



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**MIKROELEKTRÁRNY PRO VYUŽITÍ
ZBYTKOVÝCH SPÁDŮ A PRŮTOKŮ**

MICRO POWER PLANTS FOR THE USE OF RESIDUAL GRADIENTS AND FLOW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Magdaléna Komorová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL ŽOUŽELA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Magdaléna Komorová
Název	Mikroelektrárny pro využití zbytkových spádů a průtoků
Vedoucí práce	Ing. Michal Žoužela, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

[1] Brada, K., Hlavínek, P.: Čerpadla ve vodním hospodářství. Noel 2000 s.r.o. Brno 2004. ISBN 80-86020-43-6

[2] Bednář, J.: Turbíny (malé vodní elektrárny). Nakladatelství Marcela Bednářová. Blansko 2013. ISBN 978-80-905437-0-6

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci zpracování bakalářské práce bude provedena rešerše technických možností energetického využití zbytkových spádů a průtoků. Práce bude zaměřena především na oblast mikroelektráren s celkovým instalovaným výkonem do 10 kW. Získané poznatky budou využity při návrhu mikroelektrárny na konkrétní lokalitě. Bude navrženo vhodné technické řešení a provedeny základní hydroenergetické výpočty. Součástí práce bude i odhad ceny realizace mikroelektrárny včetně stanovení doby návratnosti.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Michal Žoužela, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT A KLÍČOVÉ SLOVÁ

Cieľom bakalárskej práce je priniesť informácie o možnostiach smerovania hydroenergetiky v budúcnosti. Bakalárska práca sa zaoberá i výberom správneho vodného motora použiteľného pre zvyškové prietoky a spády. Kapitola je taktiež venovaná podpore a dotáciám na „zelenú energiu“ od vlád v Česku a Rakúsku. Koniec bakalárskej práci je venovaný návrhu domácej malej vodnej elektrárne v Rakúsku. Návrh prináša tri rôzne varianty.

Kľúčové slová: malá vodná elektrárňa, zvyškové prietoky, zvyškové spády, čerpadlo v turbínovom režime, zubové čerpadlo, výkup energie

ABSTRACT AND KEY WORDS

The aim of the bachelor thesis is to bring information about where hydropower is going in the future in accordance to using residual gradients and flow. Also, bachelor thesis is looking into different types of turbines which can be used for residual gradients and flow, then how government is helping with funding of new and existing hydropower plants. The last part of thesis is analyzing new location for picohydropower plant and bringing three possible designs..

Key words: picohydropower plant, pump as turbine, gear pump, low flow, high gradient, Pelton turbine, hydrodynamic turbine

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA VŠKP

Magdaléna Komorová *Mikroelektrárny pro využití zbytkových spádů a průtoků*. Brno, 2018. 61 s., 10 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Michal Žoužela, Ph.D.

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som bakalársku prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa 22. 5. 2018

Magdaléna Komorová
autor práce

POĎAKOVANIE

V prvom rade by som chcela poďakovať vedúcemu práce Ing. Michal Žoužela, PhD. za rýchlu konzultáciu, vždy keď som potrebovala, hoci som si istá, že pán inžinier je veľmi vytážený. V druhom rade veľké ďakujem patrí docentovi Ing. Miloslav Haluza, CSc. z *Energetického ústavu FSI VUT Odbor inžénýrství Victora Kaplana* za čas, ktorý mi venoval pri hľadani vodného motora a jeho nápad skúsiť použiť zubové čerpadlo. A v neposlednom rade pánom z vyššie spomenutého odboru, ktorí pracujú na skúšobni a našli si čas v nabitom rozvrhu, aby postavili skúšobný okruh a mohlo sa zubové čerpadlo vyskúšať.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	MALÉ VODNÉ ELEKTRÁRNE	4
2.1	Využitie zvyškových prietokov a spádov v MVE	4
2.2	Rozdelenie vodných elektrární podľa výkonu	5
2.3	Jestvujúce domáce MVE	6
2.3.1	Spojené Kráľovstvo - Wales	6
2.3.2	Himalájske údolia	6
2.3.3	Keňa	7
2.3.4	Srí Lanka	8
2.3.5	Thajsko – dedina Mae Wei	8
2.3.6	Malajzia – údolie Ba’Kelalan	8
2.3.7	Južná Kórea – MVE na výtoky z ČOV	9
2.3.8	Česká republika - MVE pri vodojeme Beroun	10
2.3.9	Slovenská republika – Vysokohorská chata	10
3	ZÁKLADNÉ VELIČINY V STATI VODNÝCH ELEKTRÁRNÍ	12
3.1	Fyzikálne vlastnosti vody	12
3.2	Hydraulika v privádzačoch vodných elektráren	12
3.2.1	Straty miestne	13
3.2.2	Straty trením	15
3.3	Výkon vodného zdroja a vodných motorov	17
4	VODNÝ MOTOR POUŽITELNÝ V MVE	20
4.1	Typy vodných motorov	20
4.1.1	Peltonova turbína	20
4.1.2	TURGO turbína	21
4.1.3	SETUR turbína	21
4.1.4	Michell-Bánki turbína	22
4.1.5	Vírová turbína	22
4.1.6	Reverzné čerpadlo v turbínovom režime	23
5	DOTÁCIE ŠTÁTU V ČESKEJ REPUBLIKE A V RAKÚSKU	25
5.1	Dotácie, výkup elektriny a zelené bonusy v Českej republike	25
5.1.1	Dotácie v ČR	25
5.1.2	Výkupné ceny a zelené bonusy v ČR	25
5.2	Dotácie a výkupné ceny v Rakúsku	27
5.2.1	Dotácie na projekty pri implementovaní novej smernice o vode	27
5.2.2	Dotácie na výstavbu nových a revitalizáciu súčasných MVE podľa novej smernice o ekologickej elektrickej energii z roku 2012	29
5.2.3	Výkupné ceny elektrickej energie	30

5.3	Porovnanie dotačných systémov v Česku a Rakúsku	31
6	MIKROELEKTRÁREŇ GLEIMING	33
6.1	Súčasný stav.....	33
6.1.1	Hydrotechnický potenciál lokality.....	35
6.1.2	Hydroenergetický potenciál lokality.....	35
6.2	Navrhované riešenie MVE a rentabilita	36
6.2.1	Variant 1 – Reverzné čerpadlo odstredivé radiálne	37
6.2.2	Variant 2 – Reverzné čerpadlo objemové zubové.....	39
6.2.3	Variant 3 – Peltonova turbína	42
6.2.4	Shrnutie variant.....	42
7	ZÁVER	43
8	POUŽITÁ LITERATÚRA.....	44
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	48
	ZOZNAM TABULIEK	51
	ZOZNAM OBRÁZKOV.....	52
	ZOZNAM GRAFOV	53
	ZOZNAM PRÍLOH.....	54
	SUMMARY	55

1 ÚVOD

Počas bakalárskeho štúdia na Vysokom učení technickom v Brne majú študenti možnosť navrhnuť malú vodnú elektrárňu s použitím tradičných turbín. Táto bakalárska práca sa pozerá na návrh z iného pohľadu, teda z pohľadu ušetriť investičné náklady na správnom vybratí vodného motora, čo znamená nepoužiť turbínu ale čerpadlo v turbínovom režime. Samozrejme, nie vždy je takýto prístup možný, avšak zvyškové spády a prietoky niekedy ponúkajú i túto možnosť.

Bakalárska práca najprv definuje zvyškové prietoky a spády i s typickými príkladmi lokalít. Následne ukáže smerovanie hydroenergetiky za posledných pár rokov v oblasti malých vodných elektrární s inštalovaným výkonom do 10 kW, resp. do 20 kW, na jestvujúcich elektrárnach po celom svete.

Pred tým než sa začne riešiť praktická časť bakalárskej práce je urobený úvod do hydrauliky a hydroenergetických výpočtov pri návrhu elektrárne. Ďalej sa budú rozoberať typy vodných motorov, turbín i čerpadiel v turbínovom režime. Aký je ich princíp a výhody, pre ktoré oblasti sú najvhodnejšie a pod. Aby sa mohla zistiť rentabilita navrhovaných riešení je potrebné vedieť výkupné ceny elektrickej energie a o aké možné dotácie sa dá požiadať pri rekonštrukcii alebo stavbe novej malej vodnej elektrárne. Preto je jedna kapitola venovaná podpore a dotáciám.

V druhej polovici práce sa bude riešiť konkrétna lokalita s tromi rôznymi návrhmi. Jedno riešenie, ktoré bolo konzultované a jeho možnosti vyskúšané v skúšobni Ústavu fluidního inženýrství Victora Kaplana VUT, je novinka, ktorá podľa zistených informácií nemá obdoby.

Cieľ bakalárskej práce je uviesť čitateľa do problematiky malých vodných elektrární využívajúcich zvyškové prietoky a spády. Ďalej má práca zlepšiť prehľad čitateľa o vodných motoroch, hlavne o možnosti použití čerpadiel v turbínovom režime. Napríklad, aké sú ohraničenia použiteľnosti čerpadiel. A v poslednom rade na praktickom prípade ukázať návrh malej vodnej elektrárne s inštalovaným výkonom do 10 kW.

2 MALÉ VODNÉ ELEKTRÁRNE

Malé vodné elektrárne (ďalej len MVE) a ich výskum majú v Českej republike dlhodobú históriu. Pohľad bakalárskej práce bude zameraný na smerovanie hydroenergetiky v posledných desaťročiach, súčasný stav a smerovanie, kam by sa mohla uberať v budúcnosti.

Kapitola sa bude zaoberať využitím zvyškových prietokov a spádov vo vodnej energetike, ďalej rozdelením vodných elektrární podľa ČSN 75 01 28 a na konci kapitoly budú spomenuté vybrané jestvujúce malé vodné elektrárne s inštalovaným výkonom do 10 kW, resp. do 20 kW, ktoré sú pre bakalársku prácu prínosné.

2.1 VYUŽITIE ZVYŠKOVÝCH PRIETOKOV A SPÁDOV V MVE

Hydroenergetický potenciál Českej republiky je skoro vyčerpaný, čo sa týka lokalít pre veľké vodné elektrárne. Vytýpaných lokalít pre malé vodné elektrárne je stále dostatok. Lenže potreba elektrickej energie rastie a snaha o používaní zdrojov obnoviteľnej elektrickej energie taktiež. Preto sa začali, hlavne vo svete, robiť experimenty na usadenie hydroenergetických diel na miesta, o ktorých sa predtým neuvažovalo. V nasledujúcich odstavcoch sú spomenuté niektoré typy lokalít so zvyškovým prietokom i spádom.

Kanále s odpadnou vodou z tepelných alebo jadrových elektrární majú dostatočný prietok a malý spád na postavenie vodnej elektrárne, zároveň v takejto vode nežijú žiadne ryby ani iné živočíchy, čím by sa ušetrilo na investičných nákladoch potrebných na stavbu rybochodov. Fyzikálne parametre vody sú tiež dobré. Vodoprávne povolenia na výtok vody sú väčšinou do 35°C, čo je vyššia teplota vody než je obvyklé pre vodné motory, avšak stále sa neblíži kritickej hodnote, pri ktorej vodné motory sú schopné pracovať.

Výtok z čistiarní odpadných vôd (ďalej len ČOV) má síce menší prietok než odpadné kanále z chladiacich jednotiek elektrární, ale i pri malom spáde by MVE vedela vyprodukovať trochu elektrickej energie, čím by pomohla ČOV byť viac nezávislá od dodávky energie zo siete a ušetrila by finančné zdroje. Ochrana životného prostredia tlačí na lepšie čistenie vody a prichádzajú každým rokom prísnejšie normy o povolených koncentráciách znečistenia vypúšťaného z čistiarní, čím sa zvyšujú energetické nároky na prevádzku. Počet ČOV v krajinách rastie a nie sú ani z polovice nezávislé od odberu z elektrickej siete. Voda vytekajúca z ČOV je dostatočne zbavená nerozpustných látok, takže by nebolo treba mať špeciálne upravené vodné motory.

Vo vodovodnej sieti je voda čerpadlom vytlačená do veľkých výšok a následne pomocou redukčných ventilov sa znižuje tlak, aby vyhovoval odberateľom. Robia sa experimenty na výmenu redukčných ventilov za čerpadlá v turbínovom režime, čím by sa neplytvala energia vody. Veľký záujem o takýto výskum je na Arabskom polostrove a v Číne, kde je najvyššie percento mrakodrapov na svete.[1] Mrakodrapy majú vo svojej vodovodnej sieti v rámci budovy veľké množstvo redukčných ventilov. Na Arabskom polostrove ako obnoviteľný zdroj energie je voda len v prílívových elektrárnach, na súši nemá vhodné podmienky. Preto by nainštalovanie čerpadiel v turbínovom režime veľmi zvýšilo podiel vyrobenej energie z obnoviteľných zdrojov. Druhé miesto možnosti osadenia turbín je v privádzačoch do vodojemov, kde takisto ako v predchádzajúcom prípade je veľké množstvo zvyškového tlaku vody v potrubí. Všetky súčiastky turbín musia byť vyrobené z materiálov splňujúcich požiadavky ministerstva na styk s pitnou vodou.

2.2 ROZDELENIE VODNÝCH ELEKTRÁRNÍ PODĽA VÝKONU

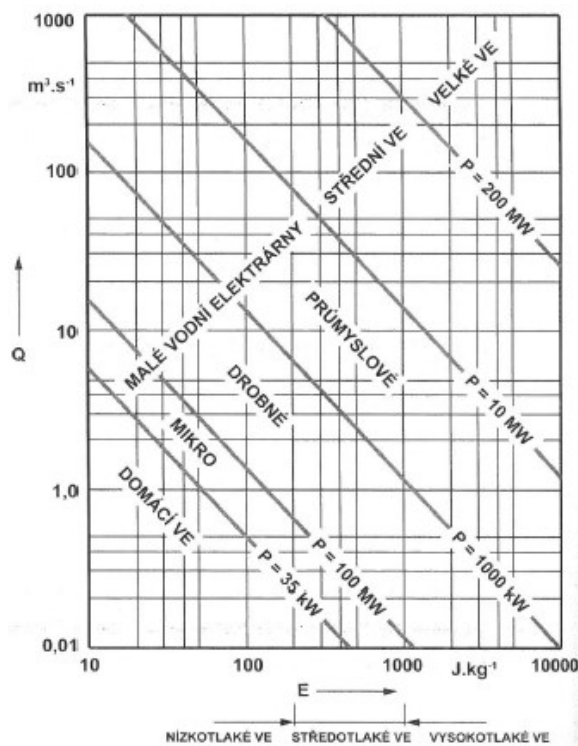
Pre lepšie pochopenie obsahu bakalárskej práce je vhodné si najprv definovať vodné elektrárne podľa inštalovaného výkonu [2], ČSN 75 01 28:

- veľké s inštalovaným výkonom nad 200 MW – VVE;
- stredné s inštalovaným výkonom nad 10 MW – SVE;
- malé s inštalovaným výkonom do 10 MW – MVE.

Ďalej sa MVE delia na:

- priemyselné VE ($1000 \text{ kW} < P < 10\,000 \text{ kW}$);
- minielektrárne ($100 \text{ kW} < P < 1000 \text{ kW}$);
- mikroelektrárne ($35 \text{ kW} < P < 100 \text{ kW}$);
- domáce VE ($P < 35 \text{ kW}$).

Celé delenie doteraz spomenuté je názorne zhrnuté na Obrázok 2.1.



Obrázok 2.1: Rozdelenie vodných elektrární podľa inštalovaného výkonu [2]

Normy Európskej únie inak definujú rozdelenie podľa inštalovaného výkonu, za MVE sa považujú elektrárne len do 5 MW.

Táto bakalárska práca sa venuje MVE do 10 kW, tzn. výkon je veľmi malý a podľa ČSN 75 01 28 spadá do kategórie domácich VE. Percentuálny podiel domácich vodných elektrární v ČR nie je známy. Je približný odhad, že cca 90 % všetkých MVE má výkon nad 5 MW.

Podľa Obrázok 2.1 MVE do 10 kW sú nízko tlakové, vychádza sa zo skutočnosti, že takto malý výkon sa realizuje len na prietochných vodných elektrárnach, ktoré nemusia mať vysoký spád ($H < 20$ m). Čo avšak nemusí platiť na 100 %.

2.3 JESTVUJÚCE DOMÁCE MVE

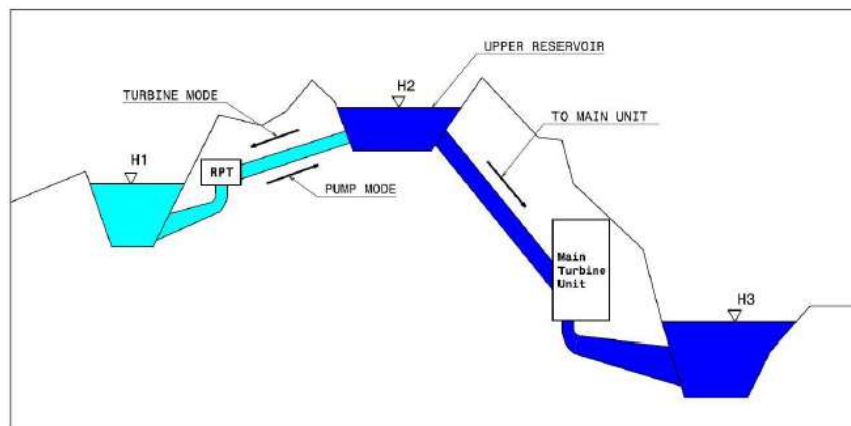
Malé vodné elektrárne do 10 kW sú v poslednej dobe na vzostupe preferencií. Našli uplatnenie hlavne v rozvojových zemiach, za spomenutie stojí Nepál, Pakistan, Keňa, Malajzia a mimo rozvojových zemí treba zmieniť Indiu, Južnú Kóreu a Spojené kráľovstvo konkrétnejšie Wales. V nasledujúci odstavcoch sú vybrané domáce elektrárne do 10 kW doplnené o elektrárne s inštalovaným výkonom do 20 kW využívajúc zvyškové spády a prietoky.

2.3.1 Spojené Kráľovstvo - Wales

V roku 2015 vyhrala waleská spoločnosť *TGV Hydro* ocenenie *Ashden Awards* v kategórii Obnoviteľných zdrojov za privedenie vodných elektrární do vidieckych oblastí [3]. Firma *TGV Hydro* sa pričínala o postavenie 47 domácich vodných elektrární kategorizovaných podľa ČSN 75 01 28, ktoré majú spolu generovať 1900 MWh ročne. K dátumu 26. 10. 2016 bolo postavených a odovzdaných do prevádzky 20 lokalít s najväčším výkonom 282 kW a najmenším 6,5 kW. Tri lokality majú produkciu pod 10 kW (6,5 kW; 8,0 kW; 9,0 kW) a ďalších deväť do 30 kW. Presné parametre nie sú uverejnené, z videa a fotiek je možné vidieť použitie TURGO turbíny. Firma sa zameriava na lokality, ktoré majú spád väčší než 20 m, ako samy uvádzajú na svojich webových stránkach. [4]

2.3.2 Himalájske údolia

Na druhej strane sveta, presnejšie v Ázii má vodná energia ešte dôležitejšiu úlohu. Himalájske údolia sú ťažko dostupné pre vedenie elektrickej energie káblami, preto mnoho dedín nemá elektrinu. Pár posledných desaťročí sa začala elektrifikácia pomocou MVE. Na väčšine územia v Himalájach je dosť vody z topiaceho sa snehu a ľadovcov. MVE s výkonom len 20 kW vie vyprodukovať dostatok energie pre osvetlenie domácností v celej dedine a pohon strojov pri výrobe jednoduchých produktov. Na výrobu používajú tzv. „Peltric set“, čo je Peltonova turbína s vertikálnym prívodom vody a generátor na priamo spojený s turbínou. V údoliach, kde nie je dostatočný prietok na výrobu energie sa väčšinu roka používajú reverzné čerpadlá, ktoré v období s malým prietokom čerpajú vodu do susedného údolia, kde nadlepšujú prietoky v inom toku, Obrázok 2.2.



Obrázok 2.2: Použitie čerpadla v turbínovom a čerpadlovom režime v Nepále [5]

2.3.3 Keňa

V roku 2002 britská univerzita *Nottingham Trent University* spravila projekty, v rámci demonštrácie svojich technológií, na vodné „pikoelektrárne“ v subsaharskej Afrike presnejšie v Keni. Lokality boli dve Kathamba a Thima [6]. Následne ich *Eastern Africa office of Intermediate Technology Group* postavila a uviedla do prevádzky. V roku 2004 dostali ocenenie *Ashden Awards* v kategórii *Obnoviteľné zdroje, Energia pre rozvoj* [7].

Kathamba

Nasledujúci odstavec bol postavený na základe [8] a [9].

Dedina Kathamba leží 134 km južne od Nairobi na úpätí vrcholov pohoria Mount Kenya. Ako technológia MVE bola použitá Peltonova turbína s priamo pripojeným indukčným generátorom s reálnym výkonom 1,1 kW, ten odzrkadľuje účinnosť turbíny a generátora 48 %. Čistý spád je 28 m a prietok turbínou 8,4 l/s, v období sucha minimálne 3 l/s. Minimálne tečie v potoku 5 l/s 90 % roka. Pre zabezpečenie čo najdlhšieho využitia elektrárne postavila komunita obyvateľov na potoku malú nádrž s výškou maximálnej hladiny zadržania 1 m a objemom 80 m³. Objem 80 m³ stačí na výrobu energie počas 4 hodín vo večernej špičke ak prítok vody je 5,5 l/s. Z nádrže je odber vody pre turbínu spravený PVC potrubím s DN 110 mm, PN 6 a dĺžkou 158 m. Správne otáčky a frekvenciu generátora usmerňuje ovládač, Induction Generator Controller. Elektrárň zasobuje elektrickou energiou 65 domácností v okruhu 500 m. Distribučný systém je jednofázový. Celkové náklady v Tabuľka 2.1, stavebné práce robili obyvatelia dediny.

Tabuľka 2.1: Celkové náklady na stavbu MVE Kathamba [9]

Komponenty	Cena v US\$
Stavebné práce (nádrž, prevádzková budova)	250
Privádzač (PVC potrubie)	425
Turbína s elektro-príslušenstvom	1200
Distribučný systém (el. vedenie, šetriace žiarovky)	1750
Ručná práca (elektrické vedenie)	163
Celkom	3778\$

Thima

Nasledujúci odstavec bol postavený na základe [10] a [11].

Druhá lokalita Thima je podobne ako Kathamba 134 km južne od Nairobi. Použitá technológia MVE je čerpadlo v turbínovom režime s motorom, ktorý slúži ako indukčný generátor a produkuje výkon 2,2 kW, z toho vychádza účinnosť 45 %. Základné parametre sú čistý spád H 18 m a prítok Q na turbínu 28 l/s. Privádzač je priamo z vodného zdroja, cez PVC potrubie DN 160 mm s dĺžkou 90 m. Zdroj vody je horská rieka Rutui s vodnosťou väčšou než 100 l/s viac ako 90 % roka. Minimálny zaznamenaný prietok v období netradične dlhého sucha je 84 l/s. Tak ako v Kathamba je na generátore ovládač frekvencie a otáčok, Induction Generator Controller. Distribúcia je cez jednofázový systém a v okruhu 900 m zasobuje elektrickou energiou 110 domácností. Investičné náklady sú rozpísané v Tabuľka 2.2.

Tabuľka 2.2: Investičné náklady MVE Thima [11]

Komponenty	Cena v US\$
Stavebné práce (prevádzková budova)	250
Privádzač (PVC potrubie)	600
Turbína s elektro-príslušenstvom	1750
Distribučný systém (el. vedenie, šetriace žiarovky)	3365
Ručná práca (elektrické vedenie)	400
Celkom	6365\$

2.3.4 Srí Lanka

Na druhej strane nadšenie pre vodnú energetiku našla i Srí Lanka. V roku 1997 a 1998 postavili v dvoch lokalitách konkrétne Pathavita 2 a Kandaloya domáce elektrárne s výkonom 10 kW, ktoré slúžia v biznise na žehlenie oblečenia a výrobu ľadu. [12]

2.3.5 Thajsko – dedina Mae Wei

Dedina Mae Wei sa nachádza v severnom Thajsku v provincii Tak, dištrikt Tha Song Yang. Jej obyvatelia s pomocou študentov zo sveta postavili v roku 2008 domácu MVE s produkovaným výkonom 3 kW, podľa fotografií ovládacieho panela z ich webových stránok. Hrubý spád je 35 m, prítok neznámy. Prítok na turbínu je cez PVC potrubie s priemerom 100 mm. Vodný motor je čerpadlo v turbínovom režime, kde motor čerpadla je použitý ako generátor. Elektrárne napája blízku základnú školu s 10 počítačmi, internáty a ubytovňu pre učiteľa a riaditeľa školy. [13]

2.3.6 Malajzia – údolie Ba'Kelalan

Nasledujúce odstavce sú preložené z odborného článku [14].

Údolie Ba'Kelalan je situované v nedostupnom horskom teréne na pahorkatine Borneo v Malajzii. Dediny nie sú pripojené do elektrickej siete, kvôli ťažko dostupnému terénu v doline. Na osvetlenie v domácnostiach sa používajú sviečky alebo petrolejové lampy. Varenie prebieha na šporákoch poháňaných drevom, petrolejom alebo LPG. Ostatné spotrebiče používajú elektrickú energiu vyrobenú dieselovým/petrolejovým agregátom. Petrolej, diesel a LPG sa dovážajú v kanistroch na autách cestami, ktoré až do roku 2011 boli nespevnené. Väčšina obyvateľov sú roľníci (pestujú hlavne ryžu), ostatní nájdu prácu v remeslách, v malých priemysloch ako šitie oblečenia alebo v službách.

V doline vzniklo od roku 2004 šesť MVE s výkonom od 7,5 kW do 30 kW, Tabuľka 2.3. V článku nepíšu podrobnejšie o technických parametroch malých vodných elektrární. Zdroj vody je rieka Kelalan s jej prítokmi. Lokalita ako pahorkatina naznačuje vysoké spády a nižšie prítoky. Žiadna z elektrární nemá batérie na uschovanie elektrickej energie.

Tabuľka 2.3: MVE v údolí Ba' Kelalan [14]

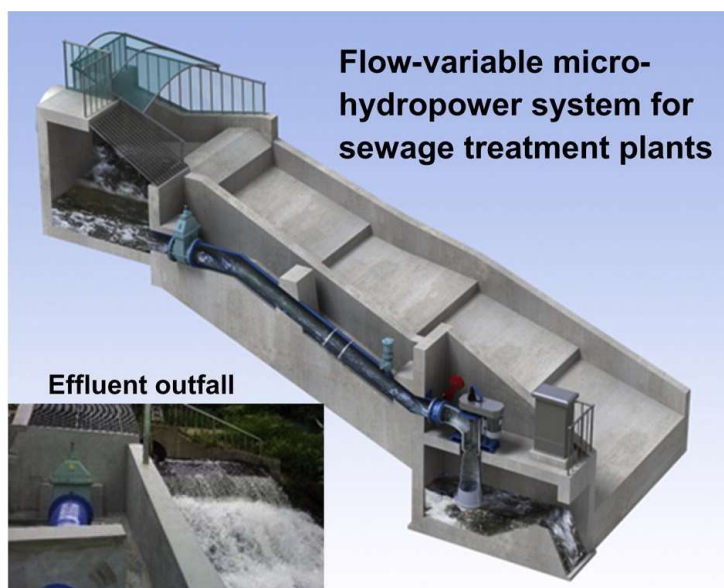
Dedina	Financovanie	Rok	Výkon	Odber el. energie
Buduk Nur	Súkromné	2004	7,5 kW	Jablkový sad, 9 domácností
Buduk Aru	Komunita	2006	10 kW	Internátna náboženská škola
Buduk Nur	Vláda	2008	30 kW	Klinika, kostol, 76 domácností
Buduk Bui	Komunita	2008	12,5 kW	Kostol, 26 domácností
Long Langai	Vláda	2010	15 kW	Kostol, 35 domácností
Long Rusu	Vláda	2010	35 kW	Kostol, 19 domácností

V dedine Buduk Nur nie je stála dodávka energie. Problémy sú v suchom období, hlavne v auguste, keď nie je dostatok vody v potoku. Ďalej je problém v preťažení elektrickej siete v špičkových hodinách. Proti preťaženiu siete elektrárne vydali kvóty na počet maximálnych zapnutých spotrebičov na domácnosť avšak obyvatelia ich nedodržiavajú. Jediná klinika v oblasti, ktorá potrebuje mať stály prísun elektrickej energie, aby mohla mať zapojenú chladničku na vakcíny, musela po krátkom skúšobnom čase prejsť znova na iný druh prísunu elektrickej energie než je elektrina z MVE.

Elektrická energia je voľne prístupná všetkým obyvateľom v dedinách bez poplatku. Prevádzka elektrární sa nesnaží predísť problémom a rieši ich až keď nastanú, vtedy každá domácnosť prispeje finančne i pracovnou silou na opravu.

2.3.7 Južná Kórea – MVE na výtoku z ČOV

V Južnej Kórei sú čistiarnie odpadných vôd energeticky samostatné len na 0,8 % (v roku 2010) [15], to je percentuálny podiel elektriny vyrábajúcej v ČOV. Dlhodobý výskum vedcov viedol až k postaveniu MVE pri ČOV Kiheung Respia, Obrázok 2.3.



Obrázok 2.3: MVE pri ČOV Kiheung Respia [15]

Počas 14 mesiacov zbierali dáta z MVE a porovnávali ich s výsledkami dosiahnutými v laboratóriu. Presná lokalita v rámci areálu ČOV bola vybraná za výtokovým potrubím z ČOV do recipientu, nakoľko v danom mieste bol najvyšší výškový rozdiel. Za spomenutým potrubím postavili malú nádrž, na zadržiavanie vody, z nej ide tlakový privádzač na turbínu. Ak je vyšší prietok než vie turbína spracovať, tak zvyšná voda je cez prepadovú hranu vedená obtokom z nádrže do recipientu. Obtok je betónová kaskáda so 4 stupňami. MVE nesmie za žiadnych okolností ovplyvňovať kapacitu ČOV. Turbína je semi-kaplanova, t. j. nemá rozvádzacie lopatky len natáčacie lopatky v obežnom kolese. Použitý je indukčný generátor od firmy Siemens pre jeho lepšie vlastnosti i cenu na rozdiel od synchronného generátora. Výtok z turbíny je nasávacou rúrou do malej betónovej zdrže, aby bolo dosiahnuté za každých okolností zatopenie výtoku z nasávacej rúry pre lepšiu účinnosť turbíny a nebolo závislé od výšky hladiny v recipiente. [15]

V nasledujúcej tabuľke je porovnanie výsledkov z merania na ČOV a v laboratóriu.

Tabuľka 2.4: Porovnanie laboratórnych a reálnych výsledkov v Južnej Kórei [15]

1.7.2013-30.8.2014	Laboratórium	MVE pri ČOV Kiheung Respia	
Parametre	Návrhové	Skutočné pri návrhových	Skutočné
Prietok [m ³ /s]	0,35	0,35	0,07-0,55 (0,27)
Čistý spád [m]	4,3	4,3	4,01-4,52 (4,28)
Elektrický prúd výstup [kW]	12,3	11,7	4,1-13,3 (8,48)
Účinnosť turbíny [%]	90,2	90,1	88,1
Účinnosť generátoru [%]	92,2	88,1	26-80 (75,9)
Celková účinnosť [%]	83,2	79,4	63,3
Ročná produkcia elektriny [MWh]	79,7	-	68,1

Reálne namerané hodnoty sa líšili od laboratórnych hlavne, čo sa týka vyrovnanosti prietokov a tým súvisiacou ročnou produkciou elektriny. Prietok sa pohyboval vo väčšom rozpätí a priemerná hodnota bola nižšia než na akú robili návrh. Za návrhových podmienok mali účinnosť turbíny skoro rovnakú, líšila sa o 0,1 %. Vyrobená elektrická energia na výstupe bola nižšia kvôli odchýlke účinnosti generátora. Rozdiel medzi laboratórnou účinnosťou a skutočnou bola 4,1 %. V laboratóriu vypočítali ročnú produkciu elektrickej energie na 79,7 MWh, očakávaný výsledok merania bol naplnený len na 85,4 %.

2.3.8 Česká republika - MVE pri vodojeme Beroun

V Českej republike bola v máji 2016 uvedená do prevádzky MVE pri vodojeme Beroun, kde využili zvyškový spád 56 m na privádzači do vodojemu. Použitá je Peltonova turbína s inštalovaným výkonom 16 kW, prietoky sa pohybujú v rozpätí 10 l/s až 42 l/s. Nakoľko turbína je poháňaná pitnou vodou, všetky jej súčiastky sú vyrobené z materiálov splňujúcich požiadavky na styk s pitnou vodou. [16]

2.3.9 Slovenská republika – Vysokohorská chata

Slovenské elektrárne v roku 2009 odštartovali program *Energia pre prírodu*, v rámci ktorého je snaha o ekologickejšie chaty vo vysokohorskom teréne vo Vysokých Tatrách [17]. Jeden

z projektov bolo obnovenie MVE pri Chate pri Zelenom plese (Obrázok 2.4) tak, aby sa mohlo prejsť v čo najväčšej miere z energie vyrábanej dieselovým agregátom na tzv. zelenú energiu. Štúdiu projektu rekonštrukcie MVE vypracovali profesor Peter Dušička a docent Tomáš Hodák z Katedry hydrotechniky na Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. Obnova zahŕňala opravu vodotesnosti priehradného múru, výmenu hradiaceho uzáveru na priehradnom múre a uzáveru pred turbínou, vybudovanie obtoku turbíny a novú turbínu i s celou elektro časťou. Použila sa turbína Bánki s očakávaným výkonom 10 kW, spád je približne 10 m a prietok 80 l/s - 120 l/s [18]. Projekt bol realizovaný v dvoch etapách a to v rokoch 2011 a 2012.



Obrázok 2.4: Dispozičné riešenie MVE Chata pri Zelenom plese [18]

3 ZÁKLADNÉ VELIČINY V STATI VODNÝCH ELEKTRÁRNÍ

Celá nasledujúca podkapitola vychádza z vysokoškolských skrípt [19] a je zameraná predovšetkým na oblasti fyzikálnych vlastností vody a hydrauliky v privádzačoch vodných elektrární, následne sa venuje definičným parametrom vodného zdroja a problematike výkonu vodných motorov.

3.1 FYZIKÁLNE VLASTNOSTI VODY

Merná hmotnosť kvapalín je závislá od teploty a nepatrne od tlaku. Zvýšením teploty sa kvapaliny rozťahujú, čím sa znižuje ich merná hmotnosť. Opačne pri znižovaní teploty. Jediná výnimka je voda, kde platí tzv. anomália vody. Zvyšovaním teploty z 0 °C na 4 °C sa voda nerozťahuje ale zmršťuje, teda hustota rastie. Po prekročení 4°C sa voda správa ako každá iná reálna kvapalina. Reálna kvapalina je málo stlačiteľná ale dôsledkom zmien vonkajšieho tlaku sa prejavuje stlačiteľnosť.

Tabuľka 3.1: Merná hmotnosť a kinematická viskozita vody pri tlaku $1,01 \cdot 10^5$ Pa [19]

T [°C]	ρ [kg/m ³]	ν [m ² /s]	T [°C]	ρ [kg/m ³]	ν [m ² /s]
0	999,84	$1,7938 \cdot 10^{-6}$	50	988,24	$0,515 \cdot 10^{-6}$
4	999,97	$1,5671 \cdot 10^{-6}$	60	983,38	$0,478 \cdot 10^{-6}$
10	999,70	$1,3101 \cdot 10^{-6}$	70	977,99	$0,415 \cdot 10^{-6}$
20	998,20	$1,0105 \cdot 10^{-6}$	80	972,01	$0,367 \cdot 10^{-6}$
30	995,65	$0,804 \cdot 10^{-6}$	90	965,30	$0,327 \cdot 10^{-6}$
40	992,36	$0,661 \cdot 10^{-6}$	100	959,69	$0,294 \cdot 10^{-6}$

3.2 HYDRAULIKA V PRIVÁDZAČOCH VODNÍCH ELEKTRÁREN

Privádzače na MVE sú väčšinou potrubia kruhového prierezu, v ktorých je ustálený pohyb kvapaliny, tzn. platí Bernoulliho rovnica pre skutočnú kvapalinu:

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + h_z, \quad (3.1)$$

- kde h polohová (geodetická) výška [m];
 p tlak na kvapalinu [N/m²];
 ρ merná hmotnosť kvapaliny [kg/m³];
 g gravitačné zrýchlenie [m/s²];
 α Coriolisovo číslo [-];
 v prierezová rýchlosť [m/s] (3.2);
 h_z stratová výška mechanickej energie [m].

Prierezová rýchlosť sa spočíta ako:

$$v = \frac{Q}{S}, \quad (3.2)$$

- kde Q prietok vody [m³/s];
 S prietokná plocha [m²].

Strata mechanickej energie (ďalej označené len ako strata) sa skladá zo strát miestnych a strát trením:

$$h_z = \sum h_m + \sum h_t, \quad (3.3)$$

kde h_z stratová výška mechanickej energie [m];

$\sum h_m$ súčet všetkých miestnych strát [m];

$\sum h_t$ súčet všetkých strát dôsledkom trenia na danom úseku [m].

3.2.1 Straty miestne

Straty miestne vznikajú deformáciou rýchlostného poľa, ktoré nastáva pri rôznych situáciách:

- zmena prierezu potrubia;
- Zmena smeru (kolena, oblúky)
- Zlúčenie alebo oddelenie prúdu
- Na armatúrach (uzatváracie zariadenia, ventily)
- A iné.

Výpočet miestnej straty podľa Weisbacha je definovaná vzťahom:

$$h_m = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.4)$$

kde h_m miestna strata [m];

ξ súčiniteľ miestnej straty pre danú singularitu [-];

v prierezová rýchlosť [m/s].

V ďalších kapitolách je rozpísaná voľba súčiniteľa miestnej straty pre rôzne druhy prierezov.

Kónické zúženie prierezu

Náhlym zúžením je nutné vymeniť súčiniteľ miestnej straty ξ vo vzorci 3.4 za súčiniteľ miestnej straty pri náhlom rozšírení prierezu ξ_{z2} , ktorý sa počíta podľa rovnice:

$$\xi_{z2} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2, \quad (3.5)$$

kde ξ_{z2} súčiniteľ miestnej straty pri náhlom zúžení prierezu [-];

ε súčiniteľ zúženia [-] (3.6).

Súčiniteľ zúženia ε závisí od pomeru plôch prierezov $n = \frac{S_2}{S_1}$ a počíta sa podľa rovnice 3.5.

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1-n} \quad (3.6)$$

Pre dosiahnutie nižších miestnych strát (menší súčiniteľ ξ) je lepšie urobiť zmenu priemeru potrubia kónicky. Hodnota súčiniteľa ξ_{zk2} bola zistená experimentálne a výsledky sú zapísané v Tabuľka 3.2. Súčiniteľ miestnej straty kónickým zúžením ξ_{zk2} sa dosadí do rovnice 3.4 namiesto ξ .

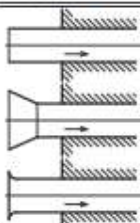
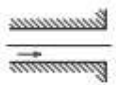

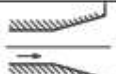
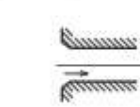
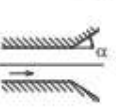
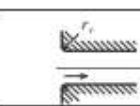
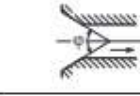
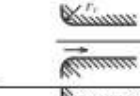

Tabuľka 3.2: Kónické zúženie priemeru potrubia hodnoty súčiniteľov miestnej straty [19]

2δ	5°	7°	10°	15°	20°	30°	45°	60°	75°
$\xi_{zúž}$	0,06	0,12	0,16	0,18	0,20	0,24	0,30	0,32	0,34

Hydraulický odpor na vtoku do potrubia a výtoku z potrubia

Spôsob prevedenia vtoku do potrubia (výtoku z potrubia) má rôzne súčinitele miestnej straty, vid' Tabuľka 3.3. Následne sa dá nahradit' ξ v rovnici 3.4 novým súčiniteľom ξ_{vi} pre vtok a ξ_{ni} pre výtok.

Tabuľka 3.3: Hodnoty súčiniteľa miestnej straty pre vtok a výtok, L je dĺžka zrezania, D je priemer potrubia [19]

typ vtoku	popis, platnosť	ξ_{vi}	typ výtoku	popis,	ξ_{ni}
	potrubí zasahuje do nádrže	0,8 - 1,0		ostrohranný výtok	1,10
	ostrá vstupní hrana	0,5		$L > 2,2 D$	0,15
	seříznutá vstupní hrana $L/D \cong 0,1$	0,25		$\alpha = 20^\circ$ $\alpha = 40^\circ$ $\alpha = 60^\circ$	0,40 1,00 1,15
	zaoblená vstupní hrana $r_v/D \cong 0,06$	0,20			
	kónický rozšířený vtok $\varphi \in \langle 40^\circ; 80^\circ \rangle$ $L \in \langle 0,2; 0,3 \rangle D$	0,13			
	kruhově zaoblený vtok $r_v = 0,2 D$ $L = 1,25 D$	0,11			
	vtok podle Liskovce (strofoida)	0,04			

Miestna strata v oblúkoch a kolenách potrubia

Potrubie nemusí byť priame ale môže zmenit' smer pomocou kolien. Odpor v kolenách majú za následok tieto zložky:

- Trenie
- Odtrhnutie prúdu hlavne v oblasti pri vnútornej stene kolena
- Priečny pohyb kvapaliny

V ostrých kolenách vznikajú väčšie odpory než v plynulejších oblúkovitých alebo segmentových kolenách, vid' Tabuľka 3.4.

Tabuľka 3.4: Koeficient miestnej straty pre ostré koleno v závislosti na drsnosti potrubia a uhlu zmeny smeru [19]

δ°	10°	15°	22,5°	30°	45°	60°	90°
$\xi_{sh} (\Delta D < 0,001)$	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
$\xi_{sd} (\Delta D > 0,001)$	0,044	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

V rovnici 3.4 sa nahradí ξ súčiniteľom miestnej straty pre ostré koleno ξ_{sh} alebo ξ_{sd} podľa drsnosti potrubia.

3.2.2 Straty trením

Strata trením vzniká pri pohybe kvapaliny po celej dĺžke prúdu medzi vrstvami kvapaliny a trením o pevné steny vedúceho prúdu. Pre rovnomerné prúdenie kvapaliny v potrubí platí vzťah podľa Darcy-Weisbacha na výpočet výšky straty trením:

$$h_t = i \cdot L = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.7)$$

kde h_t stratová výška mechanickej energie [m];

i hydraulický sklon [-];

L dĺžka potrubia v danom úseku [m];

λ súčiniteľ trenia [-];

D priemer potrubia [m];

v prierezová rýchlosť [m/s].

Súčiniteľ trenia λ

Súčiniteľ trenia závisí na drsnosti a priemere potrubia a hodnote Reynoldsova kritéria (3.8).

Reynoldsovo kritérium rozdeľuje prúdenie na laminárne ($Re < 2320$) a turbulentné ($Re > 2320$). Prechod medzi laminárnym a turbulentným nie je náhly ale existuje prechodná oblasť. Pre hladké potrubia je prechodná oblasť orámcovaná $Re = 1000$ až 10000 , pre drsné potrubia je hranica oveľa nižšie Re , od 500 .

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}, \quad (3.8)$$

kde Re Reynoldsovo kritérium (číslo) [-];

ν kinematická viskozita kvapaliny [m^2/s].

Spôsob výpočtu súčiniteľa trenia vieme rozdeliť do oblastí s rôznymi zákonitosťami:

- **Laminárny režim prúdenia** $\lambda = f(Re)$:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (3.9)$$

kde λ súčiniteľ trenia [-].

- **Turbulentné prúdenie hydraulicky hladké potrubie** $\lambda = f(Re)$

Víry, které vznikají na výstupkoch potrubia zostávají pri stene v medznej vrstve a neodtrhávajú sa od nej preto nezväčšujú turbulenciu prúdenia, môžu sa teda zanedbať. Potrubie sa považuje za hydraulicky hladké ak spĺňa podmienku:

$$\delta > 5 \cdot \Delta, \quad (3.10)$$

kde δ hrúbka medznej vrstvy [mm] (3.11);

Δ drsnosť stien potrubia [mm].

$$\delta = \frac{23,6 \cdot \nu}{\sqrt{g \cdot D \cdot i}}, \quad (3.11)$$

kde ν kinematická viskozita kvapaliny [m²/s];

D priemer potrubia [m];

i hydraulický sklon [-].

Podľa Prandtl-Karmána:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log \left(\frac{Re \cdot \sqrt{\lambda}}{2,51} \right), \quad (3.12)$$

kde λ súčiniteľ trenia [-];

Re Reynoldsovo kritérium (číslo) [-].

- **Turbulentné prúdenie prechodná oblasť strát trením** $\lambda = f \left(Re, \frac{\Delta}{D} \right)$

Na súčiniteľ trenia má vplyv nielen Reynoldsovo číslo ale aj relatívna drsnosť potrubia vzťahnutá na priemer potrubia.

- **Turbulentné prúdenie kvadratická oblasť strát trením** $\lambda = f \left(\frac{\Delta}{D} \right)$

Platí pre drsné potrubia, u ktorých nie je medzná vrstva a je plne vyvinuté turbulentné prúdenie.

Nikurad odvodil vzťah:

$$\lambda = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{3,7 \cdot D}{\Delta} \right) \right]^2} \quad (3.13)$$

kde λ súčiniteľ trenia [-];

D priemer potrubia [m];

Δ drsnosť stien potrubia [mm].

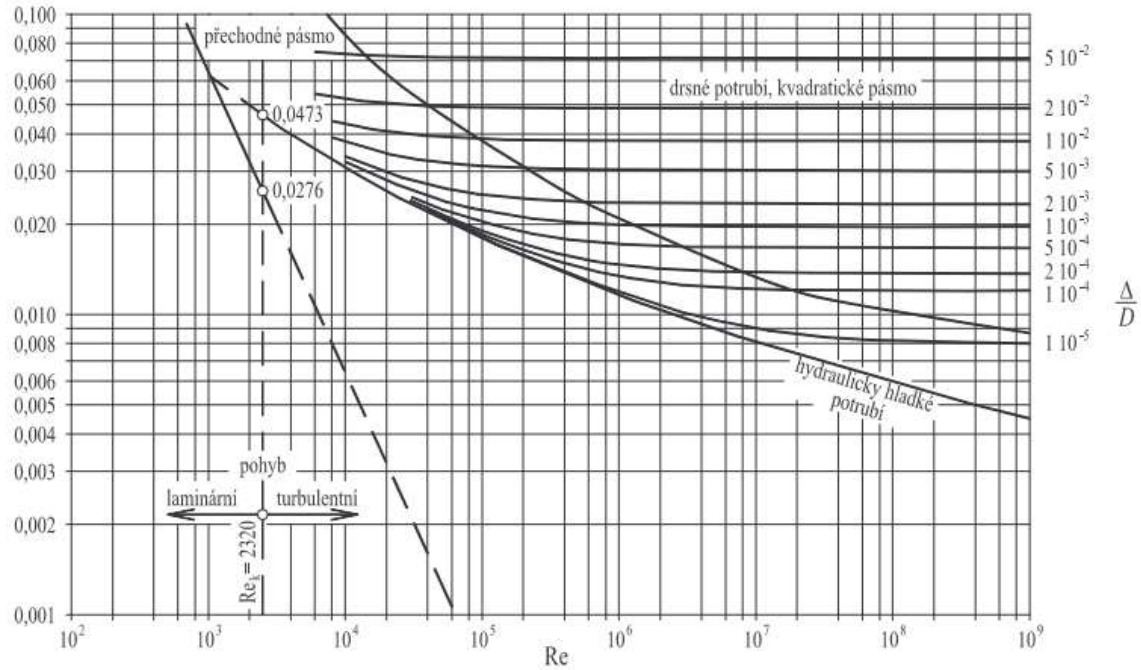
Kvadratická oblasť strát je pri $Re > \frac{191}{\sqrt{\lambda}} \cdot \frac{D}{\Delta}$.

V celej oblasti turbulentného prúdenia platí rovnica Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7 \cdot D} \right), \quad (3.14)$$

kde Δ absolútna drsnosť stien potrubia [mm].

Grafické znázornenie Colebrook-White rovnice je zrejme z Moodyho diagramu (Obrázok 3.1).



Obrázok 3.1: Moodyho diagram [19]

3.3 VÝKON VODNÉHO ZDROJA A VODNÝCH MOTOROV

Nasledujúce údaje pochádzajú z [20].

Mechanickú formu hydraulickej energie v určitom mieste vodného zdroja možno zapísať rozšírením Bernoulliho rovnice (3.1):

$$E_t = \left(z + \frac{p}{\rho} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} \right) \cdot Q \cdot t \cdot \rho, \quad (3.15)$$

- kde E_t merná energia vody v mechanickej forme [kgm];
 z potenciálna energia polohy [m];
 $\frac{p}{\rho}$ tlaková výška [m];
 $\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}$ kinetická výška [m];
 Q prietok vody [m^3/s];
 t čas [s];
 ρ merná hmotnosť vody [kg/m^3].

Teoretický výkon vodného zdroja medzi dvomi profilmi môžeme vyjadriť:

$$P_t = \frac{E}{t} = \left(z_1 - z_2 + \frac{p_1 - p_2}{\rho} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2 - \alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \right) \cdot Q \cdot \rho, \quad (3.16)$$

- kde P_t teoretický výkon vodného zdroja [kgm/s];
 $z_1 - z_2$ zmena polohovej energie [m];
 $\frac{p_1 - p_2}{\rho}$ zmena tlakovej energie [m];

$$\frac{\alpha_1 \cdot v_1^2 - \alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \quad \text{změna kinetické energie průdu mezi profily [m].}$$

Vypočítanou hydraulickou energii ne je možné v plné míře využít vodními motory, protože vznikají ztráty na přívádacích, ve vodním motore a podobně. Proto se zavádí poměrové číslo η_z jako účinnost využití vodního zdroje, které vyjadřuje poměr mechanické účinné energie využitelné vodními motory k teoretické hydraulické energii vodního zdroje.

Skutečný výkon vodních motorů vodního zdroje se dá vyjádřit jako:

$$P = \left(H_b + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2 - \alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \right) \cdot Q \cdot \rho \cdot \eta_z, \quad (3.17)$$

- kde P skutečný výkon vodních motorů [kgm];
 H_b hrubý (brutto) spád statický [m];
 $\frac{\alpha_1 \cdot v_1^2 - \alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g}$ rozdíl kinetických spádů [m];
 Q přítok vody [m³/s];
 η_z účinnost využití vodního zdroje [-].

Brutto statický spád chápeme jako rozdíl výšek hladin na začátku a konci vodního zdroje. Užitečný spád bude zmenšený o hydraulické ztráty, které nastávají v přívádacích a odtokoch z vodních motorů. Dá se vyjádřit rovnicou:

$$H = H_b + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2 - \alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} - \sum h_z, \quad (3.18)$$

- kde H užitečný spád [m];
 H_b hrubý (brutto) spád statický [m];
 $\frac{\alpha_1 \cdot v_1^2 - \alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g}$ rozdíl kinetických spádů [m];
 $\sum h_z$ součet hydraulických ztrát na spáde [m].

Teda je možné zapsat užitečný mechanický výkon jako:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_z, \quad (3.19)$$

- kde P užitečný mechanický výkon na hriadelu vodního motoru [W];
 Q přítok vody [m³/s];
 η_z účinnost využití vodního zdroje [-].

Hydraulická energie se přeměňuje ve vodních motorech na energii mechanickou a tá se následně přeměňuje na generátorech na energii elektrickou. Posledná spomenutá přeměna též probíhá se ztrátami a tak se musí doplnit rovnice (3.19) o další parametry:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot \eta_g, \quad (3.20)$$

- kde P užitečný elektrický výkon na svorkách generátoru [W];
 η_m účinnost vodního motoru [-];
 η_p účinnost převodu [-];
 η_g účinnost generátoru [-].

Elektrická energia vyrobená generátorom sa potom môže vypočítat' ako:

$$E = P \cdot t, \quad (3.21)$$

kde E vyrobená elektrická energia na generátore [Wh];
 P užitočný elektrický výkon na svorkách generátora [W];
 t čas [hod].

4 VODNÝ MOTOR POUŽITELNÝ V MVE

Pán Čábelka vo svojej knihe *Využitie vodnej energie* napísal: „Vodný motor mení hydraulickú energiu vody na mechanickú energiu na hriadeli motora.“

4.1 TYPY VODNÝCH MOTOROV

Ako bolo povedané v predchádzajúcich kapitolách, výkon závisí na 3 nestacionárnych parametroch (prietok, spád, účinnosť). Podľa nich sa vyberá správny typ vodného motora pre daný vodný zdroj. Je zrejmé, že každý z motorov je lepšie prispôsobený na iné geofyzikálne podmienky.

Bakalárska práca sa nezaobera turbínami typu Francis a Kaplan, nakoľko sa neočakáva ich použitie v praxi na zvyškových spádoch a prietokoch. Francisova turbína zvláda nízke spády ale potrebuje vysoké prietoky, čo na lokalitách so zvyškovým prietokom nie je možné dosiahnuť. Na druhej strane typ Kaplan potrebuje mať skoro konštantný prietok alebo spád nakoľko rýchlo klesá účinnosť pri zmene parametrov. Dosiachnutie prevádzky schopnej mať konštantné veličiny by bolo finančne nákladné.

Typy vodných motorov ďalej rozoberaných: Peltonova turbína, TURGO turbína, SETUR turbína, turbína Michell-Bánki, vírová turbína, reverzné čerpadlo v turbínovom režime.

4.1.1 Peltonova turbína

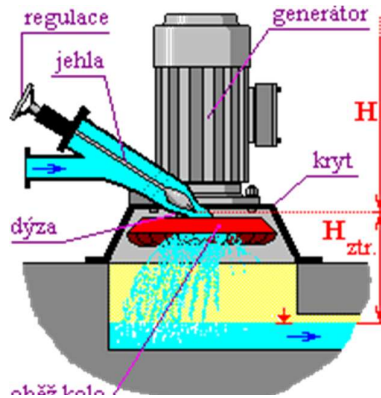
Tangenciálna rovnotlaková turbína, Obrázok 4.1, ktorá sa používa pri vysokých spádoch ($H = 15 \text{ m} - 2200 \text{ m}$) a relatívne malých prietokoch ($Q = 0,01 \text{ m}^3/\text{s} - 3 \text{ m}^3/\text{s}$) [2]. Má dobrú účinnosť až 90 % a malú závislosť od zmien prietoku. Zmena spádu veľmi ovplyvňuje účinnosť. Prednosť Peltonovej turbíny je spomenutá dobrá účinnosť a to i pri okrajových hodnotách prietokov a mernej energie. Rozvádzačie ústrojenstvo tvorí dýza, ktorá voľným lúčom strieka vodu na lopatky obežného kola tesne pri obvode rotora. Lopatky obežného kola majú dvojlyžicovitý tvar a dajú sa natáčať podľa aktuálneho prietoku. Hlavný lúč vody dopadá presne do stredu lopatky, kde má kolmý tvar na prúd vody a tým pádom najlepšiu účinnosť predania energie. Prietok je regulovaný osovým posunom ihly na konci dýzy. Pre MVE sa používajú Peltonové turbíny s počtom dýz väčšinou 1 až 2, maximálne 4. Zvyšovanie počtu dýz je priamo úmerné prietoku, teda výkonu. Pri inštalácii je nutné myslieť na vodný ráz. Hmotnosť turbíny závisí od počtu dýz a priemeru obežného kola, pohybuje sa od 5000 kg (DN 300) do 50 000 kg (DN 1500) [2].



Obrázok 4.1: Peltonova turbína [21]

4.1.2 TURGO turbína

Je rovnotlaková turbína, Obrázok 4.3, s vyššími špecifickými otáčkami než Peltonova a vynikajúco kryje oblasť medzi Peltonovou a Francisovou turbínou. Približná účinnosť je 92 % [2]. Pracuje na rovnakom princípe ako Peltonova turbína, má len pár odlišností. Tvar lopatky je jednoduchá lyžička, Obrázok 4.2, ktorá je viac plochá, na rozdiel od Peltonovej dvoj-lyžičky. Trajektória vody je tangenciálna k obežnému kolesu a nedochádza k interferencii vstupujúcej a vystupujúcej vody, čo umožňuje vyššiu kapacitu motora. V niektorých prípadoch Turgo môže byť priamo napojené na generátor, teda nepotrebuje prevod na zvyšovanie otáčok, čím šetrí investície. Turgo nemá problém s nečistotami vo vode, vynikajúco pracuje v „špinavej“ vode. Má len jednu nevýhodu, vyžaduje dodržanie normovaných otáčok inak stráca na účinnosti.



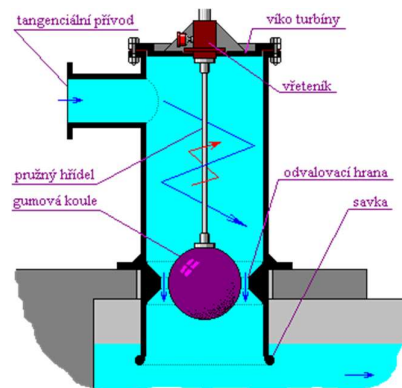
Obrázok 4.3: Turgo turbína [22]



Obrázok 4.2: Obežné koleso Turgo [23]

4.1.3 SETUR turbína

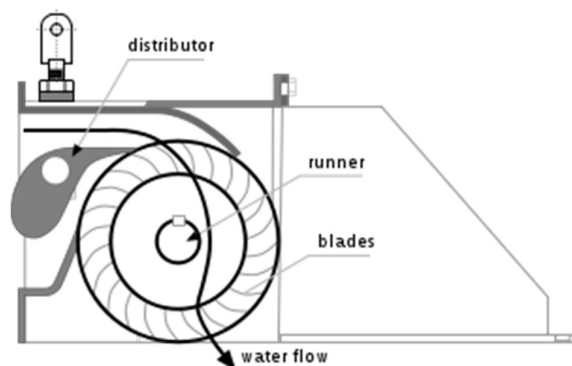
SETUR je bezlopatková turbína Obrázok 4.4, ktorá vie pracovať pri veľmi malých prietokoch ($Q = 0,004 - 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) a malých spádoch ($H = 0,6 - 20 \text{ m}$) [25]. Výrobca zaručuje účinnosť 55 % – 75 % [24]. Má samoregulačné vlastnosti, otáčky ani pri odľahčení nevedia klesnúť na priebežné. Spoľahlivo pracuje i počas polovičného nominálneho prietoku. Turbína nepotrebuje umiestnenie v budove a je ľahko prenosná. Umiestnenie môže byť v koryte toku alebo mimo, prívod vody cez flexi hadicu. Nie sú žiaduce nečistoty ani živočíchy, preto je nutné opatriť vtok sieťovinou, príp. česlami.. Inštalovaný výkon je v rozpätí 75 W až 75 000 W [25].



Obrázok 4.4: Podrobná schéma turbíny SETUR [25]

4.1.4 Michell-Bánki turbína

Rovnotlaková radiální turbína s dvojitým prietokom, kde prvý prietok (dostredivý) odovzdá okolo 79 % energie celkového výkonu a druhý (odstredivý) odovzdá 21 %. Účinnosť až 85 % [2], je možné zvýšiť použitím savka. Vhodná pre široké spektrum prietokov ($Q = 0,02 \text{ m}^3/\text{s} - 9 \text{ m}^3/\text{s}$) [2] a nízke až stredné spády ($H = 1 \text{ m} - 200 \text{ m}$) [26]. Optimálny spád je 1 m – 30 m. Výkon od 1 kW do 1 MW [2], priamo vhodné pre malé vodné elektrárne. Princíp je uvedený na Obrázok 4.5: Celý spád vody sa premieňa na pohybovú energiu. Voda vstúpi tangenciálne do obežného kolesa, kde lopatky prinúti vodu zmeniť smer do stredu k hriadeľu. Voda prejde zavzdušneným stredovým priestorom a následne lopatky na opačnej strane lopatkového venca prinúti vodu opäť zmeniť smer (odstredivá sila). Voda po opustení lopatiek voľne vyteká pod obežným kolesom. Turbína nie je náchylná na kavitáciu ani abráziu pieskom. Nevadí jej točenie bez záťaže. Rovnako ako SETUR okysličuje vodu. Nie je vhodné navrhovať, ak sa predpokladá kolísanie spodnej vody. Prietok je regulovaný segmentovým uzáverom alebo regulačnou klapkou (jednoduchšia manipulácia). Regulačný uzáver pri dvojsečnom obežnom kolese nebýva v jednom kuse, ale je delený rovnako ako turbína na 1/3 a 2/3, čím sa dosahuje najlepšej účinnosti. Pred vstupom do turbíny je nutné zmeniť profil privádzača z kruhového na obdĺžnik.



Obrázok 4.5: Princíp Michell-Bánki turbíny [27]

4.1.5 Vírová turbína

Nasledujúca kapitola je založená na údajoch zo zdrojov [29], [2].

Axiálna turbína určená pre malé spády ($H = 1 \text{ m} - 5 \text{ m}$) a relatívne veľké prietoky ($Q \geq 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$) s účinnosťou až 85 %. Investičné náklady sú nižšie vďaka dvom konštrukčným prvkom. Ako axiálna turbína nepotrebuje rozvádzačie lopatky a špirálu, čím sa šetrí na nákladoch výroby a na údržbe. Rýchlobežnosť dovoľuje priamemu napojeniu turbíny na generátor. Na druhej strane má nevýhody v nemožnej regulovateľnosti lopatiek turbíny a malú citlivosť na otáčkovú reguláciu, jediná možná je hladinová regulácia. Primárne využitie je na hatiach, starých náhonoch a pri využití odpadných kanálov vody z tepelných elektrární. Turbína bola patentovaná v Českej Republike v roku 2000 na *Ústave fluidního inženýrství Victora Kaplana VUT* v Brne. V praxi sú použité 4 varianty usporiadania turbíny:

- priamo prúdová;
- násoskové prevedenie;
- s prstencovým motorom;
- s diskovým motorom (ľahká regulácia pri zmene spádu);
- s kaskádovou mrežou (využitie pri vyšších spádoch).

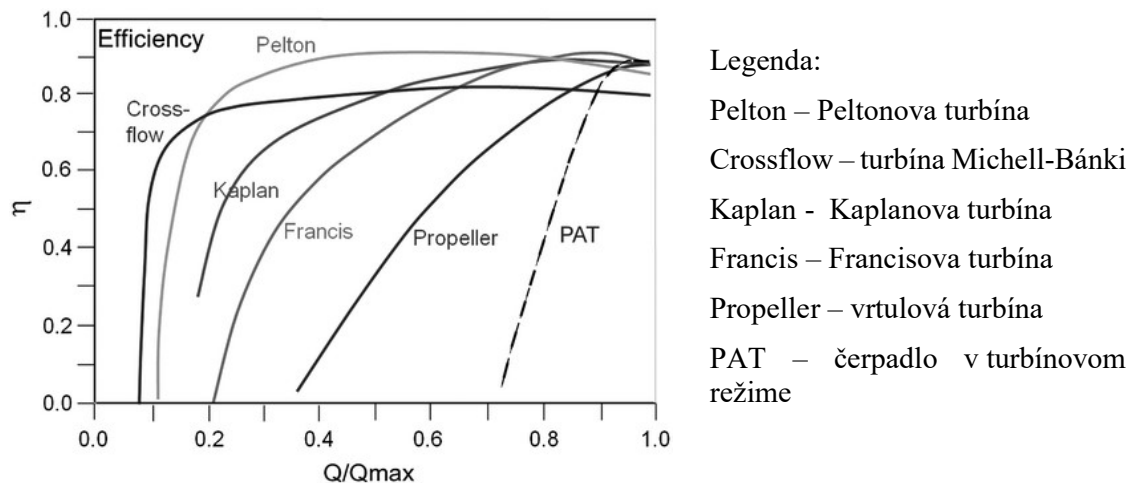
Hlavná prednosť spočíva v nižších investičných nákladoch než by bolo treba na Francisovu turbínu, ktorá má využitie na rovnakých vstupných parametroch. Oproti Kaplanovej turbíne má vyššiu účinnosť pri malých spádoch.

4.1.6 Reverzné čerpadlo v turbínovom režime

Reverzné čerpadlo ako hydraulický stroj môže pracovať v dvoch režimoch, v čerpadlovom a turbínovom, záleží na smere otáčania obežného kolesa. Obidva režimy sú veľmi výhodné, nakoľko účinnosť je veľmi dobrá, dokonca má čerpadlo v turbínovom režime často vyššiu účinnosť než v čerpadlovom. Vyplýva to zo zakrivenia lopatiek obežného kolesa, keď v čerpadlovom režime lopatky vytvárajú difúzorový charakter prúdenia vody na výstupe, zatiaľ čo v turbínovom režime má prúdenie konfúzorové vlastnosti, pretože lopatky lepšie kopírujú zakrivenie trajektórie vody na výstupe.

Tento princíp funguje i naopak, čo znamená, že každú turbínu by bolo možné použiť ako čerpadlo. Takýto prístup ale prináša zopár nevhodných následkov. Za prvé veľmi vysoké investície, keďže turbína je drahšia než čerpadlo a v čerpadlovom režime by nemala takú dobrú účinnosť ako bolo povedané v predchádzajúcom odstavci. Za druhé by dochádzalo k nadmernému opotrebeniu stroja, pre upresnenie vnútorná strana lopatiek je pri takomto chode náchylnejšia na kavitáciu.

Výhody reverzného čerpadla nad turbínou sú v prvom rade nižšia cena, vzťahnutá na životnosť, čím sa čerpadlo stáva rentabilnejším. Zároveň čerpadlá sa predávajú v rôznych prevedeniach a sériách, teda nie je problém prípadne nahradiť jedno čerpadlo druhým. Čerpadlá sú navrhované na enormnú záťaž, čo znamená prepracovanie hydraulického motora je na najvyššej úrovni. Lopatky rozvádzača nie sú schopné sa natočiť ale sú pevné, tým pádom sa nedá regulovať prietok čerpadlom, to sa považuje odborníkmi za najväčšiu nevýhodu stroja. Nakoľko to ovplyvňuje účinnosť (krivka účinnosti má nadmerne strmý priebeh, znázornené na Obrázok 4.6 a je nutné starostlivo navrhnuť optimálny prietok.



Obrázok 4.6: Závislosť účinnosti vodných motorov od pomeru prietoku k maximálnemu možnému prietoku vodného motora [30]

Regulácia prietoku je samozrejme možná vloženie klapky, ktorá škrtí prietok, teda núti prietok byť aký je požadovaný, čím zvyšuje použiteľnosť optimálneho prietoku počas dlhšieho obdobia pri dostatočnom množstve média. Prístroj ale vyžaduje investície. Ďalšia nevýhoda spočíva v nedostatočných podkladoch od výrobcov, ktorý nedodávajú presné charakteristiky účinnosti (operačné krivky) v turbínovom režime, čo spôsobovalo problémy pri riešení vybranej lokality

v praktické části bakalářské práce, a z toho důvodu je těžké vybrat nejvýhodnější čerpadlo. Vždy je třeba konzultace s výrobcem.

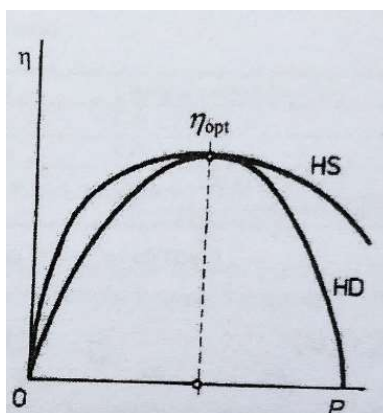
Při použití čerpadla v turbínovém režimu má další výhodu spočívající v zapojení do elektrické sítě. Nie je nutné mať generátor, pretože motor čerpadla vie slúžiť ako generátor, tým sa ušetria ďalšie investičné náklady.

Čerpadlá sa delia podľa fyzikálneho princípu na dve skupiny [31]:

- hydrodynamické (HD) – premena mechanickej energie na hydraulickú prebieha nepriamo, využíva sa kinetická energia kvapaliny;
- hydrostatické (HS) – premena mechanickej energie na hydraulickú prebieha priamo na pohybujúcom sa pieste buď priamočiarno alebo rotačne.

Pri výbere čerpadla je potrebné sa zamyslieť nad základným typom, či je potreba veľké množstvo kvapaliny alebo práve menšie množstvo. Hydrodynamické majú lepšiu účinnosť pri vyšších prietokoch, opačne sú prispôsobené hydrostatické.

HS čerpadlá majú lepšiu krivku účinnosti okolo optimálnej hodnoty, je menej strmá než v prípade HD čerpadla [31] ako je znázornené na Graf 4.1.



Graf 4.1: Porovnanie zmeny účinnosti HD a HS čerpadiel pri rovnakej optimálnej účinnosti [31]

5 DOTÁCIE ŠTÁTU V ČESKEJ REPUBLIKE A V RAKÚSKU

Dotačný systém je pre bakalársku prácu dôležitý z pohľadu rentability navrhovaných riešení a na rozšírenie všeobecného prehľadu.

V tejto kapitole bude porovnanie dotačného systému pre zdroje obnoviteľnej energie v Českej republike a Rakúskej republike hlavne v spolkovej krajine Štajersko, nakoľko záujmová lokalita v praktickej časti bakalárskej práce sa nachádza práve v Štajersku.

5.1 DOTÁCIE, VÝKUP ELEKTRINY A ZELENÉ BONUSY V ČESKEJ REPUBLIKE

5.1.1 Dotácie v ČR

Dotácie na energetiku spadajú pod *Ministerstvo průmyslu a obchodu*, aktuálne beží *Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost 2014-2020* (skratka OP PIK). Pre MVE platí *Výzva programu podpory Obnovitelné zdroje energie*. Cieľom výzvy je podpora výroby a distribúcie energie pochádzajúcej z obnoviteľných zdrojov. Malé vodné elektrárne sú podporované v oblasti výstavby, rekonštrukcie a modernizácie.

Posledná Výzva III [32] z ministerstva bola 22. 9. 2017 a prihlášky sa dali podávať do 28. 2. 2018. Plánovaná alokácia výzvy bola 280 000 000,- Kč. Zapojiť sa mohli malé, stredné i veľké podniky. Dotácia na projekt bola v minimálnej výške 250 000,- Kč a maximálne 50 mil. Kč. Požiadavky na projekty boli tri.

1. Lokalita mimo územia hlavného mesta Prahy.
2. MVE s inštalovaným výkonom do 10 MW.
3. Účinnosť novo-inštalovanej turbíny je predpokladaná v prevádzkových podmienkach $\geq 85\%$, pri renovácii starších typov $\geq 80\%$.

Dotácie boli i na energetické posudky a projektovú dokumentáciu (neplatí pre Posudok o prevediteľnosti) a to v miere:

1. Príjemca je malý podnik, podpora je poskytovaná do výšky 80 % spôsobilých výdajov
2. Príjemca je stredný podnik, podpora je poskytovaná do výšky 70 % spôsobilých výdajov
3. Príjemca je veľký podnik, podpora je poskytovaná do výšky 60 % spôsobilých výdajov

OP PIK pre rok 2018 plánuje ďalšiu výzvu v programe podpory Obnoviteľné zdroje energie, podľa údajov zo stránky Ministerstva sa výzva plánuje vydať v druhom kvartáli roku 2018 presnejšie 04/2018. Predpokladaná alokácia je 100 000 000,- Kč. [33]

5.1.2 Výkupné ceny a zelené bonusy v ČR

Nasledujúce odstavce vychádzajú z údajov od *Energetického regulačního úřadu* [34].

Okrem rôznych dotačných programov platí v ČR i podpora zdrojov obnoviteľnej energie prostredníctvom garantovanej výkupnej ceny a tzv. zelených bonusov. Zelený bonus je podpora ak sa investor rozhodne svoju vyrobenú energiu sám zužitkovať a zvyšok môže predať. Nie je ale určená hranica koľko musí sám spotrebovať a koľko môže predať do siete. Garantovanú výkupnú cenu a zelené bonusy stanovuje *Energetický regulační úřad* (skratka ERÚ) pre každý rok nový a opiera sa o zákon č. 180/2005 Sb., o podpore výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Za obnoviteľné zdroje elektrickej energie sa považuje veterná

elektrárň, fotovoltaická elektrárň, elektrárň na biomasu (výkon do 500 kW), malá vodná elektrárň (t. j. inštalovaný výkon do 10 MW).

Poslednú zmenu cenového rozhodnutia ovplyvňujúceho malé vodné elektrárne vydal ERÚ dňa 26. 9. 2017 v dokumente *Cenové rozhodnutí č. 03/2017*. V ňom rozdeľuje MVE ako podporovaný druh energie do 3 kategórií, Obrázok 5.1:

1. MVE v stávajúcej lokalite t. j. MVE, ktorá nespadá do 2. a 3. nižšie spomenutej kategórie
2. Rekonštruovaná MVE t. j. po dátume 13. 8. 2002 bola urobená rekonštrukcia alebo modernizácia zariadení zlepšujúca úroveň MVE po stránke technickej, bezpečnostnej, prevádzkovej alebo ekologickej. Za rekonštrukciu alebo modernizáciu sa považuje:
 - a. Výmena alebo generálna oprava turbíny
 - b. Výmena alebo previnutie generátora
 - c. Oprava na splňovanie ČSN EN 50160 spočívajúca v zabraňovaní pôsobenia spätných vplyvov na sieť
 - d. Výmena regulačných zariadení
 - e. Výmena alebo inštalácia nového automatizovaného systému riadeniaVšetky nahradzujúce súčiastky musia byť mladšie ako 5 rokov ku dňu ukončenia rekonštrukcie, modernizácie. Ak sú staršie uplatňuje sa podpora vo výške napísanej na riadku 100 Obrázok 5.1.
3. MVE v novej lokalite t. j. MVE uvedená do prevádzky v lokalite, kde nebola od 1. 1. 1995, vrátane, pripojená výrobná elektrina k prenosovej alebo distribučnej sústave

Pre MVE s inštalovaným výkonom nad 500 kW a uvedených do prevádzky po 1. 1. 2016, vrátane, je možné uplatniť podporu len vo forme zelených bonusov na elektrinu.

Ďalšie obmedzenie čerpania podpory platí v prípade, že je po dobu šesť a viac hodín po sebe nasledujúcich dosiahnutá záporná hodinová cena na dennom trhu s elektrinou organizovanom operátorom trhu, tak je výkupná cena a zelený bonus u MVE uvedených do prevádzky po 1. 1. 2016 stanovená na výšku 0 Kč.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
						VT	NT
a	b	c	j	k	n	o	
100	Malá vodní elektrárna ve stávajících lokalitách	-	31.12.2004	2 152	1 392	1 646	1 268
101		1.1.2005	31.12.2013	2 759	1 999	2 416	1 794
102		1.1.2014	31.12.2014	2 705	1 945	-	-
103		1.1.2015	31.12.2015	2 652	1 892	-	-
104		1.1.2016	31.12.2016	2 600	1 840	-	-
105		1.1.2017	31.12.2017	2 258	1 498	-	-
106		1.1.2018	31.12.2018	2 214	1 454	-	-
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31.12.2013	2 759	1 999	2 416	1 794
111		1.1.2014	31.12.2014	2 705	1 945	-	-
112		1.1.2015	31.12.2015	2 652	1 892	-	-
113		1.1.2016	31.12.2016	2 600	1 840	-	-
114		1.1.2017	31.12.2017	2 258	1 498	-	-
115		1.1.2018	31.12.2018	2 214	1 454	-	-
120	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	3 065	2 305	2 746	2 088
121		1.1.2008	31.12.2009	3 244	2 484	-	-
122		1.1.2010	31.12.2010	3 525	2 765	-	-
123		1.1.2011	31.12.2011	3 447	2 687	2 746	2 660
124		1.1.2012	31.12.2012	3 592	2 832	-	-
125		1.1.2013	31.12.2013	3 567	2 807	-	-
126		1.1.2014	31.12.2014	3 497	2 737	-	-
127		1.1.2015	31.12.2015	3 428	2 668	-	-
128		1.1.2016	31.12.2016	3 193	2 433	-	-
129		1.1.2017	31.12.2017	2 796	2 036	-	-
130	1.1.2018	31.12.2018	2 741	1 981	-	-	

Obrázok 5.1: Výkupné ceny a zelené bonusy stanovené ERÚ dňa 26.9.2017, kde VT je pásmo platnosti vysokej tarify stanovenej prevádzkovateľom distribučnej sústavy v dĺžke 8 hodín denne a NT je pásmo platnosti nízkej tarify platnej v čase mimo pásma platnosti VT [34]

Dvojtarifné pásmo prevádzky platí len pre špičkové alebo polo špičkové akumulčné MVE splňujúce ČSN 75 0120.

5.2 DOTÁCIE A VÝKUPNÉ CENY V RAKÚSKU

5.2.1 Dotácie na projekty pri implementovaní novej smernice o vode

Nová smernica o vode zvýšila poplatky za reziduálnu vodu a prikázala vybudovanie rybochodov pri vodných elektrárnach. To má za následok zhoršenie podmienok pre vlastníkov MVE, nakoľko musia investovať do rekonštrukcie zariadenia a postaviť rybochod, ak nie je vybudovaný. Šesť z deviatich spolkových krajín, konkrétne Salzbursko, Korutánsko, Dolné a Horné Rakúsko, Štajersko, Tirolsko (od roku 2016), vytvorilo programy na pomoc

¹ Voda, ktorú mohla MVE spracovať na výrobu energie, ale neurobila tak. Zároveň reziduálny prietok je vždy vyšší než minimálny požadovaný prietok z vodoprávneho povolenia. Príklad: v toku tečie 6 m³/s z toho ide 4 m³/s do MVE a zvyšné 2 m³/s zostávajú v toku, avšak minimálny požadovaný prietok je len 0,5 m³/s z toho vyplýva 1,5 m³/s je reziduálny prietok.

pri rekonštrukciách MVE. Pomoc je hlavne v otázkach technologických, ekologických, ekonomických a v oblasti práva [35].

V nasledujúcich odstavcoch sa bakalárska práca zameria na spôsoby podpory v jednotlivých spolkových krajinách.

Salzbursko

Od marca 2012 existujú dve úrovne podpory [36]:

1. **Hrubá analýza** – zadarmo

Hodnotenie existujúcej MVE a posúdenie možnosti rozšírenia kapacity najmenej o 15 % (splnenie zmeny v smernici o ekologickej elektrickej energii z roku 2012). Hrubá analýza je prevedená na diaľku a zahŕňa jedno poradenské sedenie.

2. **Podrobná analýza** – spoluúčasť záujemcu max. 500 € (Pikoelektrárne s výkonom do 30 kW max. 200 €) alebo 1/3 z celkovej ceny.

Odborník v oblasti malých vodných elektrární urobí obhliadku MVE a zhodnotí stav technický, ekologický a právny. Hlavný výstup bude určenie presného potenciálu MVE.

Korutánsko

Od 1. 8. 2016 ponúka odbornú pomoc v oblasti revitalizácie MVE s podporou štátu vo výške 90 % ceny avšak maximálne 1 500 €. [37]

Dolné Rakúsko

Dolné Rakúsko predstavilo v roku 2009 *Masterplan Kleinwasserkraft*, v rámci ktorého urobili opatrenia na zrýchlenie revitalizácie [38]:

1. Poradňa – oslovenie vodohospodárskych inžinierov, právnikov, odborníkov na ekológiu, aby prišli na rýchle riešenie daných problémov (optimalizácie, posúdenie lokality, odhad nákladov). Poradenstvo nezahŕňa podrobné plánovanie. Odpočítateľná suma vo výške 200 € bez DPH.
2. Dotácie na revitalizácie – ekologické zlepšenie, Dolné Rakúsko navýšilo dotácie na 55 % z ceny investícií do MVE (30 % dotuje štát a 25 % spolková krajina). Dotácia na revitalizáciu: 25 % investícií na technické opatrenia, v maximálnej hodnote 50 000 €.

Horné Rakúsko

Poradenská činnosť pre operátorov MVE, s inštalovaným výkonom do 1 MW, pri zvýšení nominálnej kapacity, modernizácií, revitalizácií, prestavby a stavby novej MVE. Jednorazový príspevok max. 25 % relevantných investícií súvisiacich s ekologickou elektrickou energiou vrátane pomocných zariadení max. 50 000 € na zariadenie/prevádzkovateľa. Minimálna investícia 7 500 € limitovaná na 4 000 €/kW na propagáciu. [39]

Štajersko

V roku 2013 vznikla kampaň *Beratungsaktion Kleinwasserkraft Steiermark* na podporu revitalizácie a vznik nových MVE. V marci 2017 bola znovu obnovená. Kampaň ponúka odbornú pomoc na zlepšenie malých vodných elektrární s inštalovaným výkonom do 2 MW. Odborná pomoc spočíva v ohodnotení danej lokality v rámci technických možností,

ekologických podmienkach a hodnotení nákladov a ziskovosti. Podpora je vo výške až 90 % ceny projektovej dokumentácie v maximálnej výške 1 600 €.[40]

Tirolsko

Podpora operátorov MVE s inštalovaným výkonom do 1 MW v dvoch stupňoch [41]:

1. Prvotná konzultácia – hrubý odhad možností po stránke ekologickej, technickej a vodohospodárskej (dotácia v plnej výške sumy).
2. Osobná prehliadka a písomný posudok – len po uskutočnení prvotnej konzultácie a odobrení potenciálu dostanú záujemci grant na druhý stupeň, t. j. osobnú prehliadku nezávislých odborníkov a písomného posudku, v ktorom sú konkrétne návrhy na zlepšenie a informácie o zákonoch o ekologickej elektrine. Žiadateľ musí zaplatiť náklady vo výške 650 €.

5.2.2 Dotácie na výstavbu nových a revitalizáciu súčasných MVE podľa novej smernice o ekologickej elektrickej energii z roku 2012

Cieľ dotácie je propagácia malých vodných elektrární s inštalovaným výkonom do 10 MW v hodnote 20 miliónov € ročne, podľa dodatku k smernici o ekologickej elektrickej energii z roku 2018. Požiadať o dotáciu môžu fyzické a právnické osoby, ktoré vyrábajú, revitalizujú alebo prevádzkujú MVE. Požiadavka pri revitalizácii je zlepšenie kritického miesta vo výrobe alebo normálnej výrobnnej kapacity o minimálne 15 %.

V závislosti na oprávnenosti inštalácie a dostupných zdrojov dotácia maximálne 35 % nákladov na výstavbu MVE (okrem pozemkových nákladov a iných obmedzení podľa pokynov na financovanie), ako aj 1 750 €/kW. Ďalej v závislosti na veľkosti spoločnosti maximálne 65 % relevantných environmentálnych dodatočných nákladov. Dodatočné investičné náklady sa vypočítajú ako rozdiel medzi priamo určenými na zariadenie MVE a na dosiahnutie cieľa.

Nasleduje prehľad o určení finančných prostriedkov v závislosti od elektrického výkonu.

Tabuľka 5.1: Výška dotácie podľa elektrického výkonu [42]

< 50 kW	(50 - 100) kW	(100 - 500) kW	(500 – 2000) kW	(2000 – 10000) kW
Dodržanie stropu pomoci EÚ	Dodržanie stropu pomoci EÚ	Dodržanie stropu pomoci EÚ	Dodržanie stropu pomoci EÚ	Dodržanie stropu pomoci EÚ
1 750 €/kW	1 750 €/kW	1 750 €/kW	(1 750 – 1 250) €/kW	(1 250 – 650) €/kW
	35% investičných nákladov	35% investičných nákladov	35% - 25% investičných nákladov	25% - 15% investičných nákladov
			Nutný dynamický výpočet kapitálu*	Nutný dynamický výpočet kapitálu*

*V závislosti od výšky maximálneho elektrického výkonu je potrebné v tomto prípade preukázať nárok na podporu navyše prostredníctvom dynamického výpočtu hodnoty kapitálu za prepočtové obdobie 50 rokov a úrokovej miery 6% na základnej dani.

V celej podkapitole sa čerpalo zo zdroju [42].

5.2.3 Výkupné ceny elektrickej energie

Výkupné ceny elektrickej energie platné od 1.1.2018 sú pre malé vodné elektrárne s inštalovaným výkonom do 2 MW rozdelené do dvoch skupín [43]:

- A. Novopostavené alebo revitalizované v súlade s § 5 ods. 1 Z 26a ÖSG 2012 (zvýšený výkon aspoň o 50 % v kritickom mieste/ celková kapacita za predpokladu, že ich výkon neprekročí 2 MW):
- a. Na základe žiadosti v roku 2018

Tabuľka 5.2: Výkupné ceny el. energie platné pre novopostavené a revitalizované MVE s výkonom do 2 MW (zvýšenie výkonu o min. 50 %) na základe žiadosti v roku 2018

Predaná energia do siete	Výkupná cena [Cent/kWh]
Prvých 500 000 kWh	10,30
Ďalších 500 000 kWh	8,44
Nasledujúcich 1 500 000 kWh	7,32
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	4,46
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	4,09
Nad 7 500 000 kWh	3,23

- b. Na základe žiadosti v roku 2019

Tabuľka 5.3: Výkupné ceny el. energie platné pre novopostavené a revitalizované MVE s výkonom do 2 MW (zvýšenie výkonu o min. 50 %) na základe žiadosti v roku 2019

Predaná energia do siete	Výkupná cena [Cent/kWh]
Prvých 500 000 kWh	10,20
Ďalších 500 000 kWh	8,36
Nasledujúcich 1 500 000 kWh	7,25
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	4,42
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	4,05
Nad 7 500 000 kWh	3,20

- B. Revitalizované v súlade s § 5 ods. 1 Z 26a ÖSG 2012, zvýšenie výkonu o minimálne 15 % v kritickom mieste/ celková kapacita za predpokladu, že ich výkon neprekročí 2 MW:
- a. Na základe žiadosti v roku 2018

Tabuľka 5.4: Výkupné ceny el. energie platné pre revitalizované MVE s inštalovaným výkonom do 2 MW(zvýšenie výkonu o min. 15 %) na základe žiadosti v roku 2018

Predaná energia do siete	Výkupná cena [Cent/kWh]
Prvých 500 000 kWh	8,60
Ďalších 500 000 kWh	6,83
Nasledujúcich 1 500 000 kWh	5,83
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	3,59
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	3,31
Nad 7 500 000 kWh	2,54

b. Na základe žiadosti v roku 2019

Tabuľka 5.5: Výkupné ceny el. energie platné pre revitalizované MVE s inštalovaným výkonom do 2 MW(zvýšenie výkonu o min. 15 %) na základe žiadosti v roku 2019

Predaná energia do siete	Výkupná cena [Cent/kWh]
Prvých 500 000 kWh	8,51
Ďalších 500 000 kWh	6,76
Nasledujúcich 1 500 000 kWh	5,77
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	3,55
Nasledujúcich 2 500 000 kWh	3,28
Nad 7 500 000 kWh	2,51

5.3 POROVNANIE DOTAČNÝCH SYSTÉMOV V ČESKU A RAKÚSKU

V nasledujúcich odstavoch budú stručne zhrnuté rozdiely, najprv v dotáciách na rekonštrukciu, revitalizáciu, následne v dotáciách na projekty a v posledných pár vetách sa zhrnú rozdiely vo výkupných cenách, medzi Českou republikou a Rakúskou republikou.

Hlavný rozdiel v dotáciách na rekonštrukciu, príp. revitalizáciu, je na uhle pohľadu, čo sa považuje za rekonštrukciu a revitalizáciu. V Česku sú to všetky úpravy na MVE a jediná podmienka je aby účinnosť novo-inštalovaného vodného motora bola nad 85 %, príp. nad 80 % pri starších typoch motorov. Zatiaľ čo v Rakúsku sa považujú rekonštrukcie, revitalizácie len také úpravy, ktoré zlepšia celkovú účinnosť elektrárne o min. 15 % a nezáleží akú účinnosť má vodný motor.

Dotácie na spracovanie projektovej dokumentácie a odbornú pomoc sa veľmi líši v Rakúsku v závislosti od spolkovej krajiny, keďže každá má trochu iné možnosti podpory. Štajersko a Korutánsko dotujú až 90 % ceny odbornej pomoci a projektovej dokumentácie. Tirolsko a Salzburgsko majú prvotnú konzultáciu zadarmo ale na druhom stupni, čo je podrobná analýza,

už musí být spoluúčast žadatele vo výške: max. 500 € alebo 1/3 z ceny v Salzbursku a max. 650 € v Tirolsku. V Dolnom Rakúsku sa z poradenskej činnosti dá odpočítat' max. 200 € bez DPH. Horné Rakúsko má len príspevok na propagáciu v max. hodnote 7 000 €. V Českej republike závisí výška dotácie na projektovú dokumentáciu, okrem Posudku o prevediteľnosti, od veľkosti podniku žiadateľa a to od 80 % investícií malých podnikov do 60 % investícií veľkých podnikov.

Výkupné ceny elektrickej energie sú v oboch krajinách pre novopostavené MVE výrazne odlišné. Ukážka na príklade: novopostavená MVE s inštalovaným výkonom do 500 kW daná do prevádzky v roku 2018 by v ČR počas celého roka 2018 mala výkupnú cenu i so zelenými bonusmi 4721,- Kč/MWh, s kurzom 25,2 Kč/€ je 187,34 € a s kurzom 26,- Kč/€ je 181,6 €. V Rakúsku by tá istá elektrárňa počas prvých 500 000 kWh mala výkupnú cenu len 103 €/MWh, po prekročení výroby 500 000 kWh by výška výkupnej ceny klesla na 84,4 €/MWh. Z tohto príkladu vyplýva zmena výkupnej ceny v ČR závisí od kalendárneho roka a roku kedy bola MVE daná do prevádzky, zatiaľ čo v Rakúsku sa výška výkupnej ceny pohybuje od množstva predanej elektrickej energie.

6 MIKROELEKTRÁREŇ GLEIMING

V d'alších kapitolách sa bude riešiť štúdia prevediteľnosti domácej elektrárne Gleiming. Vybraná lokalita je zaujímavá zdrojom vody a jednoduchosťou navrhovaných prevedení. Nachádza sa v osade Gleiming v rakúskych Alpách, spolkový štát Štajersko. Na prehľad slúži Obrázok 6.1: Mapa širších vzťahov.



Obrázok 6.1: Mapa širších vzťahov [44]

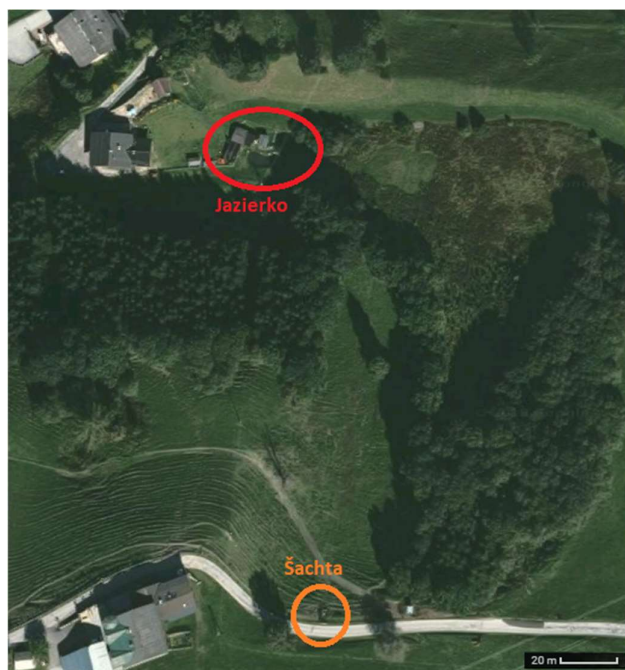
Štajersko má niekoľko storočí dlhú tradíciu v hydroenergetike. K januáru 2018 vyrába 876 MVE „zelenú“ energiu a zásobuje viac ako 500 000 domácností [45]. V roku 2007 bolo 56 % z celkovej potrebnej energie v Rakúsku pokryté práve domácimi vodnými elektrárnami [46]. Napriek tomu hydroenergetika nestačí v súčasnom energetickom svete a stále viac sa prechádza na iné formy výroby elektrickej energie. O to viac štát podporuje projekty rekonštrukcie, revitalizácie a vznik nových elektrární využívajúc obnoviteľné zdroje. Pri výstavbe a prevádzke vodných elektrární sa kladie dôraz na ekológiu krajiny pre zachovanie biotopov. V dokumente *Energiestrategie 2025* si Štajersko dáva cieľ, aby v roku 2025 50% zo všetkej vyrobenej energie bolo práve z domácich obnoviteľných zdrojov [47].

Zaujímavá lokalita je súkromný pozemok s vlastným vodným zdrojom, na ktorom je postavený apartmánový dom s príslušenstvom a jazierko. Väčšiu časť pozemku zaberá les. Celý pozemok sa využíva zväčša na rekreáciu turistov počas celého roka. Bakalárska práca sa vo svojej praktickej časti zaoberá štúdiou prevediteľnosti MVE, ktorá by zásobovala stávajúci apartmánový dom v čase potreby elektrickou energiou a ak by bol nadbytok vyrobenej energie, tak by ju predávala do siete. S tým súvisí i dotačný systém v Rakúsku a výkup elektriny spomenutý v kapitole 5.2.

6.1 SÚČASNÝ STAV

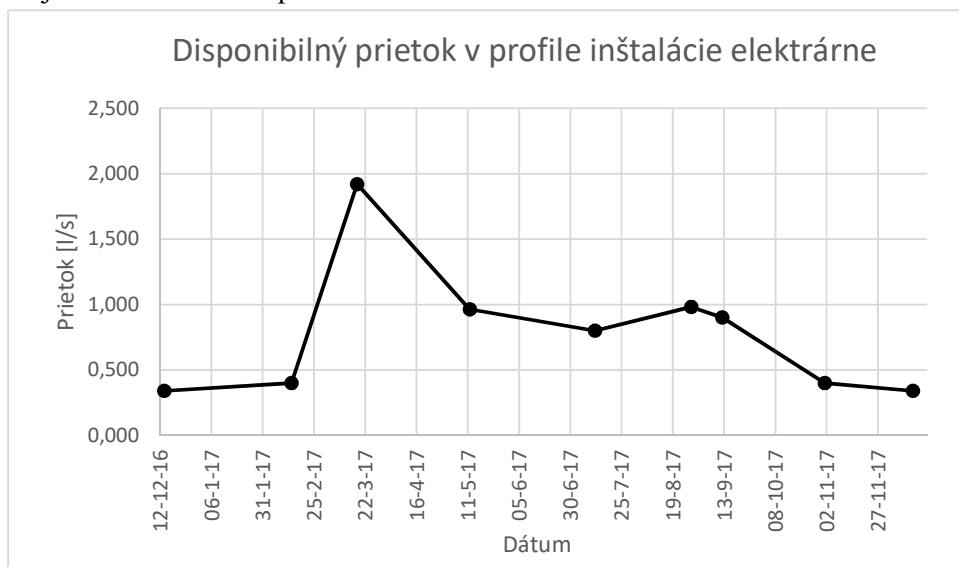
Najbližšie mesto, ktoré je súčasne známe lyžiarske stredisko, Schladming je vzdialené približne 8 km smerom na východ. Nad Gleimingom sa tyčí vrch Gasselhöhe, v nadmorskej výške 2001 m n. m. [48], s lyžiarskym strediskom Reiteralms, kde lyžiarska sezóna trvá od decembra do apríla. Osada leží na úpätí Gasselhöhe na rieke Enns.

Súkromný pozemok má horský charakter s tým súvisí i charakter režimu vodného zdroja, Obrázok 6.2, výškový rozdiel cca 75 m, s malým jazierkom na rekreačné účely. Najdlhší rozmer jazierka je 20 m a široký v najširšom bode 7 m.



Obrázok 6.2: Pozemok s popismi dôležitých bodov [49]

Vodný zdroj je podzemná voda, v súčasnosti vyviera do šachty, Obrázok 6.2, približne 3 m pod úrovňou terénu a zásobuje apartmánový dom pitnou vodou. V rámci roka je vody nadbytok, hlavne keď taje sneh na jar, a preto sa uvažuje o nainštalovaní vodného motora na zvyškovú vodu. Prehľadný prítok do šachty je v Graf 6.1. Vzdialenosť medzi vodným zdrojom a domom je vzdušnou čiarou približne 150 m.



Graf 6.1: Disponibilný prítok v profile inštalácie elektrárne

Stávajúca šachta vodného zdroja má kruhový pôdorys a výšku 2 m, dá sa opticky rozdeliť na dve časti vstup DN 600 a akumulčný priestor. Do akumulčného priestoru je prívod vody cez potrubie v hornej časti akumulčného priestoru a odber vody je pri dne, zároveň má šachta bezpečnostný priepad. Fotodokumentácia osadzovania šachty je v Prílohe A.

6.1.1 Hydrotechnický potenciál lokality

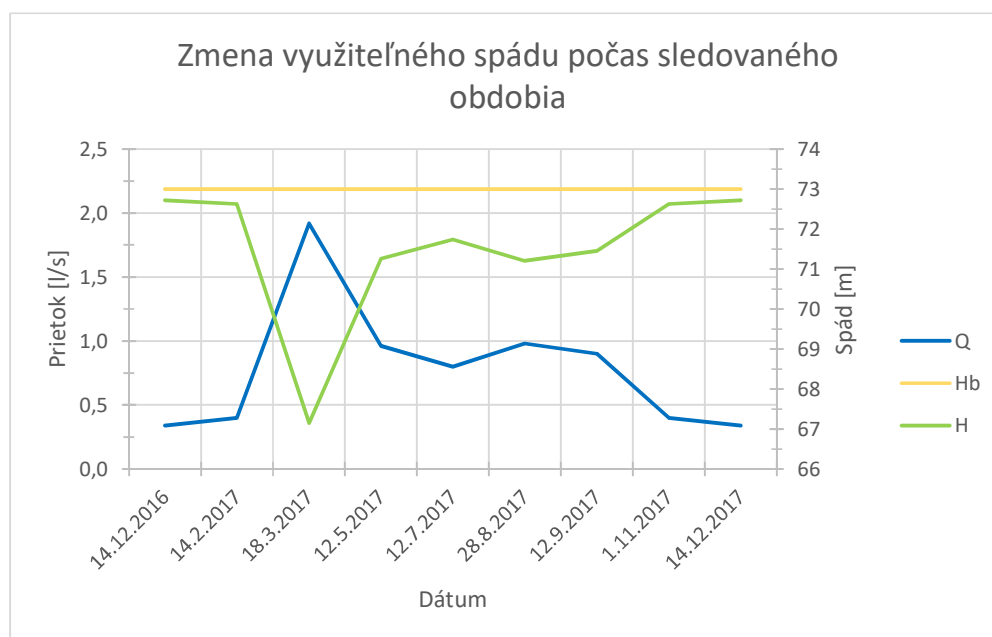
Výpočty boli spočítané pomocou programu *Microsoft Excel 365 Pro Plus* verzia 1803.

Hydrotechnický výpočet je postavený na prietokoch v Tabuľka 6.1, ktoré boli jednak priamo merané počas roka 2016 – 2017 (objem nádoby za čas) a odhadované.

Tabuľka 6.1: Prietok počas roka zistený z merania a odhadu

Dátum	Q [l/s]	Metóda
14-12-16	0.339	priame meranie
14-2-17	0.400	odhad
18-3-17	1.919	priame meranie
12-5-17	0.962	priame meranie
12-7-17	0.8	odhad
28-8-17	0.98	priame meranie
12-9-17	0.9	odhad
01-11-17	0.4	odhad
14-12-17	0.339	odhad

Zmena skutočného využiteľného spádu počas roka je graficky znázornená v Graf 6.2. Z Graf 6.2 je zjavná závislosť spádu od prietoku, čím vyšší prietok, tým vyššie straty a nižší využiteľný spád. Využiteľný spád H sa pohybuje v rozpätí 67,15 m – 72,72 m. Presné hodnoty výpočtov a použité rovnice sú v Prílohe B – Hydrotechnický výpočet potenciálu lokality.

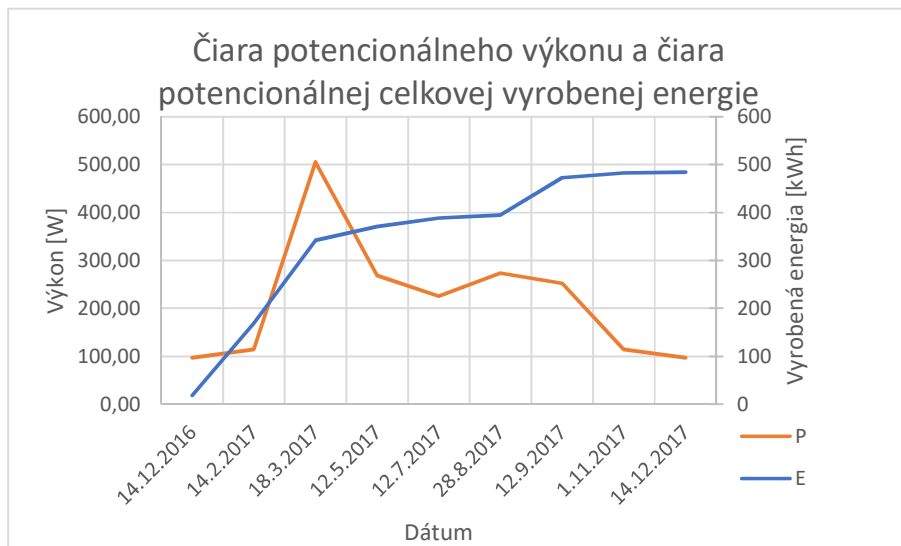


Graf 6.2: Zmena využiteľného spádu počas roka

6.1.2 Hydroenergetický potenciál lokality

Hydroenergetický výpočet je spočítaný so zvolenou odhadovanou účinnosťou vodného motora 0,6. Podrobný výpočet je v Prílohe C – Hydroenergetické výpočty potenciálu lokality.

Za rok je možná celková vyrobená energia tesne pod 0,5 MWh, meraná na hriadeli vodného motora v prípade, že by vodný motor bol schopný sa prispôsobovať prietoku a bežať celý rok pri rovnakej účinnosti.



Graf 6.3: Čiara potencionálneho výkonu a čiara potencionálnej celkovej vyrobenej energie

6.2 NAVRHOVANÉ RIEŠENIE MVE A RENTABILITA

V bakalárskej práci sa spomínajú 3 varianty riešenia hydrotechnického potenciálu lokality. Obmena je vo výbere vodného motora a zapojenia všetkých komponentov do hydraulického systému.

Popis variant:

1. Reverzné čerpadlo odstredivé - radiálne
2. Reverzné čerpadlo objemové – zubové
3. Peltonova turbína

Výhody a nevýhody reverzného čerpadla v turbínovom režime boli zmienené v kapitole 4.1.6. Nevýhody Peltonovej turbíny sú nedostupnosť náhradných dielov, každá turbína je vyrobená na zákazku a je jedinečná, s tým súvisí i ďalšia nevhodnosť a to investičné náklady.

V nasledujúcich odstavcoch sú popisované spoločné návrhové zmeny, pre všetky varianty, na stávajúcej lokalite. Navrhuje sa na stávajúcu šachtu vodného zdroja osadiť potrubie DN 63, PN 10 dĺžky 170 m, ktoré by tvorilo privádzač do novopostavenej šachtice MVE pri jazierku a odvodným potrubím dĺžky 2 m ku dnu jazierka.

Do stávajúcej šachty sa vyreže otvor pre potrubie DN 63 a osadí sa potrubie v celkovej dĺžke 170 m, schéma šachty v Prílohe D. Do šachty sa umiestni snímač hladiny, ktorý bude mať na starosti snímanie minimálnej a maximálnej prevádzkovej hladiny tak, aby nedošlo k zavzdušneniu privádzacieho potrubia. Tým pádom bude v každej prevádzkovej situácii zaistená dostatočná zásoba pitnej vody pre apartmánový dom, ktorý v žiadnom prípade nesmie byť prevádzkou MVE obmedzený.

V navrhovanej šachtici v mieste inštalácie MVE bude zmena DN potrubia z DN 63 privádzača na menšie DN, upresnené podľa variantu. Pred vodný motor sa osadí uzatváracia armatúra a obtok vodného motora s uzatváracou armatúrou. Za vodným motorom bude uzatváracia armatúra a výpustné potrubie. Šachtica bude betónová s pôdorysnými

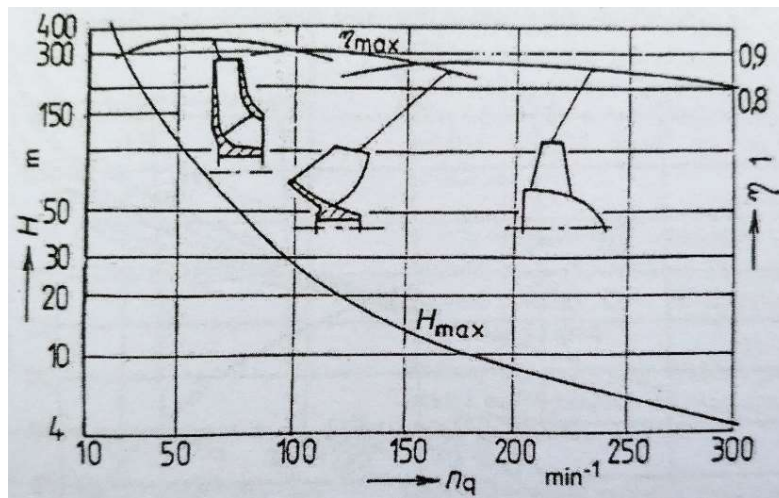
rozmermi $2,5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ a výškou $1,5 \text{ m}$. Hrúbka stien bude $0,25 \text{ m}$. Z vrchu bude umiestnený vodotesný poklop $1,2 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$. Navrhovaná šachta bude situovaná pod úrovňou terénu. Z tejto šachtice bude ústiť potrubie napojené na dno jazierka. Schéma zapojenia hydraulického systému v Prílohe E – Schéma navrhovanej šachtice.

6.2.1 Variant 1 – Reverzné čerpadlo odstredivé radiálne

V tomto variante sa počíta s hydrodynamickým čerpadlom radiálnym.

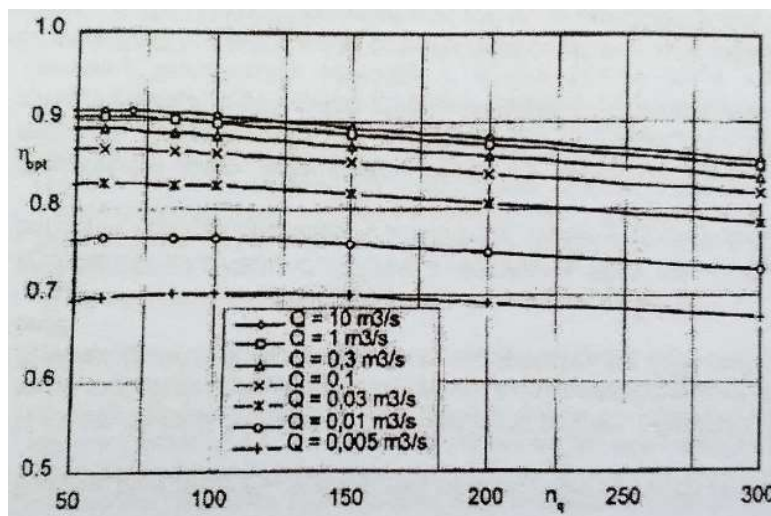
Pre výber čerpadla z katalógu je nutné prepočítať návrhové parametre vhodné pre turbínu na hodnoty existujúcich hydrodynamických a hydrostatických čerpadiel. Prepočet je zobrazený z literatúry [31].

V prvom priblížení sa predpokladá $H_T = H_p$, $Q_T = Q_p$, z Graf 6.5 sa odčíta hodnota pre H_T vhodné merné otáčky n_q a následne z Graf 6.4 vhodnú účinnosť η_1 . Podľa vzorcov v tabuľke sa urobí prepočet H_p a Q_p podľa danej účinnosti. V druhom priblížení sa z Graf 6.5 opraví hodnota n_q pre nové H_p . Ak sa zmení musí sa znova v Graf 6.4 odčítať nová účinnosť η_2 . Návrhové parametre po ďalšom prepočte z rovníc sú v Tabuľka 6.2: Prepočet návrhových parametrov



Graf 6.5: Smerná hodnota maximálnej dopravnej výšky rôznych typov odstredivých čerpadiel jednostupňových [31]

podľa Príkladu na str. 96 v [31] pre rôzne prietoky je H_{ϵ} a Q_{ϵ} .



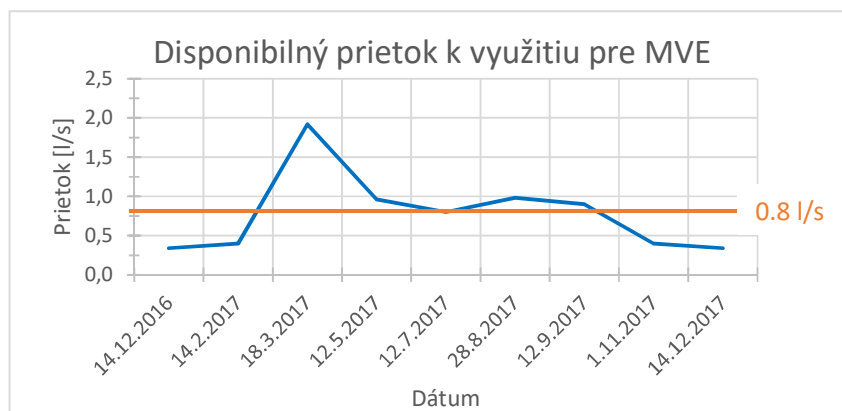
Graf 6.4: Celková účinnosť diagonálnych a axiálnych čerpadiel [30]

Tabuľka 6.2: Prepočet návrhových parametrov podľa Príkladu na str. 96 v [31] pre rôzne prietoky

Prvé priblíženie					
H_T [m]	72.63	71.74	71.11	69.14	
Q_T [l/s]	0.4	0.8	1	1.5	
n_q [1/min]	50	50	50	50	
η_1 [-]	0.65	0.63	0.62	0.6	z Graf 6.4
H_p [m]	30.68	28.47	27.33	24.89	$H_p = H_T \cdot \eta_1^2$
Q_p [l/s]	0.26	0.504	0.62	0.9	$Q_p = Q_T \cdot \eta_1$
Druhé priblíženie					
H_p [m]	30.7	28.5	27.3	24.9	
n_q [1/min]	95	100	100	120	z Graf 6.5
η_2 [-]	0.62	0.6	0.6	0.58	z Graf 6.4
H_ξ [m]	27.92	25.83	25.60	23.26	$H_\xi = H_T \cdot \eta_2^2$
Q_ξ [l/s]	0.248	0.48	0.6	0.87	$Q_\xi = Q_T \cdot \eta_2$

V Tabuľka 6.2 sú návrhové parametre pre výber čerpadla v turbínovom režime z katalógov výrobcov čerpadiel. Hodnoty prietoku Q_ξ sú veľmi malé, pohybujú sa od 0.25 l/s – 0.87 l/s. Nakoľko predajcovia i výrobcovia zväčša nemajú vo svojich katalógoch na webových stránkach čerpadlá v turbínovom režime, oslovilo sa štyroch predajcov emailom s dotazom na takéto čerpadlo s parametrami H_ξ a Q_ξ . Odpovede boli dvoch typov. Predajcovia *WILO CS s. r. o.* a *Grundfos Sales Czechia and Slovakia s. r. o.* nemajú v ponuke reverzné čerpadlo. Zato *KSB - PUMPY + ARMATURY s. r. o.* a *Pumpa a. s.* predávajú čerpadlá v turbínovom režime. *Pumpa a. s.* ponúkalo reverzné čerpadlo od výrobcu Calpeda, lenže Q_{min} je 3 l/s, čo nevyhovuje. Tomáš Večerka z firmy *KSB - PUMPY + ARMATURY s. r. o.* bol veľmi ochotný a snažil sa nájsť čo najlepšiu možnosť na takéto návrhové parametre. Ani on nebol úspešný. Poslal podklady na dve čerpadlá, jedno malo Q_{min} 2.5 l/s s Q_{opt} 5 l/s pri účinnosti 50 % a druhé malo Q_{min} 3 l/s s Q_{opt} 5 l/s pri účinnosti len 32%.

Rentabilita projektu domácej elektrárne Gleiming pre Variant 1 je spočítaná s hydrodynamickým čerpadlom v turbínovom režime, ktoré sa síce nepodarilo nájsť u predajcov v ČR, avšak podarilo sa zistiť približnú účinnosť takéhoto stroja (40 %) a aj výkupnú cenu. Ďalej sa bude predpokladať vstupné DN 32 a výstupné DN 200 čerpadla potrebné k nakresleniu schémy hydraulického systému v Prílohe E. Vo výpočte sa počíta s účinnosťou 40 % a prietok stabilne 0,8 l/s. Výkon potom je 0,225 kW. Z Graf 6.1 sa predpokladá prevádzka MVE od 1. 3. do 30. 9. nakoľko vtedy je dostatok vody, Graf 6.6.



Graf 6.6: Disponibilný prietok k využitiu pre MVE, oranžovou vyznačená hranica 0,8 l/s

Z důvodu neobmedzenia dodávky pitnej vody sa uvažuje s prevádzkou 20 hodín za deň, zvyšné 4 hodiny sú na akumuláciu vody v šachte. Podrobný výpočet v Prílohe F – Hydroenergetické výpočty pre všetky varianty. Predpokladaná vyrobená energia za obdobie od 1. 3. do 30. 9. je 963,6 kWh.

Investičné náklady v Tabuľka 6.3 sú odhadované z cien v ČR. Podľa cenníku betónu v Štajersku 110 EUR/m³ [50] a v Brne 2570 Kč/m³ [51] je zrejmé, že cena za 1m³ betónu je približne rovnaká. Náklady na uloženie potrubia sú zobrazené z *Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury v obci 2017* [52] vo výške 1600 Kč pre PE 100 za 1 m plus navýšené o 25 %, nakoľko návrhová lokalita je horskom teréne.

Tabuľka 6.3: Odhadované investičné náklady na stavbu MVE Gleiming Variant 1

Položka	Cena v Kč	Popis
Stavebné práce šachta	13000	Betón C 25/30 = 4.5 m ³ ; 1 m ³ betónu = 2600 Kč; šalovanie
Privádzač	340 000	1m potrubia za 2000 Kč; 170 m
Elektroinštalácia	60 000	Snímač hladiny, el. káble, ovládač turbíny, 2xklapka, 3xventil
Čerpadlo s generátorom	103 603	KSB čerpadlo + Generátor 4 pól; 1,1kW
Iné	5 000	rezerva
Investície celkom	521 603	Kč
	20 699	EUR s kurzom 25,2 Kč/EUR

Celkové investičné náklady pre Variant 1 sú odhadované na takmer pol milióna Kč, presne 521 603,- Kč. V prepočte na Euro pri kurze 25,2 Kč/EUR sú investičné náklady trochu na 20 500 EUR.

Ročný obrat, pri predaní celej vyrobenej energie vyšiel 3534,5 Kč za rok, v prepočte s kurzom 25,2 Kč/EUR je 140 EUR. Pri použití rakúskych výkupných cien z Tabuľka 5.3 vyšla hodnota 98 EUR za rok. Pri zadaných investičných nákladoch, určených v Tabuľka 6.3, elektrárň má návratnosť v Tabuľka 6.4. V rentabilite sa nepočítajú ročné výdaje za prevádzku, príp. výmenu čerpadla.

Tabuľka 6.4: Rentabilita MVE Gleiming Variant 1

	E [MWh]	E [kWh]	Výkupná cena [Kč/MWh], [Cent/kWh]	Obrat [Kč], [EUR]	Investície [Kč], [EUR]	Návratnosť [rokov]
ČR	0.964	-	3668	3534.5	521 603	148
Rakúsko	-	963.5	10.2	98.0	20 699	211

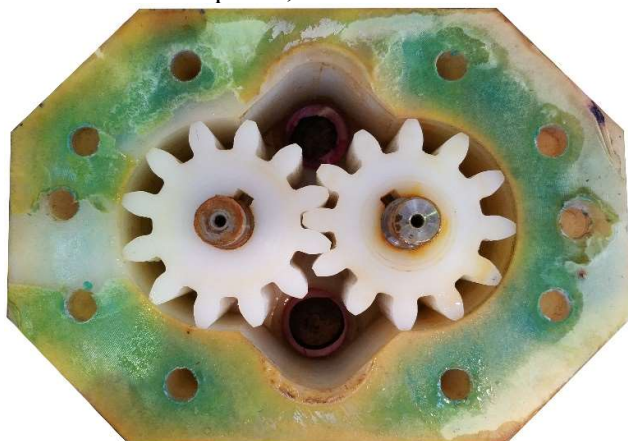
Od malých vodných elektrární sa očakáva návratnosť do 10 rokov. Variant 1 má návratnosť nevyhovujúcu.

6.2.2 Variant 2 – Reverzné čerpadlo objemové zubové

Zubové čerpadlo patrí do skupiny hydrostatických čerpadiel, ktoré pracujú na inom princípe než hydrodynamické, podrobnejšie vysvetlené v kapitole 4.1.6.

Nasledujúce poznatky vychádzajú z [53].

Použitie zubového čerpadla v turbínovom režime je pri nízkych prietokoch a vysokých spádoch, kde dosahuje vysokých otáčok. Otáčky sú obmedzené obvodovou rýchlosťou zubov na kolesách. Princíp: Čerpadlo sa skladá z dvoch rovnakých ozubených kolies, Obrázok 6.3, ktoré do seba presne zapadajú. Jedno koleso je hnacie a napojené hriadeľom priamo na motor (v turbínovom režime na generátor) a druhé koleso je hnané tým prvým. Kvapalina prechádza cez čerpadlo v medzizubných priestoroch. K zamedzeniu priesaku kvapaliny medzi zubami a medzi skriňou, kde sú umiestnené kolesá, je potrebné aby zuby kolies do seba správne zapadli, vždy zaberá aspoň jeden pár zubov a aby bola malá vôľa medzi skriňou a kolesami (presná výroba). Dôležité je zabezpečiť vtok od nečistôt vo vode jemnými česlami. Výhoda zubového čerpadla spočíva v jednoduchej konštrukcii a v spoľahlivosti. Hlavné využitie tohto čerpadla v čerpadlovom režime je pri čerpaní viskózných kvapalín. Materiál kolies sa odráža od hnacieho média, čo je v tomto prípade voda a nie viskózna kvapalina ako olej. K predídaniu korózie je nutné mať kolesá z tvrdého plastu, nie z oceli.



Obrázok 6.3: Plastové zubové čerpadlo – z tvrdého plastu kolesá i skriňa, tesnenie papierové [54]

S nápadom použiť zubové čerpadlo v turbínovom režime prišiel pán docent Ing. Miloslav Haluza, CSc. z *Energetického ústavu Odbor fluidního inženýrství Victora Kaplana* na Strojárskej fakulte Vysokého učení technického v Brne. Nie sú poznatky o tom, žeby sa takýto typ čerpadla už niekedy predtým použil v turbínovom režime. V rámci overenia hypotézy sa urobil pokus v laboratóriu vyššie spomenutého Ústavu na celoplastovom zubovom čerpadle, rozmontované je na Obrázok 6.3, podobných parametrov ako návrhové, Tabuľka 6.5. Jediný rozdiel spočíval v prívode a odvode vody, na skúšobnom čerpadle sú potrubia nad sebou, čo znamená voda musí vnútri čerpadla zmeniť smer o 180°. Zatiaľ čo v návrhovom prívode a odvode bude v rovine, takže voda nebude meniť smer. Čerpadlo bez problémov fungovalo. Presnú účinnosť nie je možné určiť, keďže pokus bol robený na rýchlo a neboli zamedzené všetky straty v systéme. Čerpadlo bolo na priebežných otáčkach bez záťaže.

Tabuľka 6.5: Rozmery skúšobného a návrhového zubového čerpadla

Rozmery zubového čerpadla	Skúšobné zub. čerpadlo	Návrhové zub. čerpadlo
výška zubov [mm]	10	8.8
šírka kolesa [mm]	39	30.4
priemer kolesa [mm]	48	44
počet zubov [-]	12	11

Výpočet návrhových parametrov čerpadla je v Prílohe G – Návrh zubového čerpadla. Pre zubové čerpadlo ako hydrostatické čerpadlo sa očakávajú vysoké účinnosti. Podľa literatúry

[53] objemová účinnost η_V závisí od tlaku a dosahuje hodnoty od 95 % při tlaku 0,5 MPa do 83 % při 3 MPa. Účinnost stroja η ako takého je menšia než objemová, pretože sú straty vnútri čerpadla. Vychádza sa z tabuľky pre zubové čerpadlá, kde účinnost závisí aj od obvodovej rýchlosti, Tabuľka 6.6.

Tabuľka 6.6: Účinnosti zubových čerpadiel v čerpadlovom režime [53]

Obvodová rýchlosť na rozstupovej kružnici [m/s]		1	2	3	4
Pretlak [MPa]	0.5	0.81	0.76	0.68	0.62
	1.0	0.63	0.77	0.76	0.71
	1.5	0.47	0.71	0.72	0.73
	2	0.3	0.55	0.58	0.72

Pretlak v systéme je 0,704 MPa a obvodová rýchlosť 3,5 m/s, z týchto údajov sa pomocou interpolácie dá dôjsť, v Tabuľka 6.6, k účinnosti stroja 70 %. Je dokázané, že v turbínovom režime majú čerpadlá lepšiu účinnosť, takže sa vo výpočte výkonu zdvihla účinnosť na 80 %. Pre presné hodnoty účinnosti je treba urobiť meranie, čo nie je náplň bakalárskej práce.

Podrobný výpočet je v Prílohe F – Hydroenergetické výpočty pre všetky varianty. So stabilným prietokom 0,8 l/s a účinnosťou 80 % je výkon 0,450 kW. Prevádzka MVE bude rovnaká ako vo Variante 1, teda od 1. 3. do 30. 9. po dobu 20 hodín denne. Za takýchto podmienok sa predpokladá vyrobená energia za celé obdobie vo výške 1927,2 kWh.

Odhad investičných nákladov na jednotkovú položku je rovnaký ako vo Variante 1. Výrobca plastového zubového čerpadla je napr. taliansky *Fluid-o-Tech s. r. l.* V Českej republike je predajca čerpadiel *Fluid-o-Tech* firma *FLOWSERVIS s. r. o.* so sídlom v Krnove.

Tabuľka 6.7: Odhadované investičné náklady na stavbu MVE Gleiming Variant 2

Položka	Cena v Kč	Popis
Stavebné práce šachta	13000	Betón C 25/30 = 4.5 m ³ ; 1 m ³ betónu = 2600 Kč; šalovanie
Privádzač	340 000	1m potrubia za 2000 Kč, 170 m
Elektroinštalácia	60 000	Snímač hladiny, el. káble, ovládač turbíny, 2xklapka, 3xventil
Čerpadlo s generátorom	30 000	Zubové čerpadlo + generátor (hrubý odhad)
Iné	5 000	rezerva
Investície celkom	418 000	Kč
	16 587	EUR s kurzom 25,2 Kč/EUR

Celkové investičné náklady pre Variant 2 sú odhadované na takmer 420 000 Kč, presne 418 000,- Kč. V prepočte na Euro pri kurze 25,2 Kč/EUR sú investičné náklady 16 687 EUR.

Ročný obrat, pri predaní celej vyrobenej energie vyšiel 7068,96 Kč za rok, v prepočte s kurzom 25,2 Kč/EUR je 280,5 EUR. Pri použití rakúskych výkupných cien z Tabuľka 5.3 vyšla hodnota 196,6 EUR za rok. Pri zadaných investičných nákladoch, určených v Tabuľka 6.7Tabuľka 6.3, elektrárň má predpokladanú návratnosť v Tabuľka 6.8Tabuľka 6.4.

Tabuľka 6.8: Návratnosť MVE Gleiming s Variantom 2 podľa českých a rakúskych výkupných cien elektrickej energie

	E [MWh]	E [kWh]	Výkupná cena [Kč/MWh], [Cent/kWh]	Obrat [Kč], [EUR]	Investície [Kč], [EUR]	Návratnosť [rokov]
ČR	1.927	-	3668	7068.96	418 000	59
Rakúsko	-	1927.2	10.2	196.57	16 587	84

Návratnosť Variantu 2 je výrazne lepšia než vo Variante 1, avšak stále je nevyhovujúca.

6.2.3 Variant 3 – Peltonova turbína

Posledný variant je ako vodný motor použitá Peltonova turbína, čo je bežné riešenie na charakteristické podmienky – vysoký spád a malý prietok. Princíp turbíny a výhody sú zmienené v kapitole 4.1.1. Pán docent Ing. Miloslav Haluza, CSc. výpočtom overil, či sa dá vyrobiť Peltonova turbína na návrhové parametre prietok 0,8 l/s a využiteľný spád 71,74 m, keďže i ona má výrobné obmedzenia. Číselný výpočet docenta Haluzu prepísaný do elektronickej podoby je v Prílohe H – Návrh Peltonovej turbíny.

Každá Peltonova turbína je jedinečná, tzn. vyrába sa na zákazku. Cena tomu odpovedá, pán docent Haluza povedal hrubý odhad, že Peltonove turbíny začínajú na 300 000 Kč. Presná suma investičných nákladov na možnú turbínu pre lokalitu Gleiming nebola zisťovaná. Ak by sa použila cena za turbínu 300 000 Kč, čo je skoro trikrát toľko ako cena čerpadla vo Variante 1, návratnosť investícií by bola výrazne vyššia než vo Variante 1, ktorá i tak je neúnosná.

Turbínu sa dá i doma skonštruovať pomocou 3D tlačiarne a vynaliezavosti, avšak takáto turbína nikdy nebude dokonalá ako v prípade zakúpenia od odborníkov, čo sa prejaví v poruchovosti, životnosti a hlavne v účinnosti stroja.

Dôvod spomenutia Peltonovej turbíny ako možného riešenia je nasledujúci. Peltonova turbína je bežné riešenie a bolo by nevhodné ju nespomenúť v bakalárskej práci, hoci hlavný pohľad práce je na čerpadlá v turbínovom režime ako lacnejšieho riešenia oproti turbínam.

6.2.4 Shrnutie variant

Všetky varianty majú príliš dlhú návratnosť, aby sa dali pokladať za rentabilné. Napriek tomu, ak by sa niekto rozhodol MVE Gleiming postaviť, môže si vybrať, či chce najlacnejšiu verziu, Variant 2, kde ale nebol urobený výskum zubového čerpadla v turbínovom režime. Alebo si vyberie najdrahší variant, Variant 3, kde bude zaručená účinnosť a životnosť stroja, čo znamená najmenej starostí okolo prevádzky MVE. Variant 1 je možný len ak sa nájde výrobca hydrodynamického čerpadla schopného spracovať tak malý prietok, čo v Českej republike nebolo možné.

Pri použití čerpadiel v turbínovom režime výrazne klesnú investičné náklady a zrazu je najvyššia položka v rozpočte vybudovanie privádzaču na elektrárň. Výrazné zníženie nákladov by sa dalo dosiahnuť nevybudovaním samostatného nového privádzača ale vtiahnutím privádzacieho potrubia DN 63 do jestvujúceho potrubia DN 150, ktoré slúži ako odpad z bezpečnostného prepadu nerezovej šachty a je vyvedené až do spomínaného jazierka. Vtiahnutie by sa robilo po častiach cez niekoľko vstupných výkopov.

7 ZÁVER

Bakalárska práca splnila ciele, ktoré si vytýčila v úvode. Ukázala, kde sa dajú postaviť malé vodné elektrárne na zvyškových spádoch a prietokoch, spomenuté boli lokality ako privádzače na vodojemy, výtok z ČOV, elektrárne na miesto redukčných ventilov vo vodovodoch a v neposlednom rade i na odtokových kanáloch tepelných alebo jadrových elektrární.

Na spomenutých MVE bolo ukázané, že jestvujú elektrárne s tak malým výkonom ako je 10 kW. Tieto elektrárne sú hlavne v nedostupnom teréne, kde nie je možné priniesť elektrickú energiu káblovým vedením. Zaujímavé bolo postavenie MVE na odtoku z ČOV, aby sa zvýšila nezávislosť ČOV od dodávky energie z vonkajších zdrojov. Takisto nahradenie dieselových agregátov „zelenou energiou“ či už v Malajzii alebo v slovenských Vysokých Tatrách.

V bakalárskej práci boli podrobne vysvetlené princípy fungovania 6 typov vodných motorov od známych ako je Peltonova turbína, či turbína Michell-Bánki, až po nie veľmi používané, kam sa radí turbína SETUR alebo čerpadlá v turbínovom režime. Treba znova pripomenúť vírovú turbínu, ktorá bola patentovaná na *Fakulte strojního inženýrství VUT* v roku 2000. Čitateľ by mal byť na základe tejto bakalárskej práce schopný povedať, ktorý vodný motor je najvhodnejší na aké parametre lokality, aby sa v čo najväčšej miere využil daný potenciál.

V praktickom príklade bola analyzovaná lokalita v rakúskych Alpách, ktorá je zaujímavá svojimi návrhovými parametrami. Náročný parameter na návrh bol veľmi malý prietok, v celoročnom priemere len 0,8 l/s s vyšším spádom, nad 70 m. Navrhnuté sú tri riešenia využitia hydroenergetického potenciálu.

Prvé dva varianty používajú čerpadlo v turbínovom režime, prvé je hydrodynamické a druhé hydrostatické. Posledný variant je použitie tradičnej turbíny – Peltonovej. Každý variant má svoje nevýhody a problémy, s ktorými sa musí počítať.

Hydrodynamické čerpadlo sa nenašlo u predajcov v Českej republike. Hydrostatické čerpadlo nemá urobený laboratórny výskum v turbínovom režime, od čoho sa odráža istá neistota, aká bude skutočná účinnosť stroja. V poslednom prípade, Peltonova turbína je robená na zákazku a možnosť kúpenia náhradných dielov by bola veľmi zdĺhavá a hlavne finančne náročná záležitosť.

Vo všetkých riešeniach je navrhnuté vybudovanie tlakového privádzača o dĺžke 170 m a postavenie novej betónovej šachtice s následným krátkym 2 m odtokom do recipientu, čo je v tomto prípade jazierko na estetické účely na rekreáciu turistov na danom pozemku. Po dokončení všetkých výpočtov sa zistilo, že daná lokalita nie je rentabilná ani pre jeden variant. Usúdilo sa tak z dôvodu, že od malých vodných elektrární sa očakáva návratnosť investícií do 10 rokov. Najnižšia návratnosť bola vo Variante 2 a i tá je podľa rakúskych výkupných cien až 84 rokov. Ak by sa v tomto variante podarilo výrazne znížiť výšku investícií potrebných na vybudovanie tlakového privádzača, bola by možné dosiahnuť rentabilitu do 15 rokov.

Pre zhrnutie, MVE v lokalite Gleiming je prevediteľná, existuje vodný motor schopný využiť potenciál vody a vyrábať elektrickú energiu s výkonom maximálne do 0,5 kW, avšak rentabilita navrhovanej malej vodnej elektrárne je nedostačujúca.

8 POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] DU, Jiyun, Hongxing YANG, Zhicheng SHEN a Jian CHEN. Micro hydro power generation from water supply system in high rise buildings using pump as turbines. In: *Energy* [online]. 137. Elsevier, 2017, 7.3.2017, 431 - 440 [cit. 2018-05-22]. ISSN 0360-5442. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421730381X?via%3Dihub>
- [2] BEDNÁŘ, Josef. *Turbíny: (malé vodní elektrárny)*. 1. Českovice: Marcela Bednářová, c2013. ISBN 978-80-905437-0-6.
- [3] TGV Hydro / Micro hydro re-energises rural communities in Wales. *Ashden Awards Sustainable solutions, better life* [online]. Londýn: -, 2018 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.ashden.org/winners/tgv-hydro#continue>
- [4] TGV Hydro Ltd. *TGV Hydro Ltd* [online]. Crickhowell (Velká Británie): TGV Hydro, 2016 [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://www.tgvhydro.co.uk/about-us/latest-news-2/>
- [5] MAHARJAN, Niroj, Sailesh CHITRAKAR a Ravi KOIRALA. Design of Reversible Pump Turbine for its prospective application in Nepal. In: *International Journal of Scientific and Research Publications* [online]. -: -, 2014, s. 8 [cit. 2018-04-08]. ISBN -. ISSN 2250-3153. Dostupné z: <http://www.ijsrp.org/research-paper-0714/ijsrp-p3173.pdf>
- [6] Pico hydro Documents. *Pico Hydro* [online]. Nottingham: ., 2003 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/documents.html>
- [7] ITDG-EA / Pico-scale hydropower. *Ashden Awards Sustainable solutions, better life* [online]. Londýn: -, 2004 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.ashden.org/winners/itdg-ea>
- [8] MAHER, P. Community Pico Hydro in Sub-Saharan Africa: Case Study 1a. *Pico Hydro* [online]. -: -, 2002 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/KenyaCaseStudy1_1.pdf
- [9] MAHER, P. Community Pico Hydro in Sub-Saharan Africa: Case Study 1b. *Pico Hydro* [online]. -: -, 2002 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/KenyaCaseStudy1_2.pdf
- [10] MAHER, P. Community Pico Hydro in Sub-Saharan Africa: Case Study 2a. *Pico Hydro* [online]. Nottingham: -, 2002 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/CaseStudy_Thima\(a\).pdf](http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/CaseStudy_Thima(a).pdf)
- [11] MAHER, P. Community Pico Hydro in Sub-Saharan Africa: Case Study 2b. *Pico Hydro* [online]. Nottingham: -, 2002 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: [http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/CaseStudy_Thima\(b\).pdf](http://www.eee.nottingham.ac.uk/picohydro/docs/CaseStudy_Thima(b).pdf)
- [12] NIMJE, Akhilesh Arvind a Gopal DHANJODE. Pico-Hydro-Plant for Small Scale Power Generation in Remote Villages. In: *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology: IOSR JESTFT* [online]. India: IOSR Journals, 2015, s. 59-67 [cit. 2018-04-08]. ISBN -. ISSN 2319-2399. Dostupné z: <http://www.iosrjournals.org/>
- [13] THAI, Palang. 3 kW 'pump as turbine' microhydro at Mae Wei village, Tak Province. In: *Palangthai.blogspot* [online]. -: -, 2008 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://palangthai.blogspot.cz/2008/02/3-kw-pump-as-turbine-microhydro-at-mae.html>
- [14] MURNI, S., J. WHALE, T. URMEE, J.K. DAVIS a D. HARRIES. Learning from experience: A survey of existing micro-hydropower projects in Ba'Kelalan, Malaysia. In: *Renewable Energy* [online]. 60. -: Elsevier, 2013, 21.5.2013, s. 88-97 [cit. 2018-04-08]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.04.009>. ISBN -. ISSN -. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113002255>

- [15] CHAN, Kyu-Jung, In-Soo KIM, Xianghao REN a Kyeong-HO CHEON. Reliable energy recovery in an existing municipal wastewater treatment plant with a flow-variable micro-hydropower system. In: *Energy Conversion and Management* [online]. 101. -: Elsevier, 2015, 19.6.2015, s. 681–688 [cit. 2018-04-08]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.016>. ISBN -. ISSN -. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415005567?via%3Dihub>
- [16] Vybrané realizované zakázky: MVE VDJ Beroun. *Elzaco* [online]. -: -, 2007 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.elzaco.cz/cs/male-vodni-elektrarny/vybrane-realizovane-zakazky#Beroun>
- [17] Chata pri Zelenom plese má vlastnú vodnú elektrárň. *Energia* [online]. -: energy online, 2012, 12.7.2012 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://energia.sk/spravodajstvo/elektrina-a-elektromobilita/chata-pri-zelenom-plese-ma-vlastnu-vodnu-elektrarn/7590/>
- [18] DUŠIČKA, Peter. *Štúdia projektu rekonštrukcie MVE na chate pri Zelenom plese (Brnčalova chata)*. Bratislava, 2011.
- [19] JANDORA, Jan a Jan ŠULC. *Hydraulika: modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. ISBN 978-80-7204-512-9.
- [20] ČÁBELKA, Jaroslav. *Využitie vodnej energie I*. Bratislava: SVTL, 1958. ISBN -.
- [21] Peltonova turbína Technické muzeum Brno. In: *Výuka Jihlavsko* [online]. -: -, 2008, 2008 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://vyuka.jihlavsko.cz/elektrina-vyroba/index.htm>
- [22] Turgo.gif. In: *Mve energetika* [online]. -: - [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/turgo.htm>
- [23] Residential Turgo Hydro Turbine 12KW - 10MW Water Powered Turbine Generator. In: *Small turbines* [online]. Čína: smallhydroturbines.com, 2017 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.smallhydroturbines.com/sale-4351510-residential-turgo-hydro-turbine-12kw-10mw-water-powered-turbine-generator.html>
- [24] Turbína Setur. In: *MECHANIKA Králův Dvůr s.r.o: výrobca turbíny Setur* [online]. Česká republika: MECHANIKA Králův Dvůr, 2005, 2005 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.mechanikakd.cz/>
- [25] Setur turbína. In: *Mve energetika* [online]. -: -, - [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/setur.htm>
- [26] Bankiho turbína spády. In: *Mve energetika* [online]. -, - [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [27] Crossflow turbine. In: *Academic* [online]. -: Academic, 2017 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://enacademic.com/dic.nsf/enwiki/11590409>
- [28] Vírová turbína. *Energetický ústav Odbor fluidního inženýrství Viktora Kaplana: VUT v Brně* [online]. Brno: FSI VUT v Brně, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <http://www.eu.fme.vutbr.cz/odbor-fluidniho-inzenyrstvi/virova-turbina>
- [29] Unikátní vynález: vírová turbína na vodní elektrárně Želina. In: *Technický týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ, 2006, 8.11.2016 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/unikatni-vynalez-virova-turbina-na-vodni-elektrarne-zelina_37884.html
- [30] SAMMARTANO, Vincenzo, Costanza ARICÒ, Marco SINAGRA a Tullio TUCCARELLI. Cross-Flow Turbine Design for Energy Production and Discharge Regulation. In: *American Society of Civil Engineers Library* [online]. Reston: American Society of Civil Engineers, 2015, 03/2015 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0000977>
- [31] BRADA, Karel a Petr HLAVÍNEK. *Čerpadla ve vodním hospodářství*. Brno: NOEL 2000, 2004. ISBN 80-860-2043-6.

- [32] Výzva III programu podpory Obnovitelné zdroje energie. In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Česká republika: MPO, 2017, 22.9.2017 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/2017/9/OZE_Vyzva-III_srpen_2017_final_aa.pdf
- [33] *Harmonogram výzev na rok 2018 - Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost*. Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2018. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/cz/podnikani/dotace-a-podpora-podnikani/oppik-2014-2020/vyzvy-op-pik-2017/harmonogram-vyzev-op-pik-pro-rok-2017-a-2018--234162/>
- [34] OUTRATA, Vladimír. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 3/2017, ze dne 26. září 2017, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie. *Energetický regulační věstník*. Praha: Energetický regulační úřad, 2017, **17**(05/2017), 1-6.
- [35] UPDATE ZU AKTIONEN DER BUNDESLÄNDER 2017: Wo gibt es eine Revitalisierungsberatung für Kleinwasserkraft?. *Wasserkraft: DAS MAGAZIN DES VEREINS KLEINWASSERKRAFT ÖSTERREICH* [online]. 2017, **2017**(Nr.55), 14-15 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/kwk_wasserkraft_ausgabe_55_maerz_2017_web.pdf
- [36] Revitalisierung von Kleinwasserkraftwerken in Salzburg: – DIE WASSERKRAFTBERATUNG - Beratungsaktion für Betreiber von Kleinwasserkraftwerken. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/richtlinie_wkb.pdf
- [37] Ihre Revitalisierungsberatung: Im Auftrag von Land Kärnten. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/kwk_folder_a5_revitalisierungsberatung_kaernten.pdf
- [38] Ihre Revitalisierungsberatung: Kleinwasserkraft in Niederösterreich. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/kwk_folder_revitalisierung_2012.pdf
- [39] Beratung und Förderung. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/ooe_broschuere_fm_oeh.pdf
- [40] Förderung Beratungsaktion Kleinwasserkraft: Fachabteilung Energie und Wohnbau. *Energiestrategie Steiermark 2025* [online]. Graz Rakúsko: Land Steiermark - Amt der Steiermärkischen Landesregierung, 2018, 1.3.2017 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.energie.steiermark.at/cms/dokumente/11836556_98004878/6f8197ff/ABT15EW-3%200%20RL%20Kleinwasserkraft%202017.pdf
- [41] Revitalisierung von Kleinwasserkraftwerken in Tirol: Beratungsförderung Land Tirol. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/17-03-21_infolyer.pdf
- [42] *Investitionszuschuss für Kleinwasserkraftanlagen gemäß § 26 Ökostromgesetz 2012 (ÖSG 2012): Förderrichtlinie 2018*. In: . Viedeň Rakúsko: Abwicklungsstelle für Ökostrom, 2017, ročník 2017, číslo -. Dostupné také z: https://www.oem-ag.at/fileadmin/user_upload/Dokumente/investitionsfoerderung/Informationsblatt_Investitionszuschuss_Kleinwasserkraft_FRL2018.pdf
- [43] *BUNDESGESETZBLATT FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH: : Ökostrom-Einspeisetarifverordnung 2018 – ÖSET-VO 2018*. In: . Viedeň Rakúsko: der Bundesministerin für Wissenschaft, Forschung

und Wirtschaft, 2017, ročník 2017, 408. Verordnung: Dostupné také z: https://www.e-control.at/documents/20903/388512/BGBLA_2017_II_408.pdf/077e79d8-a345-858b-5e78-96905bff9b95

[44] Gleiming mapa. *Maps Google: Geoimage Austria* [online]. -: google, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z:

<https://www.google.cz/maps/place/Gleiming,+8973+Schladming,+Rak%C3%BAsko/@47.3872543,13.592683,723m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1sgleiming!3m4!1s0x47712ef90a7e781d:0x596518a7e83b780b!8m2!3d47.3892297!4d13.5958399>

[45] Ihre Revitalisierungs-Beratungs: Kleinwasserkraft in der Steiermark. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z:

http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/kwk_revitalisierungsberatung_steiermark_folder_a5_2018_sicht.pdf

[46] Kleinwasserkraft Steirische Schaukraftwerke: Österreich ist das Wasserkraftland Nr. 1. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: http://www.kleinwasserkraft.at/sites/default/files/kwk_stmk_mini-folder_.pdf

[47] Kleinwasserkraft in der Steiermark: Erneuerbare Energie in der „Grünen Mark“. *Kleinwasserkraft Österreich* [online]. Viedeň Rakúsko: Kleinwasserkraft Österreich, 2018 [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.kleinwasserkraft.at/wasserkraft-steiermark>

[48] Gasselhöhe. In: *Mapy.cz* [online]. -: Seznam.cz, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: <https://en.mapy.cz/zakladni?x=13.5926997&y=47.3543470&z=17&source=osm&id=6311303>

[49] Gleiming Satelitná mapa. *Maps Google: Geoimage Austria* [online]. -: google, 2018 [cit. 2018-04-09]. Dostupné z:

<https://www.google.cz/maps/place/Gleiming,+8973+Schladming,+Rak%C3%BAsko/@47.3872543,13.592683,723m/data=!3m1!1e3!4m8!1m2!2m1!1sgleiming!3m4!1s0x47712ef90a7e781d:0x596518a7e83b780b!8m2!3d47.3892297!4d13.5958399>

[50] Preisliste 2018: Steiermark. *Rohrdorfer* [online]. Langenzersdorf Rakúsko: Rohrdorfer, 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: http://www.rohrdorfer.at/924_DE

[51] BETONÁRNA BRNO – CENÍK 2018. *Transbeton* [online]. Brno: TRANSBETON, 2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: <http://www.transbeton.cz/cenik>

[52] *Průměrné ceny dopravní a technické infrastruktury v obci: Aktualizace 2017*. Brno: Ústav územního rozvoje Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, 2017. ISBN 978-80-7538-147-7.

[53] TOMÁŠ, František a Petr FLEISCHNER. Čerpadla: sbírka příkladů. Vyd. 2., část. přeprac. Brno: VUT Brno, 1982. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně).

[54] KOMOROVÁ, Magdaléna. Plastové zubové čerpadlo. 2018. jpg.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

SKRATKY

§	paragraf
ČOV	čistiareň odpadných vôd
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DN	priemer potrubia v mm
ERÚ	Energetický regulační úřad
FSI	Fakulta strojního inženýrství
HD	Hydrodynamické čerpadlo
HS	Hydrostatické čerpadlo
LDPE	Materiál potrubia, light density polyethylen
LPG	skvapalnený ropný plyn
m n. m.	metre nad morom
max	maximálne
min.	minimálne
MVE	malé vodné elektrárne
NT	nízka tarifa
odst.	odstavec
OP PIK	Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost
ÖSG	Zbierka zákonov v Rakúsku
PN	tlaková trieda potrubia
príp.	prípadne
PVC	materiál potrubia polyvinylchlorid
Sb	Zbierka zákonov v ČR
SVE	stredné vodné elektrárne
t. j.	to jest
VE	vodné elektrárne
VT	vysoká tarifa
VUT	Vysoké učení technické
VVE	veľké vodné elektrárne

SYMBOLY

€	euro
Kč	česká koruna
US\$	americký dolár

VELIČINY

D	priemer potrubia	[m]
E	merná energia	[kgm]
g	gravitačné zrýchlenie	[m/s ²]
H	spád	[m]
h	polohová (geodetická) výška	[m]
H_b	hrubý (brutto) spád statický	[m]
h_m	miestna strata mechanickej energie	[m]
h_t	stratová výška mechanickej energie dôsledkom trenia	[m]
h_z	stratová výška mechanickej energie	[m]
i	hydraulický sklon	[-]
L	dĺžka potrubia	[m]
P	výkon	[W]
p	tlak na kvapalinu	[N/m ²]
Q	prietok vody	[m ³ /s]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
S	prietočná plocha	[m ²]
T	teplota	[°C]
t	čas	[s]
v	prierezová rýchlosť	[m/s]
z	potenciálna energia polohy	[m]
α	Coriolisovo číslo	[-]
δ	hrúbka medznej vrstvy	[mm]
Δ	drsnosť stien potrubia	[mm]
η	Účinnosť	[-]
η_g	účinnosť generátora	[-]
η_m	účinnosť vodného motora	[-]
η_p	účinnosť prevodu	[-]
η_z	účinnosť využitia vodného zdroja	[-]

ϑ	viskozita	$[\text{m}^2/\text{s}]$
λ	súčiniteľ trenia	$[-]$
ξ	súčiniteľ miestnej straty pre danú singularitu	$[-]$
\bar{E}_{ni}	súčiniteľ miestnej straty pre výtok	$[-]$
ξ_{sd}	súčiniteľ miestnej straty pre drsné potrubie ostré koleno	$[-]$
ξ_{sh}	súčiniteľ miestnej straty pre hladké potrubie ostré koleno	$[-]$
ξ_{vi}	súčiniteľ miestnej straty pre vtok	$[-]$
ξ_{z2}	súčiniteľ miestnej straty pri náhlom zúžení prierezu	$[-]$
ρ	merná hmotnosť kvapaliny	$[\text{kg}/\text{m}^3]$

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 2.1: Celkové náklady na stavbu MVE Kathamba [9].....	7
Tabuľka 2.2: Investičné náklady MVE Thima [11]	8
Tabuľka 2.3: MVE v údolí Ba' Kelalan [14]	9
Tabuľka 2.4: Porovnanie laboratórných a reálnych výsledkov v Južnej Kórei [15].....	10
Tabuľka 3.1: Merná hmotnosť a kinematická viskozita vody pri tlaku $1,01 \cdot 10^5$ Pa [19].....	12
Tabuľka 3.2: Kónické zúženie priemeru potrubia hodnoty súčiniteľov miestnej straty [19]...	14
Tabuľka 3.3: Hodnoty súčiniteľa miestnej straty pre vtok a výtok, L je dĺžka zrezania, D je priemer potrubia [19].....	14
Tabuľka 3.4: Koeficient miestnej straty pre ostré koleno v závislosti na drsnosti potrubia a uhlu zmeny smeru [19].....	15
Tabuľka 5.1: Výška dotácie podľa elektrického výkonu [42]	29
Tabuľka 5.2: Výkupné ceny el. energie platné pre novopostavené a revitalizované MVE s výkonom do 2 MW (zvýšenie výkonu o min. 50 %) na základe žiadosti v roku 2018	30
Tabuľka 5.3: Výkupné ceny el. energie platné pre novopostavené a revitalizované MVE s výkonom do 2 MW (zvýšenie výkonu o min. 50 %) na základe žiadosti v roku 2019	30
Tabuľka 5.4: Výkupné ceny el. energie platné pre revitalizované MVE s inštalovaným výkonom do 2 MW(zvýšenie výkonu o min. 15 %) na základe žiadosti v roku 2018.....	31
Tabuľka 5.5: Výkupné ceny el. energie platné pre revitalizované MVE s inštalovaným výkonom do 2 MW(zvýšenie výkonu o min. 15 %) na základe žiadosti v roku 2019.....	31
Tabuľka 6.1: Prietok počas roka zistený z merania a odhadu	35
Tabuľka 6.2: Prepočet návrhových parametrov podľa Příkladu na str. 96 v [31] pre rôzne prietoky	38
Tabuľka 6.3: Odhadované investičné náklady na stavbu MVE Gleiming Variant 1.....	39
Tabuľka 6.4: Rentabilita MVE Gleiming Variant 1.....	39
Tabuľka 6.5: Rozmery skúšobného a návrhového zubového čerpadla	40
Tabuľka 6.6: Účinnosti zubových čerpadiel v čerpadlovom režime [53]	41
Tabuľka 6.7: Odhadované investičné náklady na stavbu MVE Gleiming Variant 2.....	41
Tabuľka 6.8: Návravnosť MVE Gleiming s Variantom 2 podľa českých a rakúskych výkupných cien elektrickej energie	42

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 2.1: Rozdelenie vodných elektrární podľa inštalovaného výkonu [2]	5
Obrázok 2.2: Použitie čerpadla v turbínovom a čerpadlovom režime v Nepále [5]	6
Obrázok 2.3: MVE pri ČOV Kiheung Respia [15]	9
Obrázok 2.4: Dispozičné riešenie MVE Chata pri Zelenom plese [18]	11
Obrázok 3.1: Moodyho diagram [19]	17
Obrázok 4.1: Peltonova turbína [21]	20
Obrázok 4.2: Obežné koleso Turgo [23]	21
Obrázok 4.3: Turgo turbína [22]	21
Obrázok 4.4: Podrobná schéma turbíny SETUR [25]	21
Obrázok 4.5: Princíp Michell-Bánki turbíny [27]	22
Obrázok 4.6: Závislosť účinnosti vodných motorov od pomeru prietoku k maximálnemu možnému prietoku vodného motora [30]	23
Obrázok 5.1: Výkupné ceny a zelené bonusy stanovené ERÚ dňa 26.9.2017, kde VT je pásmo platnosti vysokej tarify stanovenej prevádzkovateľom distribučnej sústavy v dĺžke 8 hodín denne a NT je pásmo platnosti nízkej tarify platnej v čase mimo pásma platnosti VT [34]	27
Obrázok 6.1: Mapa širších vzťahov [44]	33
Obrázok 6.2: Pozemok s popismi dôležitých bodov [49]	34
Obrázok 6.3: Plastové zubové čerpadlo – z tvrdého plastu kolesá i skriňa, tesnenie papierové [54]	40

ZOZNAM GRAFOV

Graf 4.1: Porovnanie zmeny účinnosti HD a HS čerpadiel pri rovnakej optimálnej účinnosti [31]	24
Graf 6.1: Disponibilný prietok v profile inštalácie elektrárne	34
Graf 6.2: Zmena využiteľného spádu počas roka	35
Graf 6.3: Čiara potencionálneho výkonu a čiara potencionálnej celkovej vyrobenej energie	36
Graf 6.5: Celková účinnosť diagonálnych a axiálnych čerpadiel [30]	37
Graf 6.4: Smerná hodnota maximálnej dopravnej výšky rôznych typov odstredivých čerpadiel jednostupňových [31]	37
Graf 6.6: Disponibilný prietok k využitiu pre MVE, oranžovou vyznačená hranica 0,8 l/s	38

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha A – Fotodokumentácia osadzovania šachty
- Príloha B – Hydrotechnické výpočty potenciálu lokality
- Príloha C – Hydroenergetické výpočty potenciálu lokality
- Príloha D – Schéma stávajúcej šachty
- Príloha E – Schéma navrhovanej šachtice
- Príloha F – Hydroenergetické výpočty pre všetky varianty
- Príloha G – Návrh zubového čerpadla
- Príloha H – Návrh Peltonovej turbíny

SUMMARY

This bachelor thesis is taking part in bringing new light into the topic of hydropower more importantly to the usage of residual gradients and flow. Thesis is divided into four parts.

First part is looking into how czech's legislative is dividing hydropower plants according to the power output and then bachelor thesis is looking into existing picohydropower plants around the world with power output up to 10 kW or 20 kW if it's somehow beneficial to the bachelor thesis, such as picohydropower plant installed in the output of waste water treatment plant to make waste water treatment plant more self-sufficient with electricity or picohydropower plant using residual gradient of the penstock of water tower. Also new picohydropower plant build as substitute for diesel aggregate in mountains to protect nature. These are few mentioned examples in the first part.

Second part is about basic hydraulics of penstocks and how to calculate power output from hydropower plant. Followed by different types of turbines with basic description, advantages and disadvantages for each type of turbine which can be used for residual gradients and flow.

To be able to calculate rentability of new hydropower plant is important to know prices when you sell electricity into grid and what are possible grants for building hydropower plant from government. This all is mentioned in the part three of bachelor thesis for two different countries: Czech Republic and Austria.

Lastly, location of new hydropower plant is analyzed. What is location potential in concern of hydropower. And how that can be utilized for the best. For selected location is characteristic very low flow and high gradient. This bachelor thesis is proposing three different designs. First design proposes to use pump as turbine, the pump is meant as hydrodynamic. Second design selected as best usage of hydrostatic pump in turbine mode, to be exact plastic gear pump. And last design is using the usual turbine for low flow and high gradient the Pelton turbine. All designs differ very greatly in price.