové, schopna napájet LED žárovku, nebo dobít telefon. Výrobek pochází z Číny a na některých videích je vidět, že žárovku rozsvítí, ale dobít akumulátor už nezvládá [29].



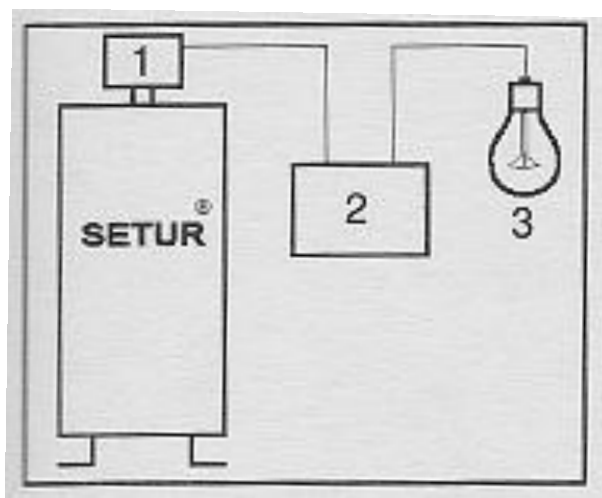
Obrázek 22 DC12V mikro vodní turbína [29]

6 NÁVRH VODNÍ MIKROELEKTRÁRNY

Jako první si zde popíšeme, kde všude námi vyrobenou elektrickou energii můžeme použít. Dále v této kapitole zjistíme, jestli je možné na autorkou práce zvoleném místě postavit malou vodní elektrárnu. Zda je zde průtok a spád dostatečný pro výkon a jestli se stavba vyplatí z ekonomického hlediska. Hodnoty zde napsané platí pro stávající rybník, letos ho má obec v plánu odbahnit a upravit, takže hodnoty průtoku se asi trochu změní.

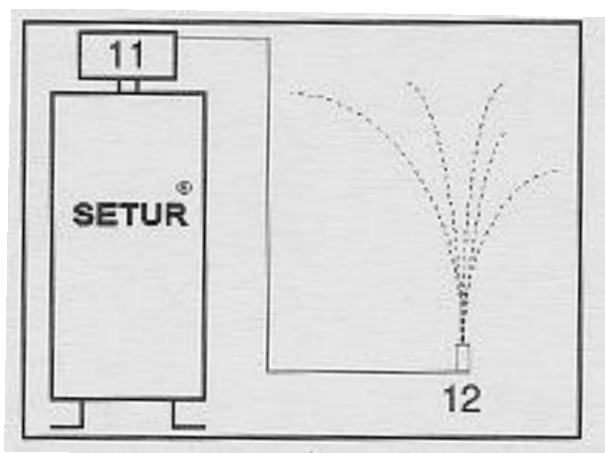
6.1 Možnosti využití energie

Jak využít elektrickou energii z turbíny je několikero variant. Můžeme ji využít pro osvětlení (obrázek 23), kdy je generátor připojen přímo na světla, nebo pokud potřebujeme úpravu napětí, můžeme napětí stabilizovat. Dále je turbína vhodná pro připojení k čerpadlu (obrázek 24), toto připojení nám pak umožňuje čerpat a ukládat vodu do vodojemu, nebo s ním můžeme zavlažovat zahradu. Při připojení akumulátoru s regulátorem (obrázek 25) může napájet i více zařízení najednou. Když přidáme střídač napětí (obrázek 26), je elektrárna vhodná pro napájení celé domácnosti [13].



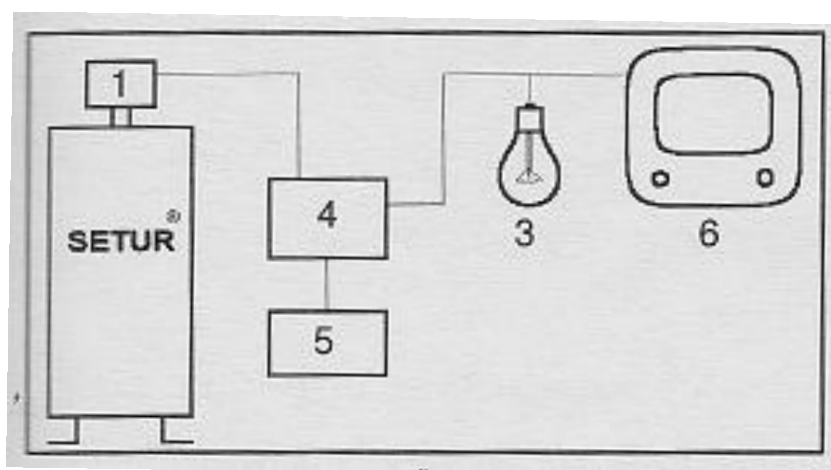
Obrázek 23 Využití pro osvětlení [13]

1 – generátor, 2 – usměrňovač, 3 – odporový spotřebič



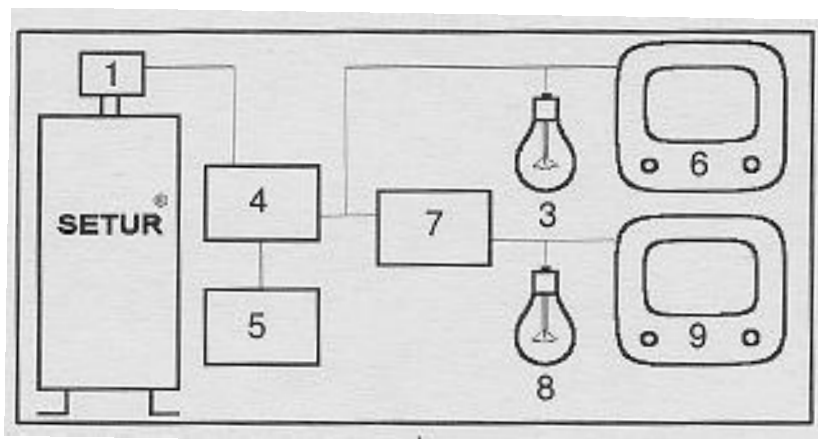
Obrázek 24 Spojení s čerpadlem [13]

11 – čerpadlo, 12 - zavlažovač



Obrázek 25 Zapojení s akumulátorem [13]

1 – generátor, 4 – usměrňovač a regulátor, 5 – akumulátor,
3 – odporový spotřebič, 6 – spotřebič 12 V



Obrázek 26 Zapojení se střídačem napětí [13]

1 – generátor, 4 – usměrňovač a regulátor, 5 – akumulátor, 7 – střídač,
 3 – odporový spotřebič, 8 – odporový spotřebič s 220 V, 6 – spotřebič
 s 12 V, 9 - spotřebič

6.2 Na co všechno můžeme použít energii z mikroelektrárny

V této části se podíváme, na co všechno vlastně energii získanou z vody můžeme použít. Zde se podíváme na hodnoty od 1W do 1000 W.

6.2.1 1000 Wattů

Zdroje energie 1000 W v kombinaci s elektrorozvodnou sítí lze využít k pokrytí spotřeby celé domácnosti i s ohřevem vody. Jsou vhodné pro čerpání vody, při použití s odstředivým čerpadlem načerpá za den 120 000 litrů, případně za den ohřeje 390 litrů vody na 60 °. Je taktéž možné použití pro provoz drtiče větví, nebo pásového dopravníku.

6.2.2 500 Wattů

Výkon vhodný pro provoz domácnosti v kombinaci s elektrorozvodnou sítí, bez ohřevu vody. 190 litrů vody o teplotě 60° ohřeje za den. Dá se použít pro vytápění sklepa v zimě, aby nezamrzl. Dodá energii pro televizor, rádio, ledničku, počítač a světla. Dále se dá využít pro provoz soustruhu na dřevo, nebo pásové pily.

6.2.3 200 Wattů

Výkon o velikosti 200 W je dobrý pro provoz jednodílné rámové pily. Za den nabije dvě 12V/160Ah baterie. Pokryje spotřebu malé domácnosti v kombinaci se sítí.

6.2.4 100 Wattů

Tento výkon se může použít pro malou domácí hrnčířskou dílnu, dokáže roztočit hrnčířský kruh. Dodá energii pro malou televizi, oběhové čerpadlo a plynový kotel. Utáhne až čtyři úsporné žárovky, umožní provoz rozhlasového zařízení. Za den nabije 12V/160Ah akumulátor.

6.2.5 50 Wattů

Dokáže nabít akumulátor o velikosti 12V/65Ah, dodá energii pro svícení dvou 12V/21W žárovek. Pokud připojíme měnič, rozsvítí 14 W žárovku. Můžeme ho použít dále pro provoz autoledničky, Hi-fi věže a pro mechanický pohon pístového či plunžrového čerpadla pro tahání vody ze studny.

6.2.6 20 Wattů

Díky této velikosti výkonu můžeme nepřetržitě svítit celý den úspornými žárovkami, potřebujeme k tomu ale i měnič. Rozsvítí i žárovku o velikosti 12V/21W. Za týden nabije dva akumulátory 12V/100Ah, které jsou paralelně spojené. Z akumulátoru se pak dají napájet spotřebiče nebo měnič 230V.

6.2.7 10 Wattů

Pomocí 10 W rozsvítíme 12/10W žárovku, za den nám nabije 12/15Ah baterii. Týden mu trvá nabít akumulátor o velikosti 12V/100Ah, z kterého pak, ale můžeme napájet námi vybrané spotřebiče. Dokáže utáhnout malý ventilátor, umožní nám načerpat 1000 litrů vody s pomocí membránové pumpy za den.

6.2.8 1 Watt

Jeden watt nám umožní svítit trvale jednou 3,2/0,3A žárovkou, dokáže nám dodat dostatek energie pro poslouchání hudby z malého rádia. Nabije nám za den digitální fotoaparát, mobilní telefon či videokameru [30].

6.3 Výběr toku

Pro návrh mikroelektrárny si autorka práce vybrala potok tekoucí vesnicí, ve které žije. Tok se jmenuje Radotínský potok. Jeho pramen začíná svou cestu u obce Ptice. Ty se nacházejí 14 km od Prahy v okrese Praha – západ. Délka toku je 22,6 km, povodí má rozlohu 68,5 km². Potok protéká vesnicemi Ptice, Úhonice, Rudná, Krahulov, Nučice, Tach-

lovice, Chýnec, Choteč a městskou částí Praha – Radotín. Ústí do řeky Berounka. Část toku se nachází v CHKO Český Kras [31].

Potok je známý díky mlýnům, které se podél něj nacházejí. V 19. a 20. století voda poháněla 19 mlýnu z celkových 21. První dva mlýny byly poháněny párou, ostatní pomocí vodních kol. Ty pak byly nahrazeny turbínami, instalovaly se zde turbíny Francisovy. Od první světové války počet provozuschopných mlýnu začal klesat. Z některých zbyly jen zbořeniny, jiné se dochovaly dodnes. Ve vesnici Úhonicích, kde autorka práce žije, se nachází jeden z těchto dochovaných mlýnů (obrázek 27) [32].



Obrázek 27 Parní mlýn v Úhonicích

6.4 Výběr místa pro elektrárnu

K umístění vodní elektrárny, byla vybrána plocha u Mlýnského rybníka, konkrétně místo u hráze. Stojí zde dům, ve kterém se nachází malá dílna pro práci se dřevem, pro ni tuto elektrárnu bude autorka práce navrhovat.

Spád má zde velikost $H = 3,5\text{m}$. Průtok autorka práce zjistila pomocí vztahu (2). Při normálním průtoku je jeho velikost $Q = 11 \text{ l.s}^{-1}$.

6.4.1 Spotřeba energie

Do tabulky si vypíšeme všechny spotřebiče, které budeme chtít napájet energií z elektrárny. Napíšeme si k nim jednotlivé výkony a jejich dobu provozu. Denní spotřebu sečteme pro naše další použití.

Spotřebiče	Výkon (W)	Doba provozu (h/den)	Denní spotřeba (Wh/den)
Soustruh na dřevo	370	2	740
Pásová pila	250	1	250
Bruska	135	3	405
Světlo	8	8	64
Celkem			1459

Tabulka 6 Denní spotřeba dílny

Z tabulky 6 jsme zjistili, že celková denní spotřeba bude 1459 Wh/den . Kvůli použití akumulátoru, měniče a regulátoru nabíjení, musíme k naší celkové spotřebě přičíst ještě ztráty při přeměně energie v těchto přístrojích. Účinnost měniče a akumulátoru bude asi kolem 85%, na vstup musíme dodat o 15% více energie, než je naše celková spotřeba. Spotřeba bude 1677 Wh/den . Dále přičteme spotřebu měniče, ta je 10 W za hodinu, dohromady 240W za den.

$$A = 1677 + 240 = 1917 \text{ Wh} \quad (68)$$

Získáme energii A, kterou budeme dodávat do akumulátoru.

Výslednou hodnotu vydělíme účinností akumulátoru, která je 75%. A účinností regulátoru, ta má hodnotu 85%. Výsledek nám dá denní dávku energie turbíny, potřebnou pro chod dílny.

$$A_C = \frac{1917}{0,75 * 0,85} = 3007 \text{ Wh} \quad (69)$$

Celková denní spotřeba naší dílny A_C bude 3007 Wh .

Při vydělení celkové denní spotřeby časem, získáme průměrný výkon, který budeme od turbíny vyžadovat.

$$P = \frac{A_C}{24} \quad (70)$$

$$P = \frac{3007}{24} = 125 \text{ W} \quad (71)$$

Dále potřebujeme zjistit velikost akumulátorů pro uchování energie z turbíny pro zásobování našich spotřebičů. Zvolíme si napětí akumulátorů $U_{\text{sys}} = 24\text{V}$. Systémové napětí 24 V si zvolíme kvůli menším ztrátám ve vedení než při použití 12V. Vypočítáme si kapacitu akumulátoru C_A ze vztahu:

$$C_A = \frac{A_C}{U_{\text{sys}}} \quad (72)$$

$$C_A = \frac{3007}{24} = 125 \text{ Ah} \quad (73)$$

Tato hodnota se rovná nepřetržitému režimu akumulátoru. Je vhodné počítat s minimální půlhodinovou odstavkou.

$$k = \frac{24}{24-0,5} = 1,021 \quad (74)$$

kde k = koeficient nárůstu kapacity.

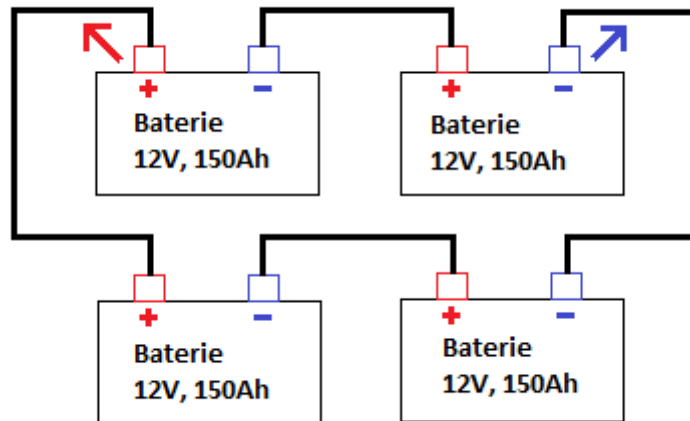
Abychom si akumulátor brzo nezničili, nesmíme jej nechat vybit pod 50%, koeficient vybití bude $h_v = 0,5$.

Z těchto získaných údajů dáme dohromady vztah pro výpočet optimální kapacity akumulátoru C :

$$C = C_A \frac{k}{h_v} \quad (75)$$

$$C = 125 \cdot \frac{1,021}{0,5} = 255 \text{ Ah} \quad (76)$$

Ze vztahu (76) bylo zjištěno, že bude potřeba akumulátor o kapacitě 255Ah. Na trhu akumulátor této velikosti není. Proto je potřeba nalézt vhodnou velikost akumulátoru. Autorka práce zde zvolila nejbližší možnou velikost kapacity akumulátoru 300Ah. Této velikosti kapacity dosáhneme použitím kombinace 4 baterií s kapacitou jedné z nich 150Ah a s napětím 12V. Spojení podle obrázku 28 [13].



Obrázek 28 Spojení baterií

6.4.2 Jaký má tok výkon

Výkon, který budeme vyžadovat od elektrického zdroje, si zjistíme dosazením veličin do zjednodušeného vztahu (39):

$$P = 11 * 9,81 * 3,5 \quad (77)$$

kde $Q = 11 \text{ l.s}^{-1}$,

$g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$,

$H = 3,5 \text{ m}$.

$$P = 377,7 \text{ W} \quad (78)$$

Zjistili jsme, že nám tok přemění svoji energii na hodnotu 377,7 W.

Při tomto spádu a průtoku bude mít naše turbína předpokládanou účinnost kolem 65%, účinnost generátoru bude 50%. Tyto veličiny je možné získat výpočtem na internetových stránkách mve.energetika.cz. Těmito veličinami musíme vynásobit náš předchozí výsledek a zjistíme, jaký bude výkon na toku.

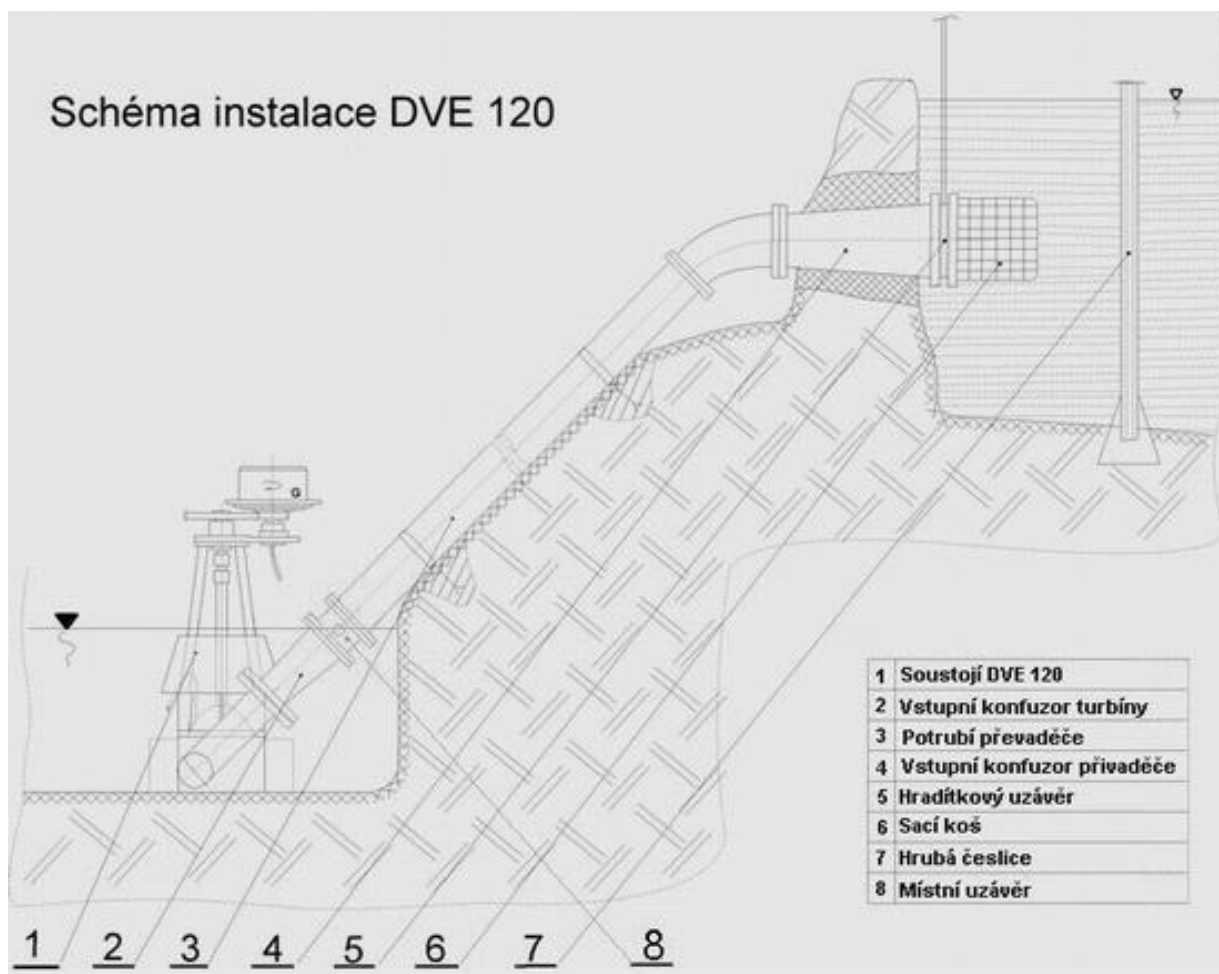
$$P = 377,7 * 0,65 * 0,55 \quad (79)$$

$$P = 135 \text{ W} \quad (80)$$

Námi zjištěnou hodnotu porovnáme s hodnotou získanou ve vztahu (71) a zjistíme, že tento tok nám pokryje celou spotřebu naší malé dílny [13].

6.5 Potřebné komponenty k instalaci

Pro toto místo autorka práce vybrala mikroelektrárnu DVE 120 od firmy Mechanika Králův Dvůr z důvodu vhodnosti toto typu vodní mikroelektrárny pro spád a průtok v místě instalace a pro schopnost elektrárny vyrobit dostatek energie k pokrytí spotřeby dílny. Mezi další důvod patří blízká dostupnost firmy od místa instalace pro případný servis elektrárny. Příklad instalace mikroelektrárny je na obrázku 29.



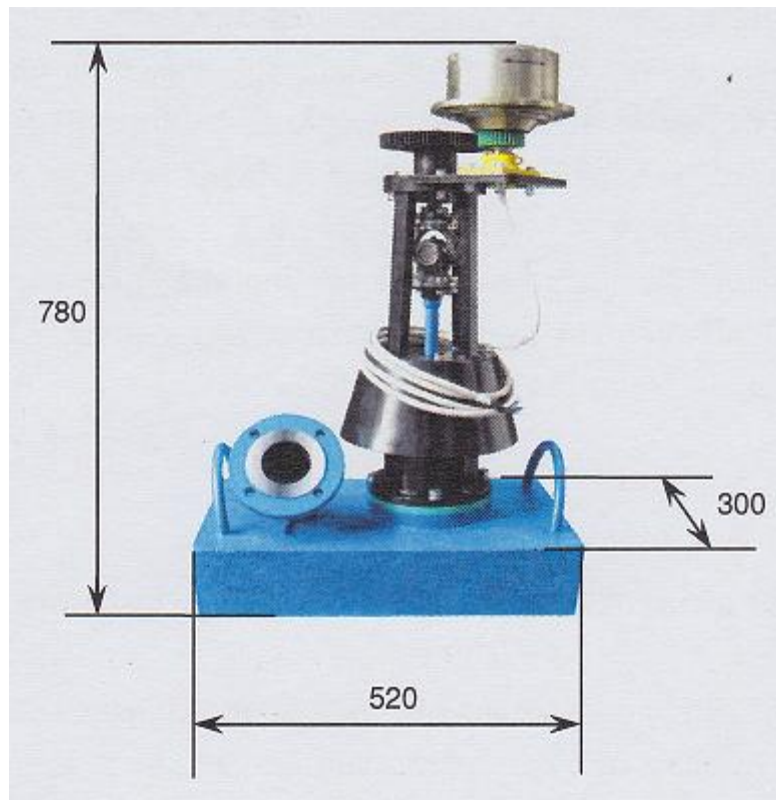
Obrázek 29 Instalace [13]

6.5.1 Komponenty pro přívod vody do mikroelektrárny

Naše mikro vodní elektrárna se skládá z vtokové části, která slouží k dodávce vody. Voda vstupuje sacím košem (obrázek 31), dále jde do vtokového objektu o objemu 1,5 – 2,5 m³. Máme zde uzávěr pro vpouštění vody. Před sacím košem je vhodné umístit česlici pro zachytávání objektů, které by mohly ucpat, nebo poničit koš. Z vtokového objektu jde

voda potrubím do přivaděče vody. Jako potrubí je dobré použít flexibilní hadici, musí zvládnout tíhu vody a být dobře ukotvena. Z přivaděče jde voda do soustrojí DVE (obrázek 32) přes konfuzor. Soustrojí musí stát v rovině.

Základ soustrojí (obrázek 30) má rozměry 520 x 300 mm, do přivaděče je doporučováno připojovat hadici DN 100, ta je poté připojena ke konfuzoru DN 100/70 a na přírubu soustrojí. Výška soustrojí je 780 mm a hmotnost včetně generátoru je 70 kg [13].



Obrázek 30 Rozměry DVE 120 [13]



Obrázek 32 DVE 120 [25]



Obrázek 31 Sací koš [25]

6.5.2 Komponenty pro elektrickou energii

Mezi komponenty pro nakládání s elektrickou energií patří:

- Miniturbína s generátorem (3x24V)
- Usměrňovač s regulátorem napětí pro dobíjení baterií (obrázek 33)
- Rozvodná a přechodová skříň
- Měnič 24V stejnosměrných na 230 V, 50 Hz střídavých
- baterie (obrázek 34)



Obrázek 33 Regulátor napětí [24]



Obrázek 34 Baterie [24]

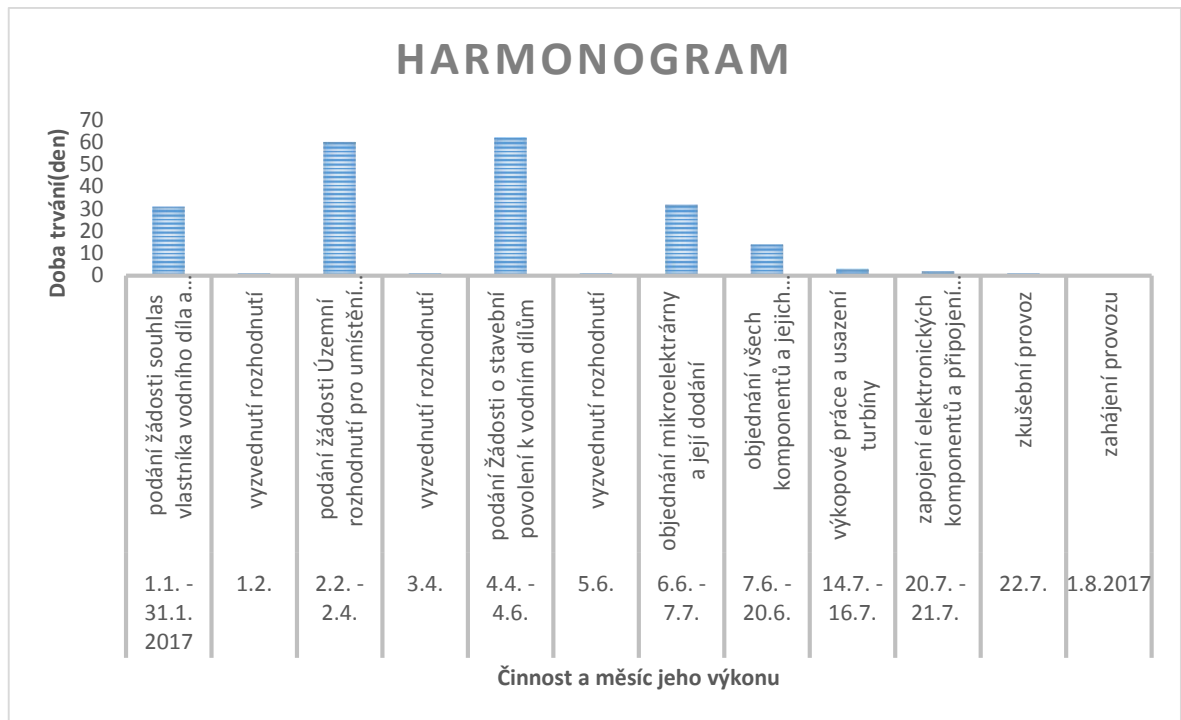
6.6 Harmonogram návrhu řešení projektu

Před samotným podáním žádosti o povolení stavby si musíme vypracovat projektovou dokumentaci stavby vodního díla. Vodní dílo Mlýnský rybník patří obci, proto je potřeba si od nich vyžádat souhlas o používání díla. Obec si na rozhodnutí nechává lhůtu 30 dní. Po získání souhlasu je potřeba zažádat o Územní rozhodnutí pro umístění stavby vodního díla na stavebním úřadě, pod který spadá naše místo výběru. S těmito všemi dokumenty pak musíme zajít na vodoprávní úřad, kde si podáme Žádost o stavební povolení k vodním dílům. Celková doba k získání povolení (počítám i dobu k získání souhlasu od obce) je kolem 150 dnů, každý z úřadů má lhůtu 60 dnů.

Po získání všech povolení můžeme objednat námi vybranou mikroelektrárnu SETUR DVE 120. Doba dodání bude asi kolem 30 dnů, možná i více, záleží na zatíženosti firmy. Dále objednáme všechny potřebné komponenty. Ty by měly všechny dorazit do 14 dnů. Výkopové práce si pro ušetření peněz, můžeme udělat sami, jen nám to bude trvat o trochu déle. Usadíme turbínu a necháme zapojit elektrikářem, který nám zapojí elektrické komponenty a spotřebiče. Jako poslední bude ověření funkčnosti naší elektrárny, kdy při zkušebním provozu nabijeme akumulátory. Časový postup je přehledněji vidět v tabulce 7 a grafu 1.

Měsíc výkonu	činnost	doba trvání (den)
1.1. -31.1. 2017	podání žádosti souhlas vlastníka vodního díla a pozemku k něm příle- hajícího	31
1.2.	vyzvednutí rozhodnutí	1
2.2. - 2.4.	podání žádosti <i>Územní rozhodnutí pro umístění stavby vodního díla</i>	60
3.4.	vyzvednutí rozhodnutí	1
4.4. - 4.6.	podání <i>Žádost o stavební povolení k vodním dílům</i>	62
5.6.	vyzvednutí rozhodnutí	1
6.6. - 7.7.	objednání mikroelektrárny a její dodání	32
7.6. - 20.6.	objednání všech komponentů a jejich dodání	14
14.7. - 16.7.	výkopové práce a usazení turbíny	3
20.7. - 21.7.	zapojení elektronických komponentů a připojení spotřebičů	2
22.7.	zkušební provoz	1
1.8.2017	zahájení provozu	

Tabulka 7 Harmonogram



Graf 1 Harmonogram

Z grafu jsme vyčetli, že stavba vodní mikroelektrárny není na krátkou dobu. Nejdelší čas nám zabere samotné papírování a to nevíme, jestli vše bude trvat opravdu jen těch 150 dní nebo i více. Samotná stavba se může pak opozdit kvůli nepříznivému počasí, zpožděním dodání některého komponentu či kvůli jinému problému.

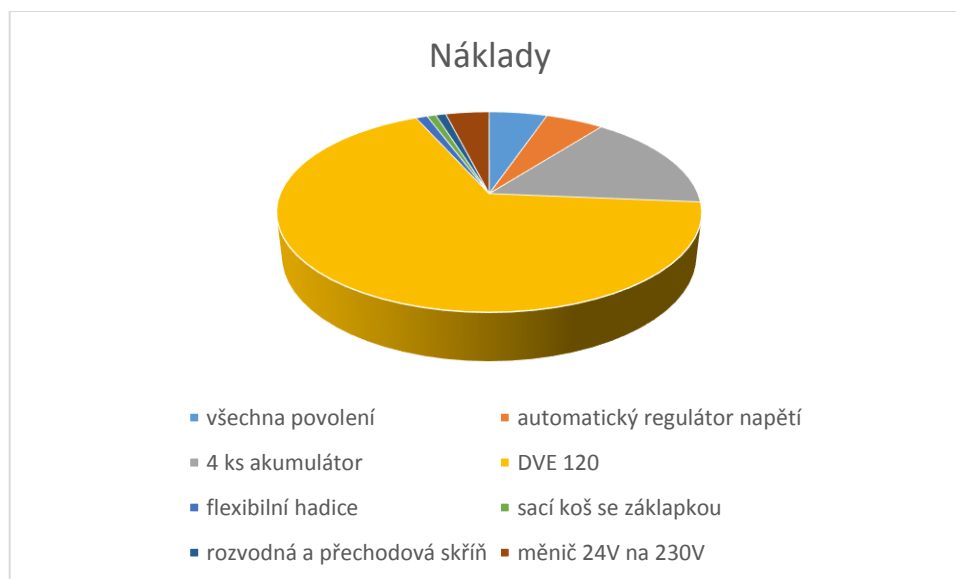
7 FINANČNÍ STRÁNKA MVE

V harmonogramu jsme si vypsali postup při pořizování elektrárny, v této kapitole si popíšeme finanční stránku pořízení. Kolik nás komponenty budou stát a jaká bude finanční návratnost elektrárny. V další tabulce se podíváme na roční spotřebu dílny a kolik korun by nám elektrárna měla ušetřit.

7.1 Celkové náklady

Komponent/poplatky	Cena (Kč)
všechna povolení	4000
automatický regulátor napětí	3993
4 ks akumulátor	12000
DVE 120	50800
flexibilní hadice	800
sací koš se záklapkou	600
rozvodná a přechodová skříň	700
měníč 24V na 230V	3000
Celkem	75893

Tabulka 8 Náklady



Graf 2 Náklady

Celkové náklady (tabulka 8, graf 2) na pořízení vodní mikroelektrárny vyjdou na 75 893 korun, některé komponenty půjdou možná najít i levněji, když budeme poptávat více firm.

7.2 Spotřeba dílny

Pro výpočet spotřeby energie vezmeme průměrnou cenu 4,80 Kč za kWh. Každý spotřebič je přehledně vypsán a jeho spotřeba je vypočítána v následujících tabulkách.

Čas	Spotřeba (kWh)	Cena (Kč)
hodina	0,38	1,824
den	0,76	3,648
měsíc	23	110,4
rok	279,94	1343,712

Tabulka 9 Soustruh + světlo

Čas	Spotřeba (kWh)	Cena (Kč)
hodina	0,26	1,248
den	0,26	1,248
měsíc	7,85	37,68
rok	94,17	452,016

Tabulka 10 Pila + světlo

Čas	Spotřeba (kWh)	Cena (Kč)
hodina	0,14	0,672
den	0,43	2,064
měsíc	13,05	62,64
rok	156,59	751,632

Tabulka 11 Bruska + světlo

Čas	Spotřeba (kWh)	Cena (Kč)
hodina	0,01	0,048
den	0,02	0,096
měsíc	0,49	2,352
rok	5,84	28,032

Tabulka 12 Samotné světlo (2h)

Pokud bude celková spotřeba energie čtyř členné domácnosti ve starším rodinném domě i s dílnou cca 10 836,76 kWh, dílna bude mít z celkové spotřeby podíl 4,95 % se svými 536,54 kWh. Spotřeba elektřiny za rok domácnost stojí 52 016,448 korun, z toho dílna je 2575,39 korun.

7.3 Návratnost investice

Dosažením do vztahu (81) zjistíme, jaká bude návratnost naší vodní mikroelektrárny.

$$TN_p = \frac{IN}{CF} \quad (81)$$

kde IN = náklady na investici,

CF = úspora nákladů.

$$TN_p = \frac{75893}{2575,39} = 29,47 \quad (82)$$

Návratnost naší stavby je kolem 30 let, když nepočítáme s penězi na údržbu a renovaci starých komponentů. Záleží na poruchovosti našich komponentů, čím více budou poruchovější, tím se čas návratnosti bude prodlužovat [33].

Tato investice je opravdu dlouhodobá, neměl by do ní jít člověk, co očekává hned návratnost, ale ten kdo chce spíš využít přírodní zdroje a ulevit trochu přírodě.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámit čtenáře s vodními toky v České republice, s jejich využitelností. Pozornost zde byla zaměřena na zařízení použitelné pro malé vodní toky a na výběr vhodného vodního toku pro stavbu malé vodní mikroelektrárny. Dále se práce zabývala problematikou návrhu vodní mikroelektrárny a s finančními náklady spojenými se samotnou stavbou elektrárny.

V České republice se nachází 59 700 km toků, na nich je postaveno cca 1500 vodních děl. Počet vodních děl se ale ještě může dále navyšovat. Bohužel ne všechny toky jsou pro stavbu velké nebo malé vodní elektrárny vhodné. Některé řeky mají nedostatečný spád či průtok, nebo pro stavbu vodní elektrárny se nacházejí na špatně přístupném místě.

V práci byla navržena vodní mikroelektrárna na Radotínském potoce. Cílem bylo vyrobit energii pro dílnu ležící blízko instalace mikroelektrárny. Z celkové denní spotřeby dílny, bylo zjištěno, že množství energie potřebné z mikroelektrárny bude 125 W. K zjištění, kolik energie dokáže tok vytvořit, byl použit vztah pro hydroenergetický potenciál toku, do kterého byly vloženy údaje o spádu a průtoku Radotínského potoka v daném místě instalace mikroelektrárny. Potenciál toku měl velikost 135 W. Porovnáním těchto dvou veličin, hydroenergetického potenciálu a celkové denní spotřeby dílny, bylo potvrzeno, že tok je schopen vyrobit dostatek energie pro dílnu.

Z tabulky 8 finančních nákladů je zřejmé, že stavba vodní mikroelektrárny, která vyrobí energii pro pokrytí spotřeby dílny, není levná záležitost. Je to stavba, kdy návratnost je až za 30 let a více. Proto by si každý měl předem rozmyslet, jestli je ochotný do takto časově i finančně náročných stavby investovat své peníze a čas. Časově náročná není totiž pouze samotná stavba vodní mikroelektrárny, ale také získání všech potřebných povolení od příslušných úřadů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Micro – hydro power. *Practical action* [online]. ©2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://practicalaction.org/micro-hydro-power>
- [2] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.mve.energetika.cz>
- [3] Voda v České republice. *Zemepis.com geografický portál* [online]. © 2002 – 2016 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.zemepis.com/vodacr.php>
- [4] Hydrografie vodních toků. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*, Pedagogická fakulta Masarykovy univerzity [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html
- [5] Kontakt. *Ministerstvo zemědělství, Vodohospodářský informační portál* [online]. © 1999 – 2009 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://voda.gov.cz/portal/cz/>
- [6] *Povodí Vltavy* [online]. ©2013 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz>
- [7] *Povodí Odry státní podnik* [online]. © 2016 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.pod.cz>
- [8] *Povodí Labe* [online]. © 2009 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/webportal/internet/default.aspx>
- [9] *Povodí Ohře* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.poh.cz>
- [10] *Povodí Moravy* [online]. © 2010 – 2016 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz>
- [11] Vodní elektrárny v ČR: Vltavská kaskáda – 1. část. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrarny-cr/vodni-elektrarny-v-cr-vltavska-kaskada-1-cast/>
- [12] NOYES, Robert. *Small and micro hydroelectric power plants: technology and feasibility*. Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corp., 1980, xvii, 457 p. ISBN 0815508190.
- [13] POLÁK, Martin. *Bezlopatková miniturbína: cesta k energetickému využití nejmenších vodních zdrojů*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05233-4.

- [14] GABRIEL, Pavel. *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1992, 178 s.
- [15] Seznam instalací typu Vodní elektrárny. *Interaktivní mapa obnovitelných zdrojů energie* [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: http://mapa.czrea.org/instalace.php?TYP_INSTALACE=1
- [16] BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989, 237 s.
- [17] ULRYCH, Emil. *Hydromechanika*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001, 146 s. ISBN 80-213-0854-0.
- [18] MELICHAR, Jan. *Malé vodní turbíny*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1995. ISBN 80-01-01403-7.
- [19] *Elzaco* [online]. [cit 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.elzaco.cz/>
- [20] *SH Control s.r.o. Software a hardware pro řízení* [online]. ©2008 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://shcontrol.cz/cz/>
- [21] *CINK Hydro energy* [online]. © 2013 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://cink-hydro-energy.com/>
- [22] *LitostrojPower ČKD Blansko Engineering* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://cbeng.cz/>
- [23] *Hydropol* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://hydropol.cz/#&panel1-3>
- [24] *Wind – solar* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.wind-solar.cz/kategorie/vodni-turbiny-generatory/>
- [25] Turbína SETUR. *MECHANIKA Králův Dvůr s.r.o.* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.mechanikakd.cz/>
- [26] Energie. *Učební pomůcky www.ucebnipomucky.net* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.ucebnipomucky.net/katalog/zbozi/fyzika/energie>
- [27] *Global Hydro* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://global-hydro.eu/>
- [28] *TECHYDRO Hydro technology engineering and construction* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.techydro.it/Hydraulic-Engineering.htm>
- [29] 10W Water turbine generator micro hydro hydroelectric. *Ebay* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/10W-Water-Turbine-Generator->

Micro-Hydro-Hydroelectric-DIY-LED-Power-DC5V-12V-80V-
/252129003451?hash=item3ab40f47bb:g:-9sAAOSw14xWIb5w

- [30] Na co stačí výkon vodního motoru. *Abeceda malých vodních pohonů* [online].
[cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/>
- [31] Radotínský potok. *Pražská příroda* [online]. © 2013 [cit. 2016-03-12]. Dostupné
z: [http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/radotinsky-
potok/](http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/radotinsky-potok/)
- [32] Radotínský potok a mlýny. *Mlýn u Veselých* [online] © 2009 [cit. 2016-03-10].
Dostupné z: [http://www.mlyn-uveselych.cz/Vodni-mlyn/Radotinsky-potok-a-
mlyny.aspx](http://www.mlyn-uveselych.cz/Vodni-mlyn/Radotinsky-potok-a-mlyny.aspx)
- [33] Metody doby návratnosti investice – často využívaná metoda analýzy báňských
investic – teorie. *Institut geologického inženýrství* [online]. [cit. 2016-03-10]. Do-
stupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/cvekonomika/5_teorie.html

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	teoretická zásoba energie, energie [J], plocha [m ²].
A _C	celková denní spotřeba energie [Wh].
C	optimální kapacita akumulátoru [Ah].
c	absolutní rychlost vody [m.s ⁻¹].
C _A	kapacita akumulátoru [Ah].
CF	úspora nákladů [Kč].
E	měrná energie [J.kg ⁻¹].
E _d	disipovaná měrná energie [J.kg ⁻¹].
E _k	kinetická energie [J].
E _p	tlaková měrná energie [J.kg ⁻¹].
E _v	kinetická měrná energie [J.kg ⁻¹].
E _z	polohová měrná energie [J.kg ⁻¹].
F	plocha povodí [km ²].
\vec{F}	vektor hydrodynamické síly [N].
F _d	hydrodynamická síla [N].
F _x	hydrodynamická síla na ose x [N].
g	gravitační zrychlení [m.s ⁻²].
H	spád [m].
\dot{H}	tok hybnosti [N].
h _v	koeficient vybití [-].
IN	náklady na investici [Kč].
k	koeficient nárůstu kapacity, koeficient úhlů [-].
m	hmotnost [kg].
\dot{m}	hmotnostní tok [kg.s ⁻¹].
P	výkon [W].

P_h	hydraulický výkon [W].
P_{max}	maximální výkon [W].
P_{sk}	skutečný výkon [W].
p	tlak [Pa].
p_b	atmosferický tlak [Pa].
Q	průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$].
Q_a	průměrný výtok [$m^3 \cdot s^{-1}$].
Q_T	turbínový průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$].
Q_{90d}	devadesátidenní průměrný denní průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$].
r	střední poloměr [m].
t	čas [s].
U_{syst}	systémové napětí [V].
u	unášivá rychlost [$m \cdot s^{-1}$].
V	objem [l].
\dot{V}	objemový tok [$m^3 \cdot s^{-1}$].
v	rychlost [$m \cdot s^{-1}$].
\vec{v}	vektor rychlosti [$m \cdot s^{-1}$].
v_t	rychlost [$m \cdot s^{-1}$].
z	výška těžiště, polohová výška [m].
β	výstupní úhel lopatky
η	účinnost
η_h	hydraulická účinnost
η_T	účinnost turbíny
ρ	měrná hmotnost vody [$kg \cdot m^{-3}$].
ω	úhlová rychlost kola [s^{-1}].

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Rozdělení povodí [5]:.....	13
Obrázek 2 Dělení elektráren podle průtoku a spádu [14]	17
Obrázek 3 Nivelace [13]	20
Obrázek 4 Nízkotlaká vodní elektrárna na náhonu [14]	22
Obrázek 5 Středotlaká vodní elektrárna [14]	23
Obrázek 6 Vysokotlaká vodní elektrárna [14]	23
Obrázek 7 Lopatka vodního kola [17]	28
Obrázek 8 Průřez Peltonovy turbíny [16]	34
Obrázek 9 Průřez přetlakové turbíny [16]	36
Obrázek 10 Segnerovo kolo [16]	39
Obrázek 11 Vodní kola [16]	40
Obrázek 12 Schéma turbín [16]	42
Obrázek 13 Rozdělení turbín podle průtoku a spádu [2]	46
Obrázek 14 Reiffensteinova turbína [16].....	47
Obrázek 15 Peltonova turbína.....	48
Obrázek 16 Bánkiho turbína [16]	49
Obrázek 17 Horizontální kašnová Francisova turbína [16]	50
Obrázek 18 Horizontální kašnová Kaplanova turbína [16]	52
Obrázek 19 DVE 120 [13].....	54
Obrázek 20 Model vodní elektrárny [26]	58
Obrázek 21 Peltonova turbína [26]	58
Obrázek 22 DC12V mikro vodní turbína [29].....	60
Obrázek 23 Využití pro osvětlení [13]	61
Obrázek 24 Spojení s čerpadlem [13].....	62
Obrázek 25 Zapojení s akumulátorem [13]	62
Obrázek 26 Zapojení se střídačem napětí [13]	63
Obrázek 27 Parní mlýn v Úhonicích.....	65
Obrázek 28 Spojení baterií	68
Obrázek 29 Instalace [13]	69
Obrázek 30 Rozměry DVE 120 [13]	70
Obrázek 31 Sací koš [25].....	71
Obrázek 32 DVE 120 [25].....	71

Obrázek 33 Regulátor napětí [24].....	72
Obrázek 34 Baterie [24].....	72

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Malé vodní elektrárny.....	14
Tabulka 2 MVE Povodí Moravy	15
Tabulka 3 Toky v okolí.....	21
Tabulka 4 Malé vodní toky	25
Tabulka 5 Rozdělení elektráren na tocích.....	26
Tabulka 6 Denní spotřeba dílny	66
Tabulka 7 Harmonogram	73
Tabulka 8 Náklady	75
Tabulka 9 Soustruh + světlo	76
Tabulka 10 Pila + světlo	76
Tabulka 11 Bruska + světlo	76
Tabulka 12 Samotné světlo (2h)	76

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Harmonogram.....	74
Graf 2 Náklady.....	75