

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Bakalářská práce

Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Polák Ph.D.

Autor práce: Dominik Pechar

Praha 2017

Česká univerzita v Praze

Technická fakulta

Zadání bakalářské práce

Dominik Pechar

Technologická zařízení staveb

Název práce

Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie

Název anglicky

Small hydropower – renewable energy source

Cíle práce

Na základě literární rešerše zmapovat historický vývoj, současný stav a výhledy ve využívání malých vodních toků pro účely hydroenergetiky. Provést technicko-ekonomické zhodnocení vybrané instalace.

Metodika

- zpracovat literární rešerši
- popsat a zhodnotit vybranou malou vodní elektrárnu

Doporučený rozsah práce: 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova: hydroenergetika, malá vodní elektrárna, vodní motor, turbína

Doporučené zdroje informací:

1. Melichar, J., Bláha, J., Brada, K.: Hydraulické stroje – konstrukce a provoz, ČVUT Praha 2002.
2. Melichar, J.: Hydraulické a pneumatické stroje, část vodní turbíny, ČVUT Praha 2013.
3. Melichar, J., Vojtek, J., Bláha, J.: Malé vodní turbíny – konstrukce a provoz, ČVUT Praha 1998.
4. Nechleba, M., Hušek, J.: Hydraulické stroje, SNTL Praha 1966.
5. Štoll, Č., Kratochvíl, S., Holata, M.: Využití vodní energie, SNTL Praha 1977.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno: 7. 10. 2016

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 11. 1. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

Praze dne 27. 3. 2017

..

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že bakalářskou práci “ Malé vodní elektrárny – obnovitelný zdroj energie“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 27. 3. 2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D., za vstřícný přístup, odborné informace a podnětné připomínky. Dále děkuji panu Ing. Michalu Čermákovi, majiteli MVE Planá za poskytnuté informace a údaje potřebné ke zpracování práce.

Malé vodní elektrárny - obnovitelný zdroj energie

Abstrakt

První, rešeršní část bakalářské práce se zabývá historickým vývojem využití vodní energie. Následně jsou popsány principy činnosti nejpoužívanější typů vodních turbín, ale i některých nekonvenčních vodních motorů vhodných pro malé vodní elektrárny.

Druhá, praktická část je věnována konkrétní instalaci malé vodní elektrárny Planá na řece Vltavě. Jsou zde popsány hydrotechnické podmínky lokality stavebně-technické řešení elektrárny a její technologické vybavení. Závěr práce je věnován ekonomickému hodnocení investice na výstavbu elektrárny.

Klíčová slova

malá vodní elektrárna, vodní turbína, hydroenergetika, Archimédův šroub, šneková turbína.

Abstract:

First part of this bachelor thesis is going through the historical development of water power. It is also describing the principals of the most commonly used water turbines as well as the unconventional ones used especially for small hydroelectric plants.

The second part is devoted to MVE Planá on Vltava river, focusing on describing the power station building process and the technologies it has to offer. The financial evaluation of the investment is summarized at the end of the assignment.

Keywords:

small hydroelectric power plant, water turbine, hydro power, Archimedes screw, screw turbine

Obsah

1	Úvod	1
2	Světová historie vodní energetiky	2
3	Historický vývoj vodní energetiky na našem území	4
3.1	19. století a období před 1. světovou válkou	4
3.2	Období 1. světové války a doba velké hospodářské krize	5
3.3	Období 2. světové války	6
3.4	Období od roku 1960 do 1989	7
3.5	Období po roce 1989 do současnosti	8
4	Vodní turbíny	9
4.1.1	Rovnotlaké turbíny:	9
4.1.2	Přetlakové turbíny:	9
4.2	Nejčastěji používané vodní turbíny	9
4.2.1	Peltonova turbína	9
4.2.2	Francisova turbína	10
4.2.3	Kaplanova turbína	12
4.3	Nekonvenční vodní motory pro MVE	13
4.3.1	Vodní kolo	13
4.3.2	Lopatková vodní kola	14
4.3.3	Bezlopatková turbína - SETUR	15
4.3.4	Šneková turbína	16
5	MVE Planá	19
5.1	Jez	20
5.2	Sportovní propust	20
5.3	Rybí přechod	21
5.4	Turbíny	22
5.4.1	Výpočet výkonu turbín	22

5.5	M-denní průtoky	24
5.6	Roční produkce elektrické energie	25
5.7	Ekonomické zhodnocení.....	27
5.7.1	Investiční náklady	27
5.7.2	Odhad ročních nákladů na provoz MVE Planá.....	28
5.7.3	Výkupní cena za elektrickou energii.....	28
5.7.4	Výpočet ročních výnosů.....	29
5.7.5	Cash-flow	29
5.7.6	Daňové odpisy.....	29
5.7.7	Daň z příjmu.....	30
5.7.8	Kumulovaný tok hotovosti	30
5.8	Přehled ekonomického zhodnocení MVE Planá	31
5.8.1	Doba návratnosti investice	31
5.8.2	Výhledy do budoucna.....	32
6	Závěr.....	33
7	Seznam literatury.....	39

1 Úvod

Česká republika využívá celou řadu různých obnovitelných i neobnovitelných zdrojů pro výrobu elektrické energie. Území našeho státu disponuje zásobami uhlí, které je možné zařadit mezi jeden z nejvyužívanějších zdrojů energie. Těžba a následné spalování uhlí však má negativní vliv na životní prostředí. Mezi další důležité zdroje řadíme jaderné elektrárny, které ale mohou představovat riziko. Jelikož Česká republika nedisponuje vlastními zásobami ropy a zemního plynu, je potřeba se spoléhat na dovoz těchto surovin ze zahraničí. Z důvodu vyčerpatelnosti neobnovitelných zdrojů, je vhodné se soustředit na způsoby získávání energie, které nemají omezené zásoby a negativní dopad na životní prostředí. Do popředí pozornosti se stále více dostávají možnosti získávání energie z obnovitelných zdrojů. Mezi nejstabilnější obnovitelné zdroje patří hydroenergetika. Tyto elektrárny využívají potenciálu vodních toků k výrobě elektrické energie s minimálním, prakticky nulovým dopadem na životní prostředí.

V České republice je využívání malých vodních elektráren omezeno z důvodu přírodních podmínek. Současný potenciál využití hydroenergetických zdrojů v České republice není však zcela vyčerpán a dosahuje hodnoty pouhých 30 %. Velkým (s výkonem nad 100 MW) a středním vodním elektrárnám (s výkonem do 100 MW) náleží jen třetina zbývajících hydroenergetického potenciálu, zbylým potenciálem disponují malé vodní elektrárny.

Z nevyužitých oblastí pro budoucí, nově zakládané vodní elektrárny připadá jen třetina velkým (s výkonem nad 100 MW) a středním vodním elektrárnám (s výkonem do 100 MW), zatímco zbytek nevyužitého potenciálu náleží malým vodním elektrárnám s instalovaným výkonem do 10 MW. Malé vodní elektrárny by tedy v budoucnu mohly získávat výkon přes 600 MW a produkovat okolo 2000 GWh elektrické energie za rok. Taková produkce by byla významným přínosem pro krytí celkové energetické spotřeby. (Holata, 2002)

2 Světová historie vodní energetiky

Historicky první případy, kdy člověk poprvé začal využívat tekoucí vody k usnadnění práce spadají do období kolem r. 600 př. n. l. na území Mezopotámie. Pomocí vodního kola dokázali zemědělci využít vodní energii k čerpání vody. Jednalo se o zavedení vody do systému kanálků, díky kterému získali možnost efektivně zavlažovat zemědělskou půdu. Vodní kola se používala i k pohonu vodních mlýnů, hamrů a dalších zařízení. Na našem území byl vybudovaný první mlýn poháněný vodní energií v roce 718 na řece Ohři u Žatce. Je tedy zřejmé, že člověk využívá energii tekoucí vody již historicky dlouhé období. (Štoll, a kolektiv, 1977)

Na technický rozvoj vodních strojů měly velký vliv vědecké poznatky z 18. století, kdy fyzici a matematici popsali první principy, které následně pomohly k rozvoji vodních strojů. V roce 1750 Johann Andrea Segner sestrojil kolo, které se dokázalo otáčet působením reakčního účinku vody. Daniel Bernoulli tento princip teoreticky odvodil už v roce 1730. Euler popsal základy principu turbín ve svých pracích z let 1750, 1751, 1754. Přestože vodní energie patří k nejdéle využívaným energetickým zdrojům lze tvrdit, že technologický vývoj vodních motorů byl opožděný. Kvůli nevýhodám a těžkostem při využívání vodní energie, spojených s často nevýhodným umístěním elektrárny, byla na začátku průmyslové revoluce pozornost vědy zaměřena především na rozvoj parního stroje. Důsledkem tohoto nedostatku byl útlum vývoje hydroenergetického průmyslu. Poznatky z 18. století vedly k sestrojení první přetlakové turbíny, kterou zhotovil francouzský technik Benoit Fourneyron roku 1827. Fourneyronovu turbínu začala nahrazovat Francisova turbína, která byla postupně zdokonalována. V principu jednoduchou turbínu sestrojil Pelton, jedná se o rovnotlakou turbínu, která je používána pro velmi vysoké spády (od 200 m až do 2000 m). Na začátku dvacátého století zkonstruoval na půdě brněnské techniky Viktor Kaplan svou přetlakovou turbínu, která je určena především pro malé spády. Její výroba začala v Brně roku 1918 a využívá se dodnes po celém světě. (Zeithammer, 2003)

Mechanickou energii vzniklou působením vody lidé používali k pohonu různých strojů v dílnách a továrnách. Největší nevýhodou takto využívané energie byla vázanost dílen na blízkost řeky, protože lidé nedokázali energii přenášet na delší vzdálenost. Vynálezem elektrického generátoru a elektrického motoru byl tento nedostatek překonán. Turbína roztáčela elektrický generátor, který přeměňoval mechanickou energii na elektrickou. Tu pak bylo možno přenášet na delší vzdálenosti pomocí elektrického vedení. K prvnímu přenosu

elektrické energie z vodní elektrárny došlo v roce 1891 z města Lauffenu do města Frankfurtu nad Mohanem, které jsou od sebe vzdáleny 175 km. V průběhu 20. století byla budována elektrizační soustava, která měla zásadní vliv na využití vodní energie. Vodní elektrárny lze zařadit mezi jedny z nejstabilnějších zdrojů energie na rozdíl od větrných nebo fotovoltaických elektráren, kde je produkce energie velmi nestálá. Proto je vhodné využívat pro elektrizační soustavu právě vodních elektráren. (Štoll, a kolektiv, 1977)

3 Historický vývoj vodní energetiky na našem území

3.1 19. století a období před 1. světovou válkou

Od dvacátých let 19. století byly na našem území zaváděny parní stroje, díky kterým zaznamenal průmysl ohromný rozvoj. Do té doby byla strojní výroba závislá především na větších vodních tocích, které měly potřebnou vodnost. Využívání parních strojů umožňovalo výstavbu továren na strategických místech, která nebyla omezována umístěním v blízkosti vodních toků. To bylo zásadní pro dopravu, dostupnost surovinových a palivových zdrojů a na dostatečné množství zaměstnanců. Výroba energie přestala být místně vázaná, což mělo za následek rozvoj techniky. Ten se projevil vznikem velkých průmyslových podniků a modernizací strojů s výrazně vyšším výkonem. Využití parních strojů bylo úzce spojeno s růstem těžby uhlí a České země se staly těžební velmocí. Roku 1847 se u nás vytěžilo 73,3 % celkového množství uhlí v celém Rakousko-Uhersku a roku 1890 to bylo až 92,6 %. Cena uhlí byla na začátku 19. století relativně příznivá, v druhé polovině 19. století se začala zvyšovat v důsledku omezení rozvoje těžby.

Pro celý energetický vývoj měl zásadní vliv objev a využití elektrické energie. Výstavba malých parních a vodních elektráren byla realizována především z důvodu velkého rozvoje spotřeby elektrické energie. Tyto elektrárny byly z počátku určeny především pro osvětlování a poté i pro pohon strojů. (Pažout, 1987)

Výroba turbín pro vodní elektrárny na našem území začala v Blansku na počátku 19. století. Od roku 1870 zde byly vyráběny Francisovy turbíny, ale velký rozvoj výroby vodních motorů nastal až ve 20. století, kdy se jejich výroba stala hlavním výrobním artiklem ČKD Blansko. Dalším podnikem byla společnost Josef Prokop a synové založená v roce 1870. Tato továrna se později stala nejúspěšnějším výrobcem vodních turbín na našem území a vyvážela své produkty do všech států Evropy i do některých asijských zemí. Vodní elektrárny začaly nabývat na důležitosti v devadesátých letech 19. století, kdy už byly k dispozici vhodné turbíny a možnost přenosu elektrické energie. Další faktorem, který ovlivnil význam vodní energie byla také stoupající cena uhlí. V letech 1900-1914 bylo na našem území vybudováno mnoho malých vodních elektráren, které neměly za úkol vyrábět elektrickou energii pro průmyslové podniky, ale sloužily k elektrizaci obcí a k rozvoji řemeslné výroby a dodávaly energii i do domácností a zemědělství. Spotřeba elektrické energie postupem času výrazně stoupala. Znamenalo to, že nejmenší vodní elektrárny, které vyráběly elektrickou energii pouze pro osvětlení obcí, již nestačily. Proto byly malé vodní elektrárny budovány

s takzvanou kalorickou rezervou (záložním výkonem). To jejich vybudování a provoz výrazně prodražovalo a nemohly dostatečně konkurovat postupně se rozvíjejícím velkoelektrárnám, ty je buď časem pohltily, nebo malé elektrárny sloužily jen jako pomocný zdroj některým menším dílnám. (Pažout, 1982)

3.2 Období 1. světové války a doba velké hospodářské krize

K úpadku malé hydroenergetiky došlo především v průběhu 1. světové války, kdy vlivem branné povinnosti řemeslníků drobných dílen využívající malé vodní elektrárny byli jejich provozovatelé nuceni odejít na frontu. Zaměstnanci průmyslových továren byli od této povinnosti osvobozeni. Výrobní program továren se změnil na v té době na program válečný, což byl hlavně zbrojní průmysl. Malé vodní elektrárny i přes nepříznivé okolnosti neztrácely na významu. Nedostatek nafty a petroleje, který nastal za 1. světové války, vedl k rozvoji malých vodních elektráren, jejichž energie byla využívána v potravinářském průmyslu zásobujícího armádu. Největší vodní elektrárny u nás se v roce 1918 nacházely ve Vyšším Brodě Pod Čertovou stěnou o výkonu 8 MW, na pražské Štvanici s výkonem 1,42 MW, na Labi v Poděbradech 1,04 MW. Další elektrárny měly výkon pouze v rozmezí od 10 do 100kW. Na další rozvoj hydroenergetiky měl vliv nově zavedený zákon o soustavné elektrizaci. Zákon byl přijat po roce 1919 a jednalo se o udělení dotací z veřejných prostředků pro podporu budování vodních elektráren. Soustavná elektrizace se tím stala veřejným zájmem. To bohužel mělo i svá úskalí, která nebyla na první pohled úplně zřejmá. Politické strany, především agráři a národní demokraté získali vliv na energetické podniky. Neustálé politické diskuze a intriky negativně poznamenaly zakládání vodních elektráren, které se tak dostávaly do nevýhodné pozice oproti tepelným elektrárnám. V této době stoupala spotřeba energie pro osvětlení, což pro tepelné elektrárny bylo nepříznivé, protože regulace výroby energie je v nich velice obtížná a zdlouhavá. Tvoření krátkodobých špiček je pro tepelné elektrárny nepraktické. Naopak malé hydroenergetické podniky s touto skutečností dokázaly dobře pracovat a začaly tepelným elektrárnám konkurovat. Ke dni 31. 12. 1923 byly sumarizovány záznamy o výkonech u jednotlivých druhů elektráren. Z nich vyplývalo, že za poslední 4 roky byl v hydroenergetice instalován stejný výkon, jaký byl od počátku výstavby vodních elektráren do roku 1918. Rozmach v hydroenergetice dále pokračoval výstavbou údolních přehrad na řekách s dostatečnými průtoky. (Zeithammer, 2003)

Doba Velké hospodářské krize se v energetice projevila hlavně omezováním výroby, investic a domácí spotřebou. Elektrárenské svazy byly podporovány státem, jak

administrativně, tak finančně (asi 2 mld. Kč). Podpora vyostřila vztahy mezi těmito svazy, tzv. všeužitečnými podniky a ostatními výrobci elektřiny. Dotace státu pro svazy byla určena pro elektrifikaci obcí, které dosud nebyly plně elektrifikovány. Tento cíl však nebyl zdaleka naplněn, protože všeužitečné podniky se snažily o maximální zisk, proto nebyla elektrifikace obcí jejich hlavním zájmem. Díky státní podpoře měly elektrárenské svazy také výhody v podobě nepříliš vysokého rizika při investování, protože velkou část investovaných peněz tvořily veřejné prostředky. Další výhodou podpory od státu bylo to, že tyto svazy nemusely v obcích stavět místní rozvodné sítě. Ty musely na vlastní náklady budovat obce. Toto zvýhodňování stavělo menší parní a vodní elektrárny do velice nepříznivé pozice a výrazně zasahovalo do jejich konkurenceschopnosti. Navíc menší elektrárny byly znevýhodňovány při administrativním rozhodování. Zde byl vždy upřednostněn zájem elektrárenských svazů. Například svazy měly právo na vyvlastnění pozemků v případě, kdy obec odmítala stavět elektrické vedení. (Pažout, 1987)

3.3 Období 2. světové války

Výrazný pokrok zaznamenaly vodní elektrárny v letech 1930–1944. Důvodem vzestupu v období hospodářské krize a následné době okupace byla potřeba maximální výroby elektrické energie pro pohon strojů ve zbrojním průmyslu. Rychlý nárůst spotřeby elektrické energie nastal především při přemístování válečné výroby z Německa na naše území z důvodu leteckého bombardování. Vysoká spotřeba elektrické energie vyústila v rozhodnutí tehdejšího Ministerstva hospodářství a práce ke zvýšení výkonu všech hydroelektráren a jejich revizi. Další snaha o navýšení kapacit výroby elektrické energie spočívala v pobídce podnikatelů na vytvoření projektu k využití dosud nevyužitých lokalit. Vysoký tlak na zvýšení výroby měl za následek omezení údržby a nahrazování kvalitnějších materiálů lacinějšími, což mělo za následek častější poruchovost a odstávky. Z důvodu zavírání vysokých škol během okupace přicházela hydroenergetika o pravidelný přísun inženýrů. Toto období znamenalo pro technický rozvoj ztrátu asi 7 let. (Bouška, 2015)

V poválečném období výroba elektrické energie naopak výrazně klesla. V porovnání s rokem 1944 v Čechách výroba poklesla o 35 % a na Slovensku dokonce o 47,6 %. V pozdějších letech bylo na základě znárodnovacího dekretu znárodněno 1350 podniků vyrábějících elektřinu, což činilo 40 % ze všech podniků tohoto typu v celé zemi. Podniky vlastníci vodní energetické zdroje, které sloužily k mechanickému pohonu, se znárodnění vyhnuly. Ale později, s rostoucím vlivem režimu přešly pod správu JZD, národních spolků,

jiných organizací nebo byly vyřazeny z provozu. Znárodnění se týkalo rovněž závodních hydroelektráren. Velké vodní elektrárny spadaly do správy Ústředního ředitelství československých energetických závodů. V roce 1949 bylo ve státní správě celkem 160 hydroelektráren, z toho 152 malých vodních elektráren. Celkový výkon všech těchto znárodněných elektráren byl 240 571 kW s celkovou roční výrobou 756 762 miliónů kWh. Z údajů roku 1949 vychází, že z celkového instalovaného výkonu v hydroelektrárnách u nás bylo 30 % instalováno v malých vodních elektrárnách. V letech 1948 a 1949 bylo odstaveno z provozu velké množství mikrozdrojů z důvodu nízké automatizace, protože tyto výrobní zaměstnávaly značné množství pracovníků, které bylo potřeba umístit na jiných pozicích v průmyslu. Definitivní vliv na zastavení činnosti mikrozdrojů měl prudký pokles výkupní ceny vyráběné energie pro výrobce za 1 kWh dodávaný do sítě. V roce 1930 byla cena stanovena na 3 Kčs za 1 kWh, v roce 1947 to bylo 2,80 Kčs a v roce 1956 klesla cena až na 0,66 Kčs/kWh. Toto snížení se týkalo pouze malých vodních elektráren s výkonem do 200 kW. Vodních elektráren s výkony nad 200 kW bylo v letech 1948 až 1979 vybudováno celkem 29. (Pažout, 1987)

3.4 Období od roku 1960 do 1989

V roce 1960 došlo k úplnému zrušení malých vodních elektráren s výkony do 200 kW. Vyřazení z provozu nastalo z důvodu již zmiňovaných ekonomických aspektů, ale také z důvodu rozhodnutí komise G-60, která označila tyto zdroje za neúčelné a nevhodné. Později se ukázalo, že tento stanovený závěr podcenil význam mikroelektráren s výkonem do 35 kW. Verdikt vysloven komisí G-60 byl nesprávný když uváděl, že malé zdroje musí být centrálně spravovány a dispečersky řízeny, což by vedlo ke složitému centrálnímu ovládní, rozsáhlé administrativě atd. V období mezi lety 1950 až 1962 se u nás budovaly především velké vodní elektrárny s velkými akumulacími nádržemi. Jednalo se hlavně o výstavbu elektráren na tzv. Vltavské kaskády. Postupně byly vybudovány elektrárny Slapy (1954, 144 MW), Lipno (1959, 120 MW), Kamýk (1960, 40 MW) a Orlík (1961, 364 MW). Až do začátku osmdesátých let trval proces přehlížení a následné likvidace malých vodních elektráren. V tomto období se začala projevovat snaha o předání některých starých malých vodních elektráren do vlastnictví závodů. Řada těchto elektráren vlivem stáří a zanedbané údržby byla vyřazována z provozu. (Pažout, 1987)

3.5 Období po roce 1989 do současnosti

V letech 1980 až 1990 byla výstavba téměř všech malých vodních elektráren utlumena, až na nejmenší mikroelektrárny s výkonem do 35 kW. Po revoluci 1989 došlo k uvolnění podnikání, které se týkalo i oblasti malých hydroenergetických podniků. Důležitým faktorem, který ovlivnil další vývoj, byla nová legislativa a zákon o vodách a následně i zákon o podpoře výroby energie z obnovitelných zdrojů. Podnikatelé získali volnost hlavně zrušením omezení hranice výroby elektřiny do 200 000 kW za rok, což znamenalo možnost budování malých vodních elektráren bez administrativních omezení týkajících se instalovaného výkonu. Postupně docházelo k privatizacím a následnému obnovení provozu některých vyřazených malých vodních elektráren, ale i k výstavbě nových. Tyto rekonstrukce a budování elektráren byly podporovány dotacemi někdejší České energetické agentury a poté fondy Evropské Unie. V roce 2013 se na našem území nacházelo 1 467 MVE s celkovým instalovaným výkonem 330,2 MW. (Bouška, 2015)

Významnou překážkou pro následný provoz malých vodních elektráren, které byly uvedeny do provozu po 1. 1. 2013, je snížení přislíbené dotace z Operačního programu podnikání a inovace na výstavby nových elektráren. Podle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č.4/2013 z 27.11.2013 došlo ke snížení podpory o 14 % z původních 20 – 30 %, což znamená, že předpokládané ekonomické propočty na realizaci potenciálních projektů nejsou reálné a pro podnikatele jsou kvůli nárůstu počáteční investice neproveditelné. (Bouška, 2015)

4 Vodní turbíny

Potřeba zlepšení provozních vlastností vodních kol mělo za následek vývoj prvních vodních turbín. Konkrétně se jednalo se o zvýšení otáček, účinnosti a zvětšení rozsahu využitelných spádů a průtoků. Lopatková vodní kola pracují jen díky účinku kinetické vodní energie, která vzniká nárazem vody na lopatku a energie tlaková je pro toto provedení vodního kola nevyužita. Zdokonalení provozních vlastností nastalo především díky využití tlakové energie vody – zavedením přetlakových turbín.

Podle způsobu přeměny hydraulické energie rozdělujeme turbíny na dva základní druhy: akční (rovnotlaké) a reakční (přetlakové). (Holata, 2002)

4.1.1 Rovnotlaké turbíny:

Princip výroby energie u rovnotlakých turbín závisí na přeměně kinetické energie vody na mechanickou energii na lopatkách turbíny. Dopadající voda předává téměř všechnu energii na pohon hřídele a jen malá část energie je využita k odvodu vody z lopatky. Konstrukce rovnotlakých turbíny má jistou podobnost s lopatkovými vodními koly, ale v energetické účinnosti se výrazně liší. Charakteristický tvar lopatek u přetlakových turbín umožňuje přenos energie s minimálními ztrátami. (Gabriel, a kolektiv, 1998)

4.1.2 Přetlakové turbíny:

U přetlakových turbín dominuje přeměna tlakové energie vody na mechanickou. Na lopatky působí dynamický účinek proudu vody, který je úměrný množství vody protékající kanály mezi oběžnými lopatkami. K dosažení co nejvyšší energetické účinnosti je nutné navrhnout co nejvhodnější zakřivení lopatky, které umožní co nejvíce využít energii vody vstupující do turbíny. (Gabriel, a kolektiv, 1998)

4.2 Nejčastěji používané vodní turbíny

4.2.1 Peltonova turbína

V roce 1878 byla poprvé použita Peltonova turbína v americkém Nevada City na dole Mayflower Mine. Turbína byla vynalezena Američanem Lesterem Allanem Peltonem v dobách zlaté horečky, kdy rostla spotřeba palivového dříví na pohon parních strojů a vodní energie byla používána spíše jako pomocný zdroj. V té době vznikalo více vynálezů vodních turbín založených na zdokonalování vodního kola, ale Peltonova turbína měla nejvyšší účinnost. (Gruber, 2013)

Peltonova turbína je rovnotlaká turbína s tangenciálním ostřikem, která se hodí pro vyšší spády (nad 200 metrů). Na našem území disponujeme takovými podmínkami jen v několika lokalitách a Peltonova turbína se u nás téměř nepoužívá. Na obrázku č. 1 je zobrazena Peltonova turbína s pěti dýzami. (Ulrych, 2007)

Obrázek 1 - Peltonova turbína



Zdroj: (mechanical-engg.com, 2015)

Principem Peltonovy turbíny je přeměna tlakové energie získaná spádem na kinetickou energii v dýzách. Vodní proud tečným vstříkem vstupuje na lopatky oběžného kola, kde se kinetická energie vodního paprsku mění na mechanickou energii odebíranou na hřídeli. Pro optimalizaci účinnosti je zásadní lžícovitý tvar lopatky. Střední přepážka uprostřed lopatky rozděluje paprsek na dvě poloviny, které jsou poté odváděny vlivem zakřivení téměř o 180° zpět. Účinnost turbín tohoto typu se pohybuje v rozmezí od 80 % do 95 %. Výhodou Peltonovy turbíny, oproti jiným turbínám, je snadná regulovatelnost. Průtok není závislý na změnách zatížení, není náchylná ke kavitaci a existuje možnost zvýšení hltnosti přidáním dalších dýz. (Melichar , a kolektiv, 1998)

4.2.2 Francisova turbína

Americký inženýr anglického původu James Bicheno Francis vynalez v roce 1849 turbínu, která je dnes jednou z nejpoužívanějších. Jedná se o přetlakovou turbínu, která se hodí pro spády od 40 do 700 metrů. J. B. Francis vytvořil tuto turbínu na základě řady testů

a experimentů, ale má také velký podíl na metodách výpočtů a měření, které jsou základem teorie turbín. Jeho analytické metody se dodnes používají při návrzích turbín vhodných pro konkrétní podmínky instalace.

Principem Francisovy turbíny je částečná přeměna tlakové energie na kinetickou v rozváděcím kole, kdy tlak vody přicházející do oběžného kola je vyšší než tlak atmosférický. Pokračování přeměny tlakové energie na kinetickou probíhá v oběžném kole, kde se energie předává lopatkám. Voda poté opouští prostor oběžného kola sací troubou, která umožňuje využití užitečného spádu. Francisovu turbínu lze instalovat v zásadě dvojím způsobem, a to s vertikálně nebo s horizontálně uloženým hřídelem. (Ulrych, 2007)

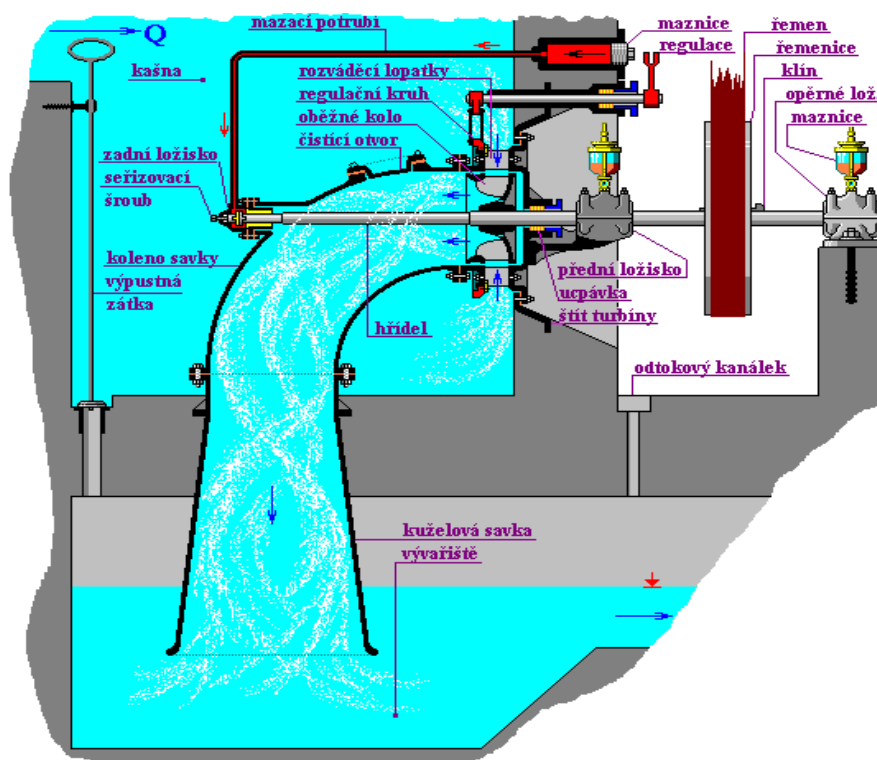
4.2.2.1 Francisova vertikální turbína

V minulosti byl tento typ turbíny hojně využíván především ve větších mlýnech, elektrárnách a průmyslových závodech. Oproti horizontální Francisově turbíně má vertikální provedení vyšší účinnost, která je však následně snížena vznikem ztrát na ozubených a řemenových převodech. U modernějších turbín bývá už jen převod ozubený. Turbína je umístěna na dně turbínové kašny, svisle vzhůru vychází hřídel vedoucí do strojovny. Po obvodu turbíny jsou regulovatelné rozváděcí lopatky, do kterých natéká voda z kašny. Oběžné kolo se skládá ze zakřivených kanálků, ve kterých proud vody mění směr a rychlost a tím předává svou energii. (Laika, 2009)

4.2.2.2 Francisova horizontální turbína

Horizontální verze Francisovy turbíny patřila v minulosti k nejpoužívanějším přetlakovým turbínám. Používala se především k mechanickému pohonu pil, mlýnů a zařízení v různých menších živnostech. Řadu těchto turbín se podařilo zachovat až do dnešní doby a jsou využívány v malých vodních elektrárnách. Hlavní výhodou horizontálního uspořádání je, že hřídel vede přímo do prostoru strojovny, což zjednodušuje převody. Většinou se u tohoto typu turbíny používá pouze řemenový převod a z důvodu umístění horizontální turbíny ve stěně kašny nad spodní hladinou se zde používá kolenová sací trouba. (Laika, 2009)

Obrázek 2 - Francisova horizontální turbína



Zdroj: (Laika, 2009)

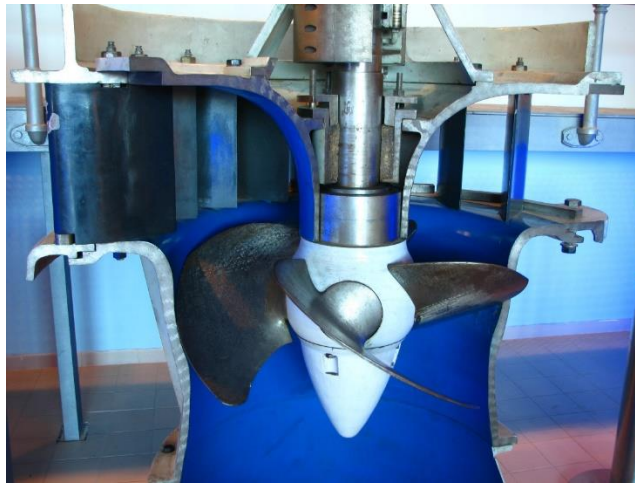
4.2.3 Kaplanova turbína

Vynálezcem Kaplanovy turbíny je Rakušan Viktor Kaplan, který po absolvování Vídeňské techniky působil v Brně jako konstruktér vodních strojů a poté jako profesor. Konstrukce první Kaplanovy turbíny se datuje kolem roku 1912, ale k využití v praxi došlo až po řadě let, v roce 1919. Velkou potíž představovala kavitace, která v té době nebyla příliš prozkoumána. Další komplikací byly průtahy s uznáváním patentů. Tyto neúspěchy měly neblahý dopad na Kaplanovo zdraví, zhroutil se a těžce onemocněl. Díky jeho přátelům, kteří chápali význam jeho vynálezu, se podařilo turbínu prosadit v praxi a roku 1923 byly spuštěny dvě Kaplanovy turbíny s bezvadným chodem. Viktor Kaplan zemřel roku 1934 v Rochuspointu u Unternachu ve věku 57 let. (Ulrych, 2007)

Kaplanova turbína je, stejně jako Francisova, přetlaková turbína. Tyto dvě nejvýznamnější přetlakové turbíny se však od sebe konstrukčně liší. Kaplanova turbína má vrtulový tvar a voda jí protéká pouze axiálně. Druhou odlišností je možnost natáčení jak rozváděcích, tak i oběžných lopatek. Tato konstrukce umožňuje Kaplanově turbíně zachovat geometrickou podobnost rychlostních trojúhelníků, díky čemuž dosahuje nejvyšší účinnosti při měnících se hydrotechnických podmínkách. Nevýhodou Kaplanovy turbíny, oproti

Francisově je konstrukční složitost a vyšší pořizovací náklady. (Melichar , a kolektiv, 1998) Kaplanovu turbínu lze využít na spádech od 1 až do 70 metrů, ale nejčastěji se používá na menších spádech s větším průtokem. Kaplanovy turbíny s největší hlností ($636 \text{ m}^3/\text{s}$) jsou instalovány na vodní elektrárně Gabčíkovo na Dunaji, kde se spád pohybuje okolo 12,8 – 24,2 metrů. (Josef, 2008)

Obrázek 3 - Kaplanova turbína



Zdroj: (Jihlavsko, 2009)

4.3 Nekonenční vodní motory pro MVE

Výše popsané turbíny mají využití v určitém rozmezí hodnot spádu a průtoku, respektive spádu a měrných otáček. Měrné otáčky určují rychloběžnost a vyjadřují otáčky geometricky podobné turbíny při spádu 1 m a průtoku $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Rozmezí optima použití těchto turbín zcela nepokrývá oblasti malých vodních elektráren, které disponují různými průtoky a spády. Pro jejich realizaci je tedy v některých případech vhodnější použití nekonvenčních vodních motorů.

4.3.1 Vodní kolo

Vodní kola jsou nejstarším zařízením, které získávají energii z vodních toků. Za tisíciletí existence vodních kol se konstrukce příliš neměnila a postupem času se ustálilo několik optimalizovaných typů. Vodní kola mají, i přes moderní zdokonalování vodních turbín své využití dodnes. Správná instalace a vhodný typ vodního kola v daných podmínkách může dosahovat účinnosti v rozmezí 60 % – 80 %. Tato účinnost je srovnatelná s účinností turbín podobných parametrů. Výhodou vodních kol je jejich jednoduchost a schopnost provozu na malých spádech, kde dosud nebylo nalezeno univerzální alternativní zařízení,

které by vodním kolům dokázalo konkurovat na spádech 0,5 – 1,5 metrů. Podle využití vodní energie rozeznáváme dva základní typy vodních kol. Prvním typem jsou vodní kola lopatková, která využívá přeměny kinetické energie vody na mechanickou energii. Druhým typem jsou korečková vodní kola, která získávají mechanickou energii z potenciální energie získané z vodního toku. Korečková vodní kola jsou vhodná pro spády od 3 metrů, lopatková mohou být v provozu, s nižší účinností, už od 0,1 metrů. (Holata, 2002)

4.3.2 Lopatková vodní kola

Lopatkové vodní kolo je poháněno dynamickým účinkem proudu vody působící na lopatku. Vodní proud přitéká na lopatku v tečném směru, pohybem kola se postupně dostává od vstupní hrany až na opačnou hranu lopatky vodního kola. Poté se proud vody vrací opačným směrem zpátky na vstupní hranu, kde lopatku opouští. Při tomto průběhu je využita celá plocha lopatky. Tvar lopatky má velký vliv na celkovou účinnost vodního kola. Jako nejefektivnější tvar lopatek byl technologickým vývojem stanoven tvar válcové plochy, který je patrný na lopatkách vodního kola, na obrázku č. 4. Dalším důležitou vlastností ovlivňující účinnost je těsné uložení kola do kanálu s minimální vůlí, která musí být v rozmezí 10–15 mm, čímž jsou zaručeny dobré hydraulické vlastnosti. (Holata, 2002)

Obrázek 4 - Vodní kolo



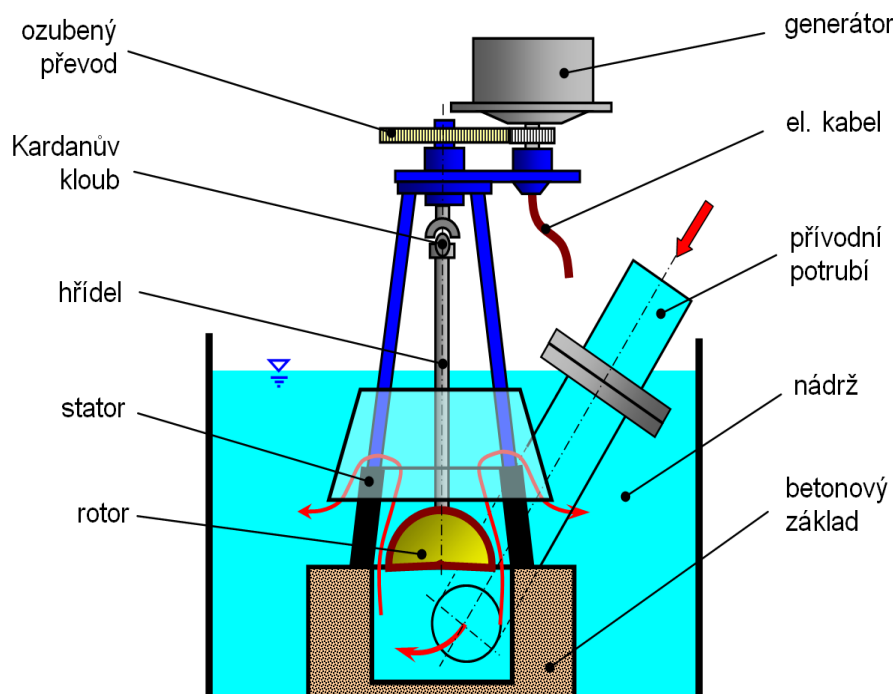
Zdroj: (HYDROSERVIS-UNION pro s.r.o., 2012)

4.3.3 Bezlopatková turbína - SETUR

Bezlopatková turbína nebo také komerčním názvem Setur je turbína určená pro nejmenší vodní toky. Vynalezl ji doc. Miroslav Sedláček z Českého vysokého učení v Praze. Doc. Sedláček získal inspiraci ke svému vynálezu v přírodě, kdy si všiml, že předmět unášený vírem vody se začne odvalovat po vnitřní stěně otvoru, v němž vzniká vír. První funkční stroj sestrojil v roce 1995, kdy postupně teoretickým i praktickým zkoumáním vylepšoval turbínu do dnešní podoby. Původní tvar rotoru byla koule, kterou postupem času nahradila polokoule a i tvar rotoru byl postupem času zpřesňován. (Polák, 2013)

Setur funguje na principu odvalování rotoru po stěně statoru. Polokoule (rotor) je umístěn ve statoru excentricky tak, že se dotýká jeho stěny. Odvalování rotoru je vyvoláno prouděním vody mezerou mezi rotorem a statorem. V opačném směru se otáčí rotor s hřídelí, který je s ním spojený. Hřídel je uložena v opěrném ložisku, které umožňuje rotoru rotaci i odvalování zároveň tzv. precesní pohyb. Podle umístění hřídele na rotor rozlišujeme dvě možné varianty provedení bezlopatkové turbíny a to, když je rotor podepřen hřídelí nebo může být rotor na hřídeli zavěšen. (Polák, 2013)

Obrázek 5 - Bezlopatková turbína



Zdroj: (Polák, 2013)

První typy konstrukce bezlopatkových odvalovacích turbín neumožňovaly výraznější zdokonalování turbíny pro spády vyšší než 1 metr. Další inovace miniturbíny byla tedy cílena na využívání spádů 2–15 metrů a průtoků 3–15 l/s. (Polák, 2013)

Za relativně krátkou dobu existence této miniturbíny již došlo ke spoustě možnostem využití v praxi. Setur se prezentuje jako velice multifunkční zařízení, protože instalace této turbíny je možná v mnoha oblastech, jako jsou:

- doplnění k malým vodním elektrárnám
- zdroje energie v zemědělství, domácnostech
- zdroj energie pro různá nářadí (vrtačky, brusky, ...)
- čisticí technika (čištění bazénů, automobilů, ...)
- zavlažovací technika (Polák, 2013)

4.3.4 Šneková turbína

Šneková turbína funguje na principu Archimédova šroubu, který byl jako první popsán Archimédem před 2000 lety. Šnekovnice je dodnes používána jako hydrostatické čerpadlo. Zásadní vliv na vývoj a využití Archimédova šroubu přinesl nizozemský vědec Muysken v roce 1932, který nejlépe popsal tok přepravovaného materiálu ve šnekovnici a účinnost čerpadla. Myšlenka, že by se Archimédův šroub dal použít k přeměně vodní síly na elektrickou energii, tedy jako turbína, přišla až v posledním desetiletí dvacátého století. Tuto turbínu si nechal patentovat německý inženýr Karl-August Radlik, který navrhl základní výpočty a konstrukční vlastnosti pro tuto aplikaci Archimédova šroubu. První šneková turbína v České republice byla vyrobena v roce 1997 ve firmě Sigma Hranice. Vlastnosti této turbíny zkoumal prof. Karel Brada z ČVUT, který určil hltnost, optimální otáčky a účinnost turbíny. (Kanter, 2008)

Působením vody na zakřivenou plochu lopatek se turbína roztáčí. Voda po vstupu do komory putuje uzavřeně směrem dolů, tudíž po celé délce šnekovnice voda působí svou tíhou na lopatky. Důležitým parametrem při činnosti šnekové turbíny je výška hladiny. Vysoká spodní hladina snižuje celkovou účinnost a nízká zvyšuje hluk při chodu turbíny.

Obrázek 6 - Šneková turbína



Zdroj: (<http://www.prumysl.cz/kovosvit-zacal-podnikat-v-oblasti-hydrrotechniky/>)

Chod šnekové turbíny se reguluje nastavením výšky hladiny v přítokovém kanálu, kterou je možno regulovat pomocí stavidla. Z bezpečnostních důvodů je potřeba vybudovat havarijní stavidlo, díky kterému je možné okamžitě uzavřít přítokový kanál v případě poruchy nebo jiné nečekané okolnosti. (GESS-CZ, s.r.o. , 2013)

Šnekové turbíny se využívají v malých vodních elektrárnách s nízkým spádem v rozmezí od 1 do 10 metrů. Díky snadné regulaci je turbína vhodná pro oblasti s často se měnícím průtokem. Další oblasti, kde se šnekové turbíny využívá, jsou elektrárny se stávající turbínou (Kaplanovou, Bánkiho, atd.), ke které se šneková turbína dále instaluje jako doplňkový zdroj využívající jalových přepadů u stávajících vodních elektráren s konvenčními turbínami. V některých oblastech je výhodná dokonce i náhrada původní turbíny za šnekovou.

Výhody a nevýhody šnekových turbín

Výhody:

- velmi jednoduchá a spolehlivá konstrukce, dokáže využít malé spády už od 1 metru,
- v porovnání s konvenčními typy turbín je pořizovací cena nižší a instalace snadnější,
- umožňuje jednosměrný průchod ryb a minimálně zatěžuje životní prostředí,
- při provozu je zkvalitňována voda v řece díky okysličením při průchodu turbínou,
- relativně malá závislost účinnosti na průtoku (při 30 % průtoku má turbína stejnou účinnost jako při 100 % průtoku).

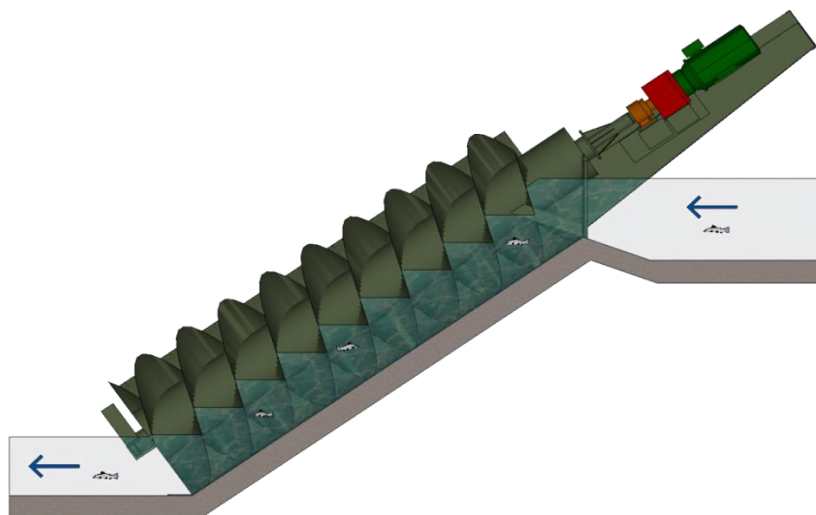
Nevýhody:

- vyšší hlučnost
- náročnější výroba šnekovnice, jedná se o rozměrný kus svařence (Reuter, a kolektiv, 2013)

Při chodu této turbíny dochází vlivem turbulentního proudění a tříštění vody k prokysličování, což má pozitivní dopad na životní prostředí. Velkou výhodou oproti jiným turbínám je možnost jednosměrného proplouvání ryb v samotné turbíně. Ryby se mohou bezpečně přemísťovat v jednotlivých komorách šnekovnice – viz obr. 7. Takováto migrace ryb je bezpečná z důvodu pomaluběžného chodu turbíny.

Bezpečný průchod ryb šnekovou turbínou byl prokázán výzkumem, kdy byly ryby po proplutí turbínou odchyceny a následně po dobu 48 hodin sledovány, aby mohla být identifikována případná vnitřní zranění. Toto měření probíhalo v různých rozmezích provozních otáček od 20 do 31 otáček za minutu. Měřením bylo dokázáno, že v tomto rozmezí otáček utrpělo mírná zranění 2,5 % až 3,2 % ryb z celkového počtu ryb, které turbínu migrovaly. Kvůli větší bezpečnosti jsou lopatky na vstupních a výstupních hranách pogumovány, jelikož v těchto místech se mohou ryby dostat do nebezpečného kontaktu se šnekovicí. (Reuter, a kolektiv, 2013)

Obrázek 7 – Průchod ryb šnekovou turbínou



Zdroj: (Sayontan, 2014)

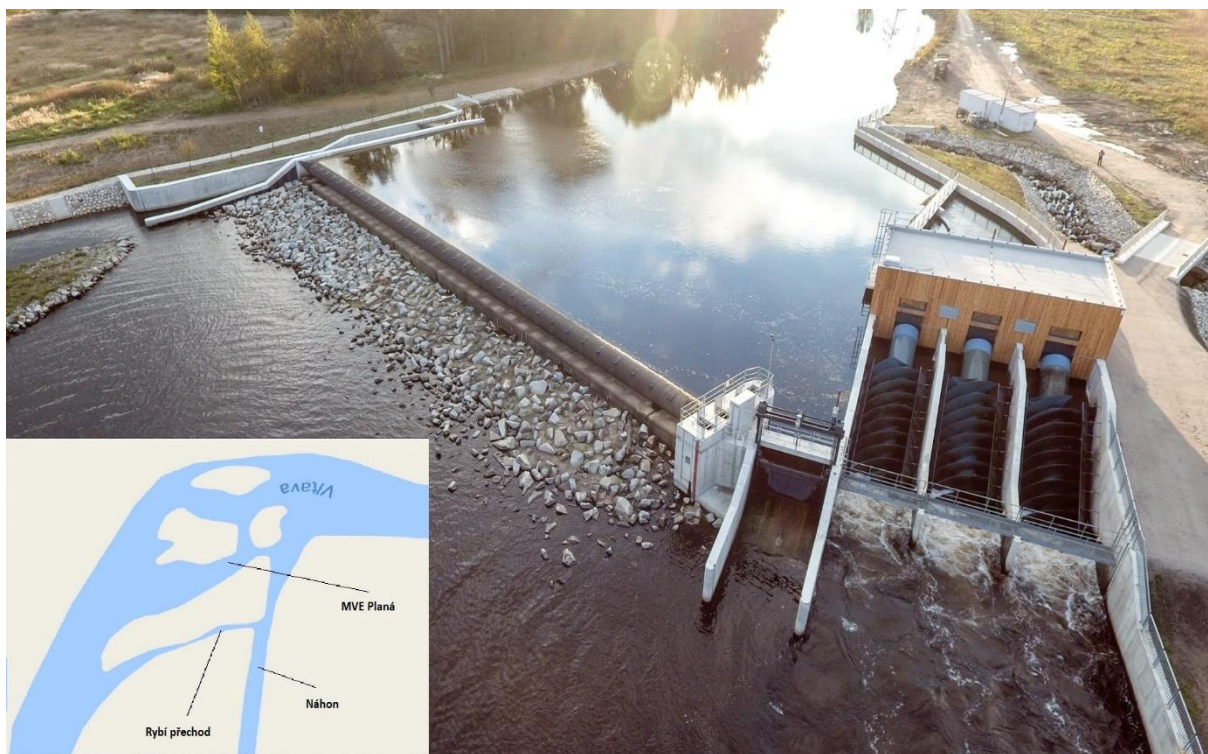
5 MVE Planá

Malá vodní elektrárna Planá je nová moderní elektrárna na řece Vltavě na 245,3 říčním kilometru v jižních Čechách u obce Planá, nedaleko Českých Budějovic. Tuto malou vodní elektrárnu vybudoval soukromý majitel a v provozu je od prosince roku 2015. Elektrárna je umístěná přímo v hlavním korytě řeky, tj. bez přivaděče. Budova elektrárny je umístěna na levém břehu řeky (viz obr. 8).

Při návrhu MVE přicházely v úvahu dvě varianty: první předpokládala prohloubení podjezí, čímž by se zvýšil spád. Druhá varianta byla pro zachování stávajícího dna pod jezem. Ta by nebyla tak nákladná, ale efektivita by byla značně nižší. Investor se nakonec rozhodl pro zvolení první variantu s úpravou podjezí.

Níže popisovaná technická zařízení a uvedené údaje o MVE Planá jsou získané na základě osobní prohlídky elektrárny a konzultace s majitelem.

Obrázek 8 - Situace MVE Planá



Zdroj: (www.google.cz/maps), (mveplana, 2016)

5.1 Jez

Jez je umístěn napravo od elektrárny. Hrana jezu je po celé délce tvořena moderní vakovou konstrukcí. Ta udržuje horní hladinu vzdutí na úrovni 394,3 metrů nad mořem. Hradící vakové jezy mají pohyblivou přelivnou hranu a jsou plně automatické. Výška vakového jezu je nastavitelná pomocí vody čerpané dovnitř vaku. Výhodami této konstrukce je nízká pořizovací cena, snadná instalace a odolnost proti vibracím způsobenými přepadem vody. Vak je tvořen pogumovanou textilií, tudíž může poměrně snadno dojít k jeho poškození, především při kontaktu s většími předměty plovoucími po řece. Podoba vakového jezu v MVE Planá je zřejmá z níže uvedeného obrázku.

Obrázek 9 - Vakový jez - MVE Planá



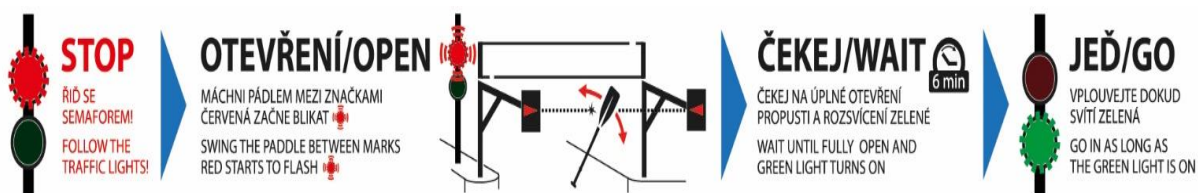
Zdroj: fotogalerie MVE Planá (mveplana, 2016)

5.2 Sportovní propust

Sportovní propust znamená pro provozovatele vodních elektráren ztrátu nemalého množství vody, které neprojde přes turbíny. Propusti bývají otevřeny 3–4 měsíce v roce, v letním období. MVE Planá má však zařízení, díky kterému je dosaženo minimálních ztrát vody. Princip spočívá v tom, že propust je uzavřená a otevírá se pouze, když je potřeba. Celý tento systém je automatizovaný. Před sportovní propustí jsou umístěny informační tabule (viz obr. 10) a senzory, díky kterým může vodák pohybem pádla směrem vzhůru spustit otevírání propusti. Po otevření jsou sportovci upozorněni světelným signálem, že mohou proplout. V prostoru pod jezem jsou další senzory, které zachytí, že se v tomto prostoru už

nikdo nepohybuje a spustí zavírání propusti. Je třeba však podotknout, že tento úsek řeky není vodáky příliš využíván.

Obrázek 10 - Informační tabule u sportovní propusti - MVE Planá

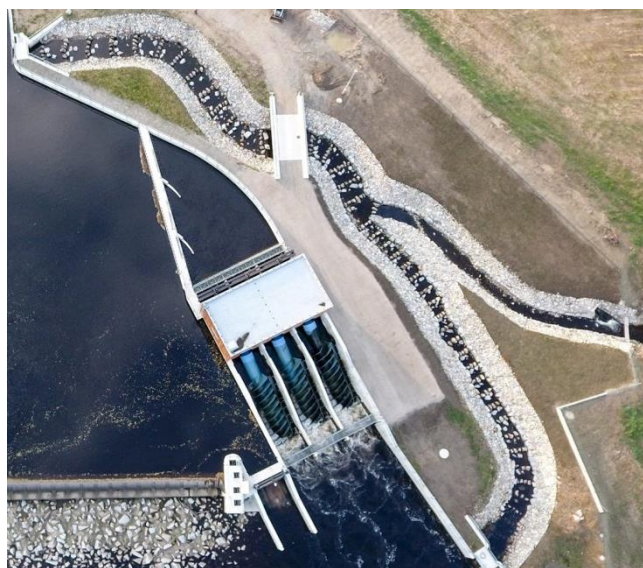


Zdroj: (manipulační řád MVE, 2016)

5.3 Rybí přechod

Rybí přechod je vybudován na levé straně řeky, kde navazuje náhon, který protéká kolem obce Planá a pak se vrací zpět do hlavního toku Vltavy (viz obr. 11). Na tomto náhonu stál v minulosti mlýn, který však už dlouhou dobu není v provozu. MVE Planá musí dbát na sanační průtok rybím přechodem a náhonem podle zákona, v tomto případě $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Sanační průtok je definován zákonem č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů dle § 36 jako: „*průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku*“. Hodnotu tohoto průtoku určuje vodoprávní úřad. V případech, kdy je vybudován na řece náhon, jsou sanačním průtokem zaručeny ekologické a hygienické podmínky v hlavním toku řeky.

Obrázek 11 - Rybí přechod



Zdroj: fotogalerie MVE Planá (mveplana, 2016)

5.4 Turbíny

MVE Planá disponuje třemi turbínami pracujícími na principu Archimedova šroubu. Všechny tři turbíny mají stejné rozměry: průměr rotoru 4,1 metrů, délka středové nosné trubky 11,5 metrů a činná délka turbíny je 9,46 metrů. Každá turbína má návrhovou hltnost 8,7 m³/s, ale dokáže pracovat i v přehlcení při 9,9 m³/s, což má ale za následek sníženou účinnost. Návrhový spád je 2,8 metrů. Spodní ložiska šnekových turbín jsou přichycena k ocelovým žlabům, horní jsou uložena v železobetonové desce, která tvoří podlahu horní stavby a části strojovny. Turbíny jsou vybaveny bezpečnostní elektrohydraulickou brzdou, která slouží k nouzovému odstavení v případě poruchy na elektrickém zařízení, údržbě nebo povodňových stavech. (Manipulační řád MVE Planá, 2016)

Obrázek 12 - Šneková turbína - MVE Planá



Zdroj: vlastní zpracování

5.4.1 Výpočet výkonu turbín

Celkový výkon turbíny je určen ze vztahu:

$$P = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_c \quad [W] \quad (1)$$

kde:

ρ ... hustota vody [1000 kg . m⁻³]

g ... gravitační zrychlení [9,81 m . s⁻²]

H ... využívaný spád [m]

Q... průtok vodním motorem (hltnost) [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Pro výpočet výkonu elektrárny je potřeba vypočítat celkovou účinnost soustrojí:

$$\eta_C = \eta_T \cdot \eta_{Př} \cdot \eta_G [-] \quad (2)$$

η_C ... celková účinnost soustrojí [-]

η_T ... účinnost turbíny [-]

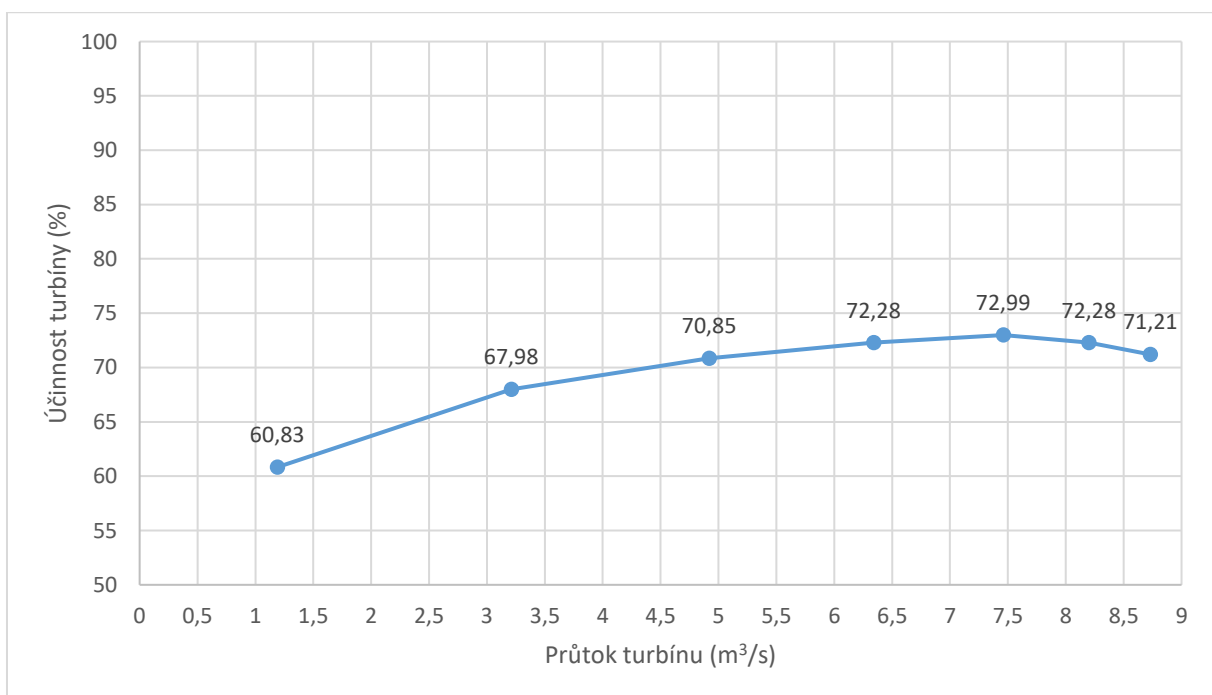
$\eta_{Př}$... účinnost převodu [-]

η_G ... účinnost generátoru [-]

Účinnost turbín v MVE Planá je znázorněna v grafu 1 v závislosti na průtocích, kde je zřejmé rozpětí účinností 60 % – 73 %. Nutno podotknout, že při průtocích, kterými řeka v tomto úseku disponuje, by účinnost turbín neměla klesnout pod 69 %.

Účinnost převodu u malých vodních elektráren se pohybuje od 80 až 100 % a generátory pracují s účinností 75 % až 98 %. (Bednář, 2013) Podle údajů MVE se celková účinnost soustrojí pohybuje v rozmezí 65 % – 73 %. Optimalizace účinnosti je zajištěna regulací, která spočívá ve zvyšování průtoků uzavíráním jednotlivých turbín. (Manipulační řád MVE Planá, 2016)

Graf 1 - Závislost účinnosti turbíny na průtoku



Zdroj: zpracování vlastní, data získaná od MVE Planá

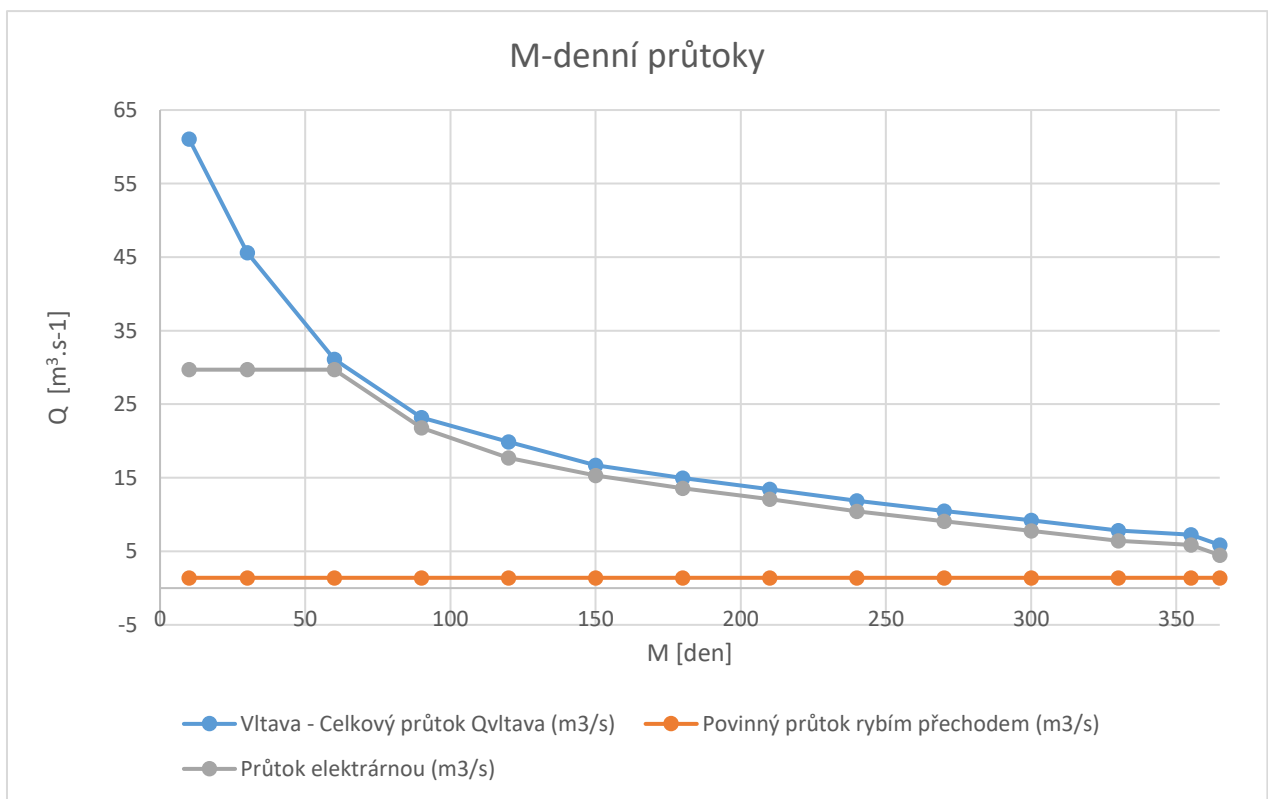
MVE disponuje spádem 2,8 metrů a každá turbína má hltnost 8,7 m³/s. V MVE Planá mohou být v provozu až 3 turbíny najednou, tudíž je výkonu trojnásobný. Celkový výkon elektrárny podle rovnice (1) tedy bude:

$$P = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,8 \cdot 8,7 \cdot 3 \cdot 0,73 = 523,3 \text{ kW} \quad (3)$$

5.5 M-denní průtoky

Průběh M-denních průtoků je hlavním ukazatelem charakteru daného úseku řeky. Tato charakteristika vyjadřuje průměrné průtoky, které byly dosaženy nebo překročeny po dobu M dní v roce.

Graf 2 - M- denní průtoky



Zdroj: zpracování vlastní, data – manipulační řád MVE Planá, 2016

Z grafu M-denních průtoků je zřejmé, že MVE Planá nevyužije průtoky za celý rok, protože maximální hltnost všech turbín dohromady je 29,7 m³/s. V období, kdy je průtok řeky větší než tato hltnost, protéká rybím přechodem a následně i náhonem větší množství vody. Při nižších průtocích se reguluje provoz elektrárny postupným odstavováním turbín

z provozu. Tímto způsobem se optimalizuje provoz a účinnost turbín, které zůstávají v provozu.

5.6 Roční produkce elektrické energie

Výpočet roční produkce elektrické energie je zásadním kritériem pro ekonomickou analýzu. Vypočítaná produkce je hrubý předpoklad, který má investor k dispozici před výstavbou MVE.

V tabulce 1 jsou podrobně znázorněny průtoky a produkce elektrické energie za jednotlivá období. Maximální průtok elektrárnou je $29,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ale v těchto podmínkách pracují turbíny v přehlcení a mají sníženou účinnost. Od celkového průtoku Vltavou se musí odečíst povinný průtok rybím přechodem. Podle průtoku elektrárnou je dán počet provozovaných turbín, který je volen tak, aby měla elektrárna co nejvyšší produkci. Z těchto údajů lze spočítat výrobu elektrické energie v jednotlivých obdobích v roce a následně celkovou produkci fakturovanou do sítě, která je vlivem transformačních ztrát snížena o 2 %.

Výpočet produkce elektrické energie pro dané období:

$$E_i = g \cdot H \cdot Q_{ci} \cdot \mu_c \cdot 24 \cdot N_i \quad [kWh] \quad (4)$$

E_i ... výroba elektrické energie v daném období [kWh]

Q_{ci} ... průměrný průtok elektrárnou v daném období [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

μ_c ... celková účinnost celého soustrojí [-]

N_i ... počet dní v daném období [den]

Výpočet celkové vyprodukované energie odvedené do sítě:

$$E_{celk} = \frac{\sum E_1, E_2 \dots}{100} \cdot 98 = 2522919 \quad [kWh] \quad (5)$$

E_{celk} ... dodávka energie do sítě [kWh]

Tabulka 1 - Přehled produkce elektrické energie v jednotlivých obdobích, MVE Planá

Dny	Počet dní	Vltava - Celkový průtok	Povinný průtok rybím přechodem	Průtok elektrárnou	Počet aktivovaných turbín	Účinnost celého soustrojí	Spád	Výkon	Výroba
M	N	$Q_{\text{vltava}} \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_s \text{ (m}^3/\text{s)}$	$Q_c \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\text{(m}^3/\text{s)}$	-	H (m)	P (kW)	E (kWh)
10	10	61,07	1,4	29,7	3	0,65	2,8	530,27	127265
30	30	45,6	1,4	29,7	3	0,65	2,8	530,27	381794
60	30	31,11	1,4	29,7	3	0,65	2,8	530,27	381794
90	30	23,2	1,4	21,8	3	0,73	2,8	437,13	314731
120	30	19,9	1,4	17,69	3	0,71	2,8	345,00	248397
150	30	16,71	1,4	15,31	2	0,72	2,8	302,79	218005
180	30	14,96	1,4	13,56	2	0,72	2,8	268,18	193086
210	30	13,42	1,4	12,09	2	0,72	2,8	239,10	172154
240	30	11,86	1,4	10,46	2	0,71	2,8	203,99	146876
270	30	10,5	1,4	9,1	2	0,7	2,8	174,97	125979
300	30	9,2	1,4	7,8	1	0,72	2,8	154,26	111067
330	30	7,83	1,4	6,43	1	0,72	2,8	127,17	91559
355	15	7,25	1,4	5,85	1	0,71	2,8	114,09	41072
365	10	5,87	1,4	4,47	1	0,7	2,8	85,95	20627
Celkem	3650								2574407
E _{celk} - Fakturovaná dodávka do sítě - sníženo o transformační ztráty 2%									2522919

Zdroj: vlastní zpracování dle poskytnutých údajů MVE Planá

5.7 Ekonomické zhodnocení

Ekonomická analýza potenciální investice je nejdůležitějším faktorem, podle kterého se investor rozhoduje, zda je pro něj daný projekt vhodný k realizaci.

Pro následující výpočty se uvažuje každoročně stálý výkon elektrárny, kdy není nezahrnut vliv počasí a změny klimatu. Jedná se tedy o hrubou ekonomickou analýzu.

5.7.1 Investiční náklady

Investiční náklady uvádějí celkový rozpočet na realizaci MVE Planá a jsou podrobně rozepsány v níže uvedené tabulce.

Tabulka 2 - Přehled investičních nákladů

Popis	Cena (Kč)
Technologická část	25 684 070
Zemní práce	4 350 166
Jímkování	8 750 923
Vtokový objekt	3 545 414
MVE - spodní stavba	5 136 500
MVE - horní stavba	3 590 673
Výtokový objekt	1 433 737
Vakový jez	13 351 159
Štěrková propust	1 544 875
Sportovní propust	5 818 922
Opevnění podjezí	7 040 273
Pročištění koryta pod jezem	3 571 100
Pročištění koryta nad jezem	4 184 500
Venkovní úpravy	796 945
Přípojka VN	2 124 414
Příjezdová komunikace	1 307 611
Ostatní a nepředvídatelné náklady a VRN	4 447 178
Celkem (bez DPH)	96 678 460

Zdroj: vlastní zpracování dle poskytnutých údajů o MVE Planá

5.7.2 Odhad ročních nákladů na provoz MVE Planá

Jelikož je MVE téměř bezobslužná a technologie nejsou příliš náročná na údržbu a servis, jsou roční náklady na provoz relativně nízké. Tabulka 3 uvádí přehled předpokládaných ročních nákladů.

Tabulka 3 - Roční náklady na provoz MVE Planá

Položka	Cena (Kč)
Výměna spodního ložiska	15 000
Výměna horního ložiska	11 000
Pravidelná servisní prohlídka	35 000
Údržba a opravy elektro část	70 000
Hydraulika	10 000
Pojištění	228 800
Ostatní administrace	15 000
Nájemné Povodí Vltavy - pozemek	11 000
Nájemné Obec Planá - pozemek	2 790
Vlastní spotřeba	10 000
Údržba (čištění česel, odvoz shrabků, apod.)	30 000
Celkem provozní náklady	438 590

Zdroj: vlastní zpracování dle poskytnutých údajů o MVE Planá

5.7.3 Výkupní cena za elektrickou energii.

Výkupní ceny elektrické energie a zelené bonusy jsou každoročně stanoveny Energetickým regulačním úřadem. Výkupní cena stanovená při spuštění do provozu se každoročně zvyšuje o 2 % po dobu 30 let. (Energetický regulační úřad, 2016) MVE Planá byla spuštěna koncem roku 2015, kdy byla výkupní cena pro malé vodní elektrárny stanovena na 3 230 Kč/MWh. Pokud výrobce uplatní vyrobenou energii na trhu sám, může si nárokovat podporu formou zeleného bonusu. V případě MVE Planá činí výše zeleného bonusu 2 410 Kč/MWh. Při ekonomickém vyhodnocení se však s variantou využití zelených bonusů nepočítá, protože se velice obtížně odhaduje cena za vyrobenou elektřinu prodanou na trhu.

5.7.4 Výpočet ročních výnosů

Roční výnosy vyjadřují, kolik finančních prostředků dokáže investice vygenerovat za rok.

$$V = E_{celk} \cdot C_v \text{ [Kč]} \quad (6)$$

V... roční výnos [Kč]

C_v... výkupní cena [Kč/MWh]

5.7.5 Cash-flow

Toky hotovosti (cash flow) jsou rozdíly příjmů a výdajů v jednotlivých letech a zahrnují veškeré změny hodnot během doby existence projektu. Cash-flow je velice důležitou veličinou vypovídající o schopnost podniku generovat peníze. (Molín, 2011)

$$CF = V - I \text{ [Kč]} \quad (7)$$

CF... cash flow [Kč]

I... součet ročních výdajů na provoz [Kč]

5.7.6 Daňové odpisy

Odpisy jsou důležitou veličinou, pomocí které vypočítáme návratnost investice. Částka počáteční investice se pomocí koeficientů pro jednotlivé odpisové skupiny rozpočítá do určeného období, po které si investor odepisuje danou odpisovou hodnotu z příjmu, tudíž je o tuto hodnotu snížen daňový základ. Stavba MVE se řadí do odpisové skupiny 5 a technologie, které elektrárna používá, jsou v odpisové skupině 3. Pro odpisovou skupinu 5 je odpisový koeficient v prvním roce 1,4 % a v dalších letech 3,4 %, pro odpisovou skupinu 3 je odpis pro první rok 5,5 % a pro následující roky 10,5 %. (Molín, 2011)

Výpočet odpisů:

$$O = N \cdot S \text{ [Kč]} \quad (8)$$

O... náklady na investici [Kč]

S... roční odpisová sazba [Kč]

Výpočet odpisu pro stavbu MVE:

$$O_{S1} = 91\,296\,867 \cdot 0,014 = 1\,278\,156 \text{ [Kč]}$$

$$O_{S\,2-30} = 91\,296\,867 \cdot 0,034 = 3\,104\,093 \text{ [Kč]}$$

Výpočet odpisu pro technologii MVE:

$$O_{T1} = 25\,684\,070 \cdot 0,055 = 1\,412\,628 \text{ [Kč]}$$

$$O_{T\,2-10} = 25\,684\,070 \cdot 0,105 = 2\,696\,827 \text{ [Kč]}$$

5.7.7 Daň z příjmu

Daňový základ je vypočítán z rozdílu ročního výnosu s hodnotou získanou součtem ročních výdajů s odpisovými částkami. Daň z příjmu je 21 % daňového základu a tuto částku musí investor každoročně odvést státu. (Molín, 2011)

$$DP = \frac{DZ}{100} \cdot 21 \quad (9)$$

DP... daň z příjmu

DZ... daňový základ

5.7.8 Kumulovaný tok hotovosti

Veličina vyjadřující aktuální stav investice za celé období podnikání se nazývá kumulovaný tok hotovosti. Výpočet této hodnoty se získá součtem kumulovaného toku z předchozího roku s hodnotou cash flow z aktuálního období. Záporná hodnota této veličiny udává částku potřebnou ke srovnání nákladu na investici, tudíž částku zbývající k návratu počátečních nákladů. Kladná hodnota vyjadřuje aktuální celkový zisk za celé období podnikání. (Molín, 2011)

$$K_{CF2} = K_{CF1} + CF_2 \quad (10)$$

K_{CF2} ... kumulovaný tok hotovosti za 2. období

K_{CF1} ... kumulovaný tok hotovosti za 1. období

CF_2 ... tok hotovosti za 2. období

5.8 Přehled ekonomického zhodnocení MVE Planá

V tabulce 4 nalezneme přehled základních finančních veličin za první tři roky provozu MVE. Hodnota hotovostního toku za první rok je zřetelně odlišná od těchto hodnot pro následující roky, protože je zde do ročních nákladů započítána i částka celkové investice na realizaci projektu.

Tabulka 4 - Přehled finančních údajů za první tři roky provozu

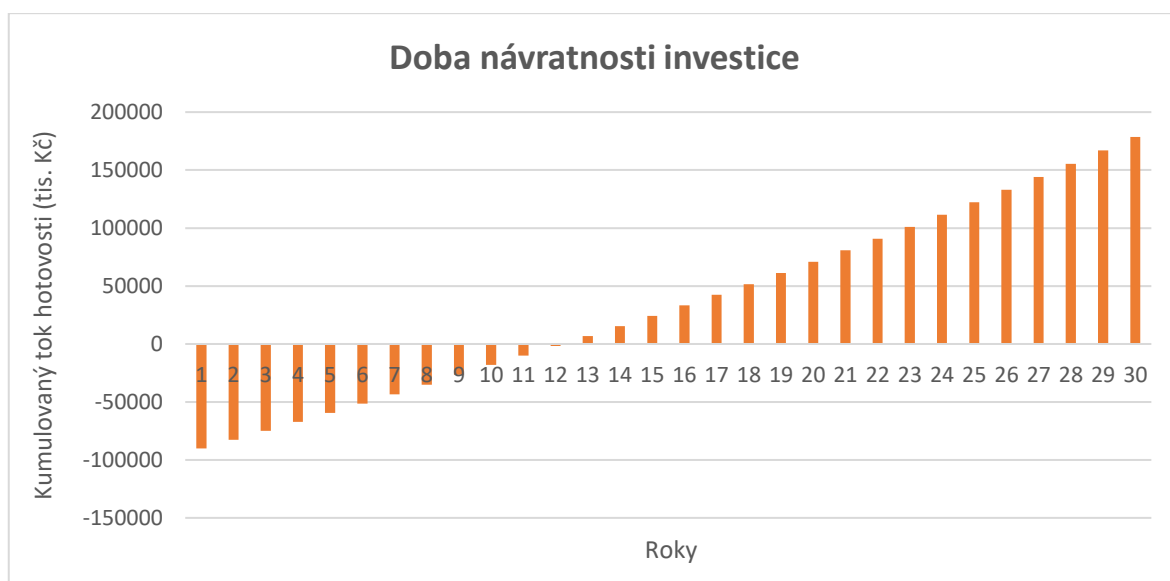
Rok	2016	2017	2018
Výnos (v tis Kč)	8149,03	8312,01	8478,25
Provozní výdaje (v tis Kč)	438,59	438,59	438,59
Daňové odpisy pro stavbu (v tis Kč)	1278,16	3104,09	3104,09
Daňové odpisy pro technologii (v tis Kč)	1412,63	2696,83	2696,83
Částka odečítaná z daní celkem (v tis Kč)	3129,37	6239,51	6239,51
Základ daně (v tis Kč)	5019,65	2072,50	2238,74
Daň z příjmu (v tis Kč)	1054,13	435,22	470,14
Rozdíl (v tis Kč)	3965,53	1637,27	1768,60
Počáteční investice (v tis Kč)	96678,46	0,00	0,00
Hotovostní tok běžného roku (v tis Kč)	-90022,15	7438,19	7569,52
Kumulovaný tok hotovosti (v tis Kč)	-90022,15	-82583,96	-75014,43

Zdroj: vlastní zpracování dle poskytnutých údajů MVE Planá

5.8.1 Doba návratnosti investice

Doba návratnosti vyjadřuje přibližný časový údaj, za který investice dokáže vygenerovat částku, která je stejná jako počáteční náklady. Určením doby návratnosti dokážeme předpovědět, jak bude investice perspektivní. Výsledky výpočtu jsou vedeny v Příloze 1. Z níže uvedeného grafu je patrné, že u MVE Planá bude doba návratnosti 12 let od spuštění elektrárny do provozu. Nutno poznamenat, že tato doba návratnosti je určena za předpokladu, kdy si podnikatel nebere na investici úvěr, v opačném případě by byla doba návratnosti delší. (Molín, 2011)

Graf 3 - Doba návratnosti investice



Zdroj: vlastní zpracování dle poskytnutých údajů MVE Planá

5.8.2 Výhledy do budoucna

Každoroční navýšení výkupní ceny o 2 % je garantováno na 30 let od spuštění do provozu, pro tuto dobu tedy můžeme přibližně vyhodnotit finanční situaci. V tabulce níže je uvedený poslední rok, kde má MVE zaručenou výkupní cenu. Předpokládaná hodnota zisku elektrárny do roku 2045, by měla přesahovat částku 178 milionů korun.

Tabulka 5 - Určení zisku za 30 let od spuštění MVE Planá do provozu

Rok	2045
Výnos (v tis Kč)	14471,41
Provozní výdaje (v tis Kč)	438,59
Daňové odpisy pro stavbu (v tis Kč)	3104,09
Daňové odpisy pro technologii (v tis Kč)	0,00
Částka odečítaná z daní celkem (v tis Kč)	3542,68
Základ daně (v tis Kč)	10928,73
Daň z příjmu (v tis Kč)	2295,03
Rozdíl (v tis Kč)	8633,69
Počáteční investice (v tis Kč)	0,00
Hotovostní tok běžného roku (v tis Kč)	11737,79
Kumulovaný tok hotovosti (v tis Kč)	178659,39

Zdroj: vlastní zpracování dle poskytnutých údajů MVE Planá

6 Závěr

Bakalářská práce se zabývá technicko - ekonomickým hodnocením malé vodní elektrárny MVE Planá ležící na řece Vltavě v jižních Čechách. Tuto elektrárnu vlastní soukromá osoba, která financovala celou stavbu.

MVE Planá je v plném provozu od začátku roku 2016 a byla vybudována jako novostavba, včetně jezu, takže počáteční investice byla poměrně vysoká. Elektrárna využívá tři turbíny pracující na principu Archimédova šroubu. V těchto podmínkách připadala v úvahu také Kaplanova turbína, ale z hlediska majitele MVE by měla několik zásadních nevýhod, především vyšší investice.

Projekt výstavby MVE Planá byl připravován 6 let, než došlo k realizaci a spuštění do provozu. V České republice jde o ojedinělou lokalitu, kde jsou využívány šnekové turbíny na principu Archimédovy šroubu.

Předpokládaná roční produkce elektrické energie vychází na 2 522 919 kWh. Tato hodnota byla vypočtena na základě hydrotechnických podmínek dané lokality a technických parametrů vodního díla.

Pomocí hodnoty roční výroby elektrické energie byla následně zpracována ekonomická analýza, která je podrobně zaznamenána v příloze č. 1. Výkupní cena byla pro MVE Planá stanovena na 3 230 Kč/MWh, pro první rok s každoročním navýšením o 2 %. Při započítání daňových odpisů, daně z příjmu a ročních nákladů vychází doba návratnosti 12,2 let. Ekonomická analýza byla vypracována do roku 2045, to znamená na 30 let od spuštění, kdy má majitel MVE Planá od Energetického regulačního úřadu zaručenou výkupní cenu. Za celé toto období by měla MVE Planá vygenerovat zisk přes 178 miliónů korun.

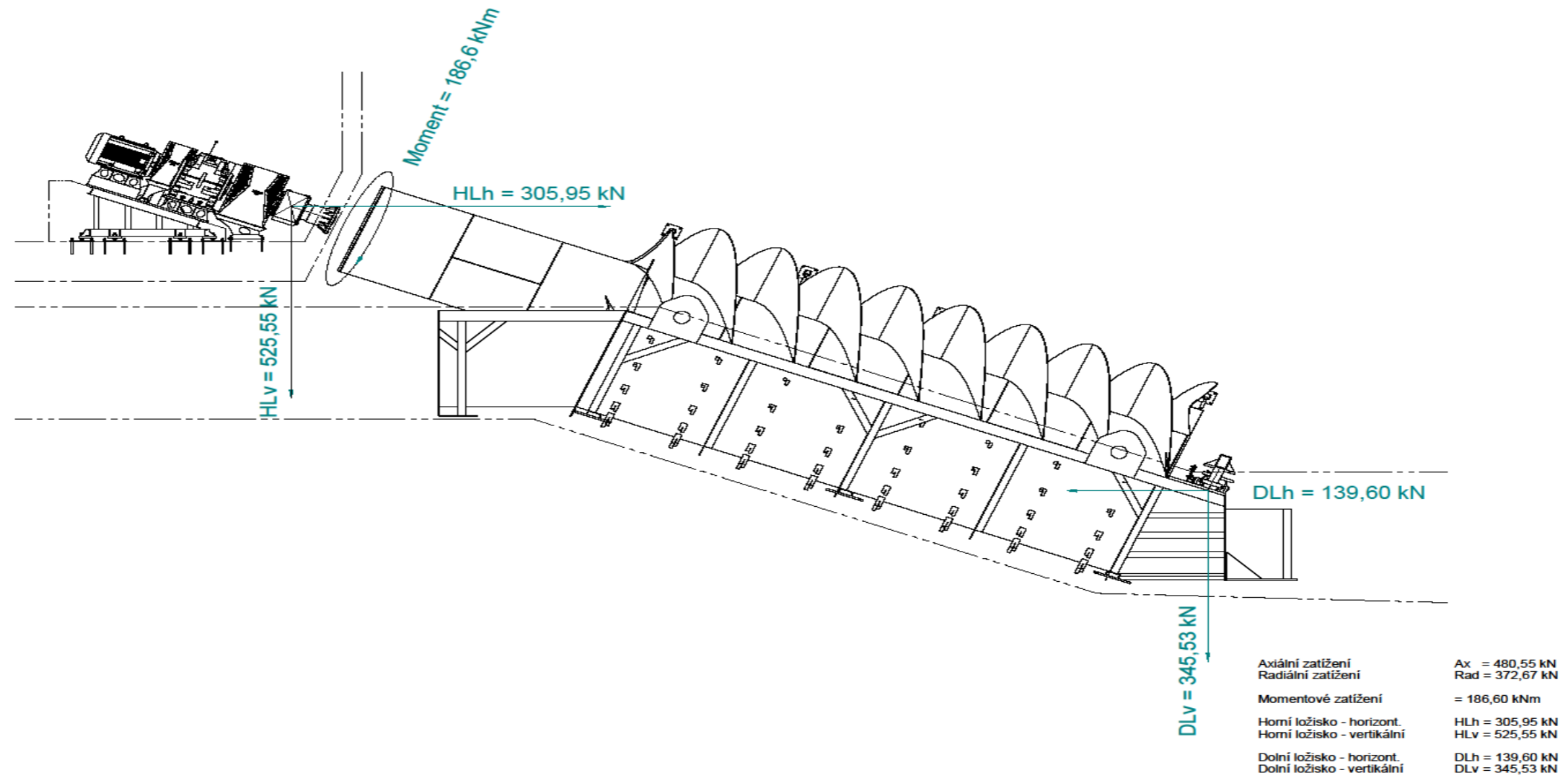
7 Přílohy

Příloha 1 - Ekonomické zhodnocení investice za 30 let v provozu

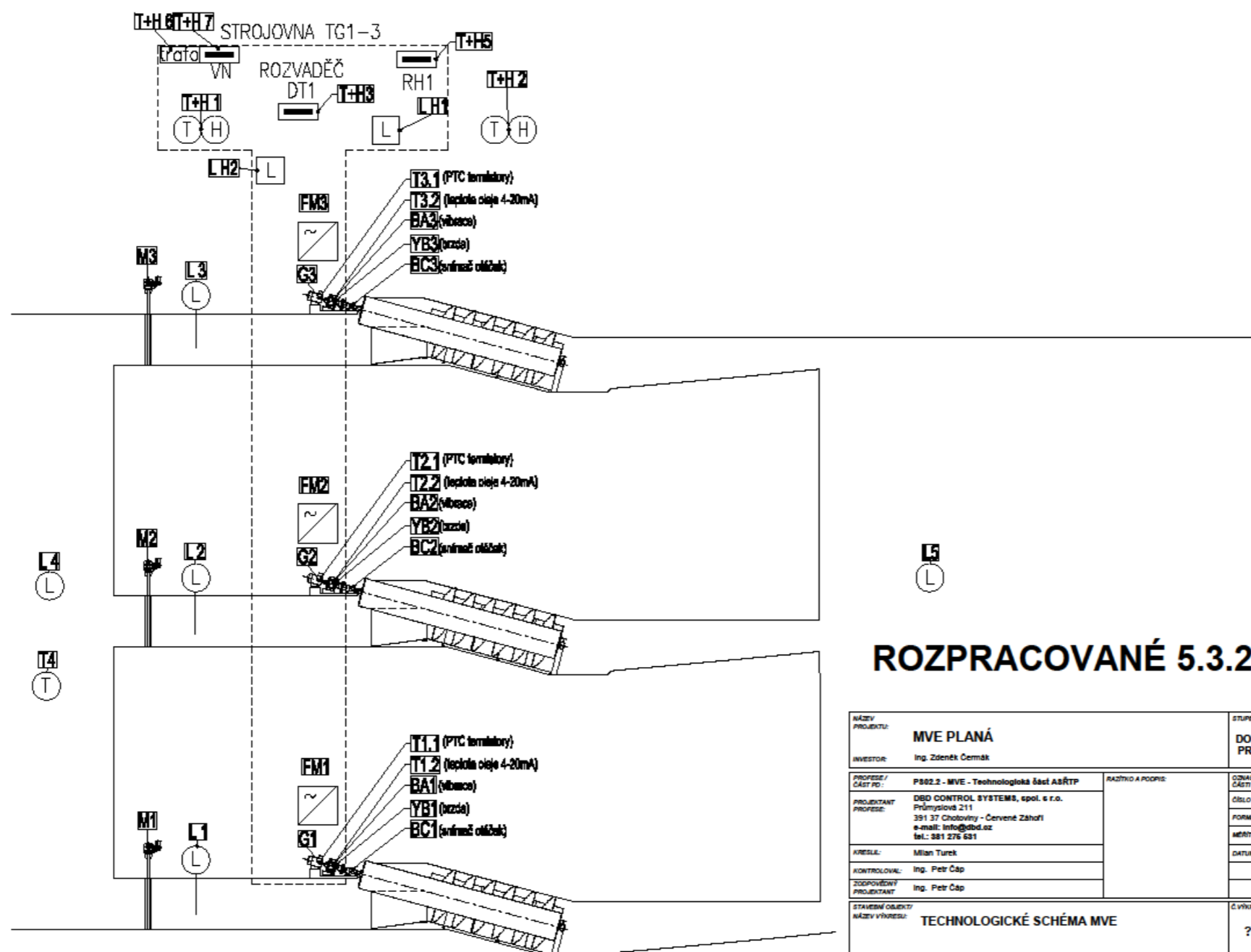
Rok	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Výnos (v tis Kč)	8149,03	8312,01	8478,25	8647,81	8820,77	8997,19	9177,13	9360,67	9547,89	9738,84	9933,62	10132,29	10334,94	10541,64	10752,47
Provozní výdaje (v tis Kč)	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59
Daňové odpisy pro stavbu (v tis Kč)	1278,16	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09
Daňové odpisy pro technologii (v tis Kč)	1412,63	2696,83	2696,83	2696,83	2696,83	2696,83	2696,83	2696,83	2696,83	2696,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Částka odečítaná z daní celkem (v tis Kč)	3129,37	6239,51	6239,51	6239,51	6239,51	6239,51	6239,51	6239,51	6239,51	6239,51	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68
Základ daně (v tis Kč)	5019,65	2072,50	2238,74	2408,30	2581,26	2757,68	2937,62	3121,16	3308,38	3499,33	6390,94	6589,61	6792,26	6998,95	7209,79
Daň z příjmu (v tis Kč)	1054,13	435,22	470,14	505,74	542,06	579,11	616,90	655,44	694,76	734,86	1342,10	1383,82	1426,37	1469,78	1514,06
Rozdíl (v tis Kč)	3965,53	1637,27	1768,60	1902,56	2039,20	2178,56	2320,72	2465,72	2613,62	2764,47	5048,84	5205,79	5365,88	5529,17	5695,73
Počáteční investice (v tis Kč)	96678,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hotovostní tok běžného roku (v tis Kč)	-90022,15	7438,19	7569,52	7703,48	7840,12	7979,48	8121,64	8266,64	8414,54	8565,39	8152,93	8309,88	8469,97	8633,27	8799,82
Kumulovaný tok hotovosti (v tis Kč)	-90022,15	-82583,96	-75014,43	-67310,95	-59470,84	-51491,35	-43369,71	-35103,07	-26688,54	-18123,14	-9970,21	-1660,33	6809,65	15442,91	24242,74

Rok	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Výnos (v tis Kč)	10967,52	11186,87	11410,61	11638,82	11871,60	12109,03	12351,21	12598,23	12850,20	13107,20	13369,34	13636,73	13909,47	14187,66	14471,41
Provozní výdaje (v tis Kč)	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59	438,59
Daňové odpisy pro stavbu (v tis Kč)	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09	3104,09
Daňové odpisy pro technologii (v tis Kč)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Částka odečítaná z daní celkem (v tis Kč)	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68	3542,68
Základ daně (v tis Kč)	7424,84	7644,19	7867,92	8096,14	8328,91	8566,34	8808,53	9055,55	9307,51	9564,52	9826,66	10094,05	10366,78	10644,97	10928,73
Daň z příjmu (v tis Kč)	1559,22	1605,28	1652,26	1700,19	1749,07	1798,93	1849,79	1901,67	1954,58	2008,55	2063,60	2119,75	2177,02	2235,44	2295,03
Rozdíl (v tis Kč)	5865,62	6038,91	6215,66	6395,95	6579,84	6767,41	6958,73	7153,88	7352,94	7555,97	7763,06	7974,30	8189,76	8409,53	8633,69
Počáteční investice (v tis Kč)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hotovostní tok běžného roku (v tis Kč)	8969,71	9143,00	9319,75	9500,04	9683,93	9871,51	10062,83	10257,98	10457,03	10660,06	10867,16	11078,39	11293,85	11513,62	11737,79
Kumulovaný tok hotovosti (v tis Kč)	33212,45	42355,45	51675,21	61175,25	70859,18	80730,69	90793,51	101051,49	111508,52	122168,58	133035,74	144114,13	155407,98	166921,60	178659,39

Zdroj: vlastní zpracování dle poskytnutých údajů MVE Planá



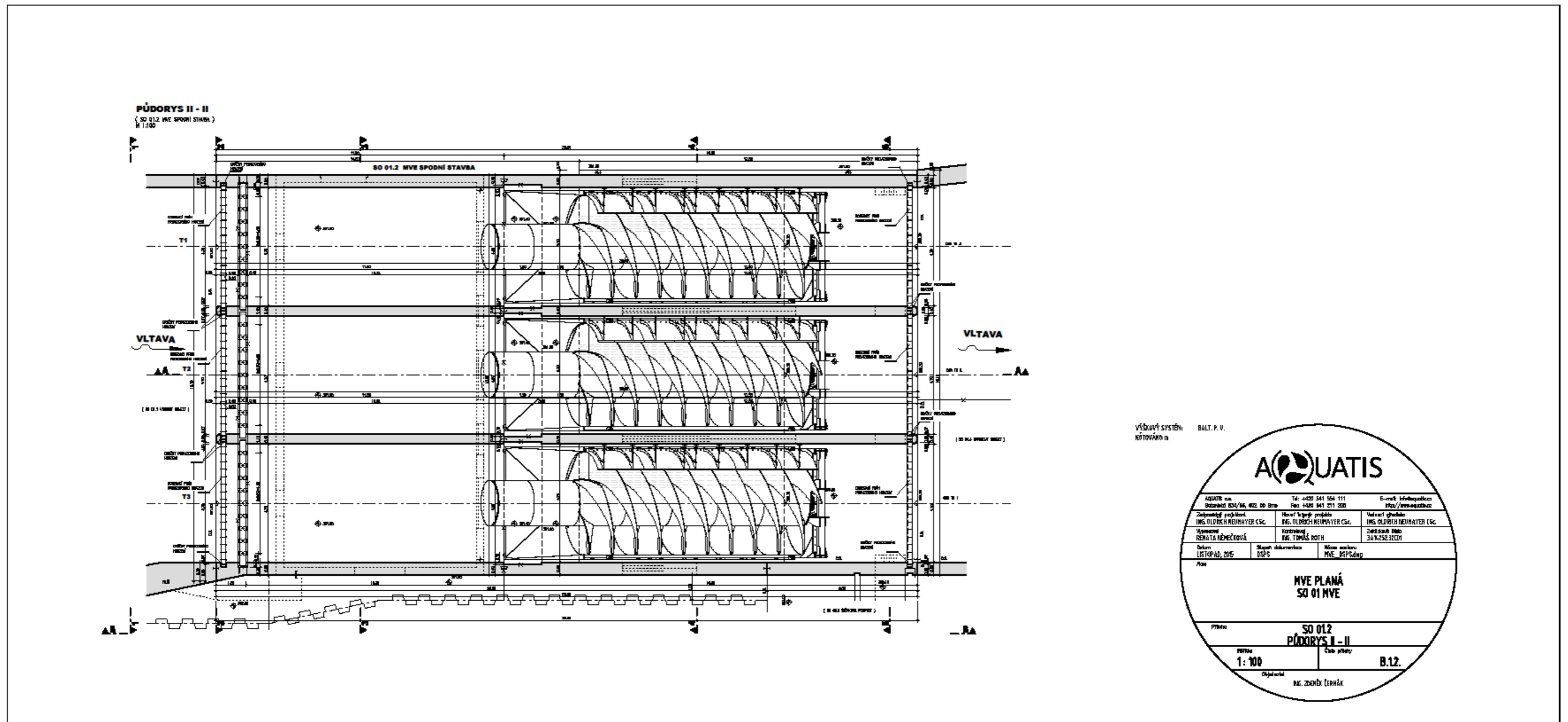
Zdroj: MVE Planá



ROZPRACOVANÉ 5.3.2015

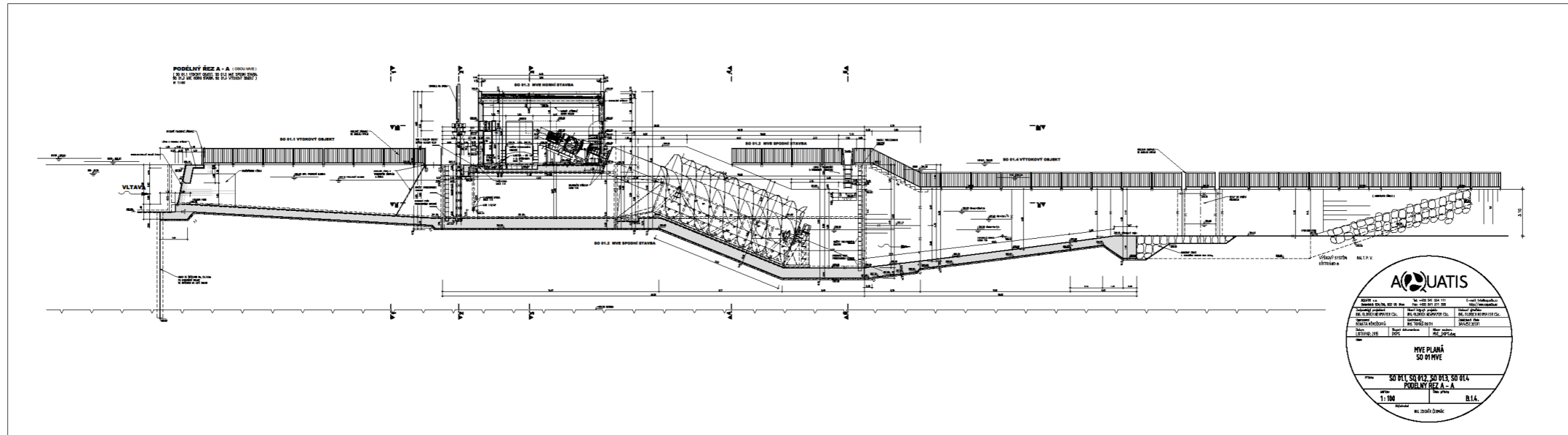
NÁZEV PROJEKTU: MVE PLANÁ		STUPĚŇ PD: DOKUMENTACE PRO PROVEDENÍ STAVBY	
INVESTOR: Ing. Zdeněk Čermák		DOKUMENTACE PRO PROVEDENÍ STAVBY	
PROJEKCE / ČÁST PD: PB02.2 - MVE - Technologická část ASŘTP	RAZITÝM A PODPIS:	OMÁČKOVANÉ ČÁSTI PD:	-
PROJEKTANT PROJEKCE: DBD CONTROL SYSTEMS, spol. s r.o. Průmyslová 211 391 37 Chotovice - Červené Záhony e-mail: info@dbd.cz tel.: 881 276 621		ČÍSLO ZÁKAZY:	24358D0
KRESLE: Milan Turek		FORMÁT:	2xA4
KONTROLOVAL: Ing. Petr Čáp		MEŘITIVO:	-
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT: Ing. Petr Čáp		DATAUM:	02/2015
STAVĚNÝ OBLAST: NÁZEV VÝKRESU: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA MVE		Č. VÝKRESU:	??
		Č. NÁVĚ:	

Zdroj: MVE Planá



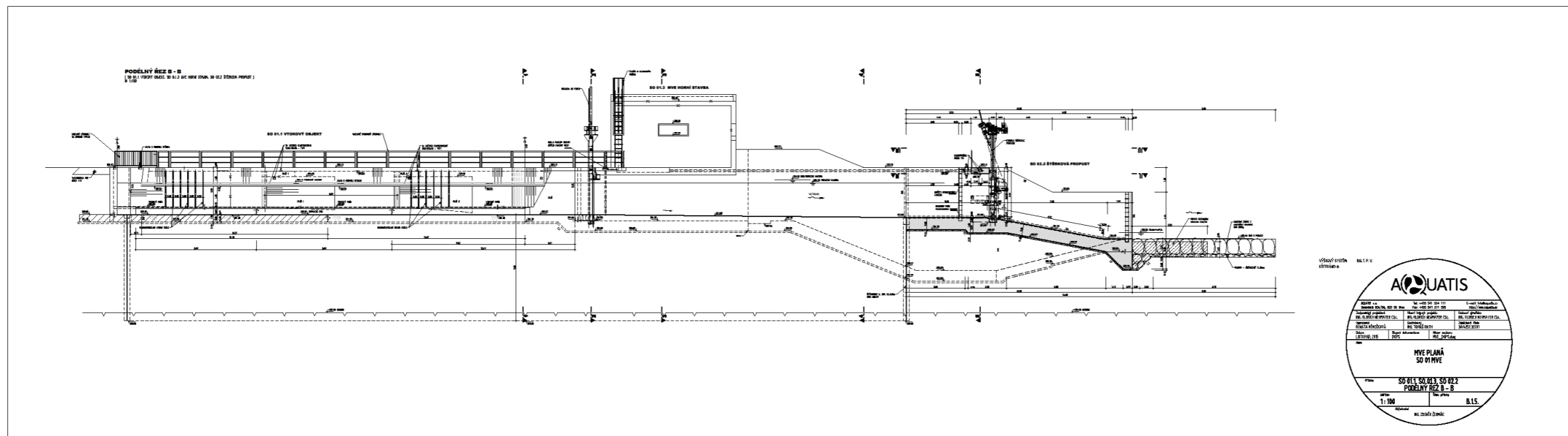
Zdroj: MVE Planá

Příloha 5 – Pohled a - MVE Planá



Zdroj: MVE Planá

Příloha 6 - Pohled b - MVE Planá



Zdroj: MVE Planá

8 Seznam literatury

HYDROSERVIS-UNION pro s.r.o. 2012. Vodní kola. *Hydro servis union pro s.r.o.* [Online] 2012. <http://www.h-union.cz/>.

Bednář, Josef. 2013. *Turbíny (malé vodní elektrárny)*. Blansko : Marcela Bednářová, 2013. 978-80-905-437-0-6.

Bouška, Jan. 2015. Poznámky k historii výroby elektřiny v českých zemích . *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z.s.* [Online] 11. 2016 2015. http://www.spvez.cz/pages/history/history_01.htm#TOP.

Energetický regulační úřad. 2016. *Energetický regulační úřad.* [Online] 2016. <http://www.eru.cz/cs/>.

Gabriel, Pavel, Čihák , František a Kalandra, Petr. 1998. *Malé vodní elektrárny*. Praha : ČVUT, 1998. 80-01-01812-1.

GESS-CZ, s.r.o. . 2013. Šnekové turbíny. *GESS-CZ.* [Online] 2013. <http://www.gess.cz/cz/male-vodni-elektrarny.html>.

Gruber, Josef. 2013. Peltonova turbína. *JOSEF GRUBER.* [Online] 2013. http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/clanky/pelton.pdf.

Holata, Miroslav. 2002. *Malé vodní elektrárny projektování a provoz*. Praha : Akademie věd České republiky, 2002. 80-200-0828-4.

Jihlavsko, Výuka. 2009. Výroba a přenos elektrické energie. *Výuka Jihlavsko.* [Online] 2009. <http://vyuka.jihlavsko.cz/elektrina-vyroba/>.

Josef, Vlastimil. 2008. Vodní turbíny. *Francisova turbína.* [Online] 2008. <http://www.vodniturbiny.cz/index.php?linkid=05>.

Kanter, Peter. 2008. *Praxishandbuch Schneckenpumpe*. místo neznámé : Hirthammer Verlag, 2008. ISBN 978-3-88721-202-5.

Laika, Viktor. 2009. Vodní turbíny. *MVE energetika.* [Online] 2009. <http://mve.energetika.cz>.

mechanical-engg.com. 2015. *mechanical-engg.com*. [Online] 06 2015. [Citace: 14. 02 2017.] *mechanical-engg.com*.

Melichar , Jan, Vojtek, Jan a Bláha , Jaroslav. 1998. *Malé vodní turbíny konstrukce a provoz*. Praha : ČVUT, 1998. 80-01-01808-0.

Molín, Jan. 2011. *podnikatel.cz*. [Online] 04. 07 2011. <http://www.podnikatel.cz/clanky/cash-flow-poskytne-obraz-o-financni-situaci/>.

mveplana. 2016. *mveplana*. <https://www.facebook.com>. [Online] 26. 10 2016. <https://www.facebook.com/mveplana/>.

Pažout, František. 1987. *Malé vodní elektrárny*. Praha : Nakladatelství technické literatury n.p., 1987. L17-B2-IV/31f/72 398.

—, **1982.** *Malé vodní elektrárny a mikrozdroje. Pomůcky pro pracovníky v investiční výstavbě*. *Pomůcky pro pracovníky v investiční výstavbě*, 1982, Sv. 5.

Polák, Martin a kolektiv. 2013. *Bezlopatková miniturbína*. Praha : ČVUT, 2013. 978-80-01-05233-4.

Reuter, Manuela a Kohout, Christian. 2013. *Praxishandbuch für den umweltbewussten Einsatz von Turbinen Technologien im Bereich der Kleinstwasserkraft*. Schleusingen : Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH, 2013. 90-277-1693-5.

Sayontan, Sinha. 2014. *PowerArchimedian Screw. 3Helix*. [Online] 2014. <http://www.3helixpower.com/archimedes-screws/>.

Štoll, Čestmír, Kratochvil, Stanislav a Holata, Miroslav. 1977. *Využití vodní energie*. Praha : Nakladatelství technické literatury, n.p., 1977. L17-C3-IV/-31/77962.

Ulrych, Emil. 2007. *Aplikovaná hydromechanika I*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 978-80-213-1609-6.0

www.google.cz/maps. *google.cz*. [Online] www.google.cz/maps.

Zeithammer, Karel. 2003. *Vývoj techniky*. Praha : ČVUT, 2003. 978-80-01-02836-02008.

Seznam zkratk:

ERU	Energetický regulační úřad
MVE	Malá vodní elektrárna
kW	Kilowat
Mw	Megawat
kWh	Kilowathodina
MWh	Megawathodina
GWh	Gigawathodina
m	Metry
km	kilometry
př. n. l.	Před naším letopočtem
Kčs	Korun československých
Kč	Korun českých
Sb	Sbírky

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Peltonova turbína	10
Obrázek 2 - Francisova horizontální turbína	12
Obrázek 3 - Kaplanova turbína	13
Obrázek 4 - Vodní kolo	14
Obrázek 5 - Bezlopatková turbína	15
Obrázek 6 - Šneková turbína	17
Obrázek 7 – Průchod ryb šnekovou turbínou	18
Obrázek 8 - Situace MVE Planá	19
Obrázek 9 - Vakový jez - MVE Planá	20
Obrázek 10 - Informační tabule u sportovní propusti - MVE Planá.....	21
Obrázek 11 - Rybí přechod.....	21
Obrázek 12 - Šneková turbína - MVE Planá	22

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled produkce elektrické energie v jednotlivých obdobích, MVE Planá.....	26
Tabulka 2 - Přehled investičních nákladů.....	27
Tabulka 3 - Roční náklady na provoz MVE Planá.....	28
Tabulka 4 - Přehled finančních údajů za první tři roky provozu.....	31
Tabulka 5 - Určení zisku za 30 let od spuštění MVE Planá do provozu.....	32

Seznam grafů

Graf 1 - Závislost účinnosti turbíny na průtoku.....	23
Graf 2 - M- denní průtoky.....	24
Graf 3 - Doba návratnosti investice.....	32