

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Energetická studie části toku Berounky

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ladislav HOŠEK**
Osobní číslo: **E11N0178P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Energetická studie části toku Berounky**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování:

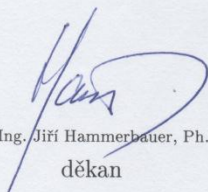
1. Popište současný stav energetického využití Berounky v uvažované oblasti
2. Analyzujte další možnosti a lokality pro případnou výstavbu malých vodních elektráren
3. Zpracujte návrh MVE pro konkrétní lokalitu případně proveďte hodnocení provozu již stávající MVE
4. Proveďte hodnocení uvažované oblasti toku Berounky po stránce energetické, ekologické a ekonomické

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Předkládaná diplomová práce popisuje současný stav energetického využití části toku Berounky v uvažované lokalitě. Uvažovaná část toku Berounky je analyzována od Berounského jezu až po Papírenský jez. V této oblasti jsou analyzovány další možnosti a lokality pro případnou výstavbu malých vodních elektráren. Dále je zde vypracována studie dvou neobsazených jezů, konkrétně jezu Kaceřov a Liblín, u nichž byla odhadnuta možná výroba elektrické energie. Je zde provedeno hodnocení provozu MVE Hýskov, i po ekonomické stránce, a srovnání s teoreticky odhadnutou výrobou. Na závěr práce obsahuje zhodnocení uvažované části toku Berounky po stránce ekologické a ekonomické.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, vodní tok, vodní kolo, turbína, generátor, spád, průtok, výroba elektrické energie, hydroenergetický potenciál

Abstract

The master thesis describes current status of energetic use of the Berounka flow in a certain location. Intended part of the Berounka flow is from the Beroun weir to the Paper weir. Another options and locations for eventual construction of small hydro power plants are analyzed in this area. There is also a study of two vacant weirs, specifically the Kaceřov weir and the Liblín weir, where is the possibility of production of the electricity. There is also an evaluation of the operation of MVE Hýskov and comparison with theoretically estimated production even in economic way. Finally, the thesis provides an assessment of the part of Berounka flow in environmental way and economic way.

Key words

Small hydro power plant, water flow, water wheel, turbine, generator, water head, flow, power production, hydroenergetic potential

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 5.5.2013

Jméno a příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. za cenné profesní rady, připomínky a metodické vedení práce.

Dále bych rád poděkoval Ing. Jiřině Grünwaldové, Mgr. Janě Jovanovičové a Ing. Filipu Jandovi za poskytnutí potřebných údajů pro tuto diplomovou práci. Rád bych také poděkoval panu Václavu Šíchovi za umožnění exkurzí do MVE Nižbor a MVE Hýskov a za poskytnutí informací o elektrárnách.

V poslední řadě bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu při studiu a při zpracovávání této práce.

Obsah

OBSAH.....	8
ÚVOD.....	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1 POPIS A HODNOCENÍ TOKU BEROUNKY.....	11
1.1 POVODÍ BEROUNKY.....	11
1.2 CHARAKTERISTIKA ŘEKY BEROUNKY	11
1.3 PŘEHLED JEZŮ A MVE V UVAŽOVANÉ ČÁSTI TOKU ŘEKY BEROUNKY.....	12
1.4 PARAMETRY VYUŽÍVANÝCH LOKALIT V UVAŽOVANÉ ČÁSTI TOKU BEROUNKY	13
1.5 PARAMETRY LOKALIT S MVE MIMO PROVOZ V UVAŽOVANÉ ČÁSTI TOKU BEROUNKY	20
1.6 STÁVAJÍCÍ ENERGETICKÉ VYUŽITÍ UVAŽOVANÉ ČÁSTI TOKU BEROUNKY	21
2 POPIS NEOBSAZENÝCH LOKALIT PRO VÝSTAVBU MVE.....	22
2.1 SEZNAM JEZŮ VHODNÝCH PRO BUDOUCÍ VÝSTAVBU MVE	22
3 MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY	24
3.1 DĚLENÍ MVE	24
3.1.1 Dělení podle instalovaného výkonu	24
3.1.2 Dělení podle způsobu soustředění vodní energie	25
3.1.3 Další možné dělení MVE.....	25
3.2 ČÁSTI MVE	27
3.2.1 Vtokové objekty.....	27
3.2.2 Česle.....	29
3.2.3 Přivaděče a odpady.....	31
3.2.4 Vodní motory	33
3.2.5 Generátory používané v MVE	47
4 POPIS, NÁVRH A ZHODNOCENÍ MVE V UVAŽOVANÉ OBLASTI	51
4.1 POPIS MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY NIŽBOR.....	51
4.1.1 Popis vnějších částí MVE Nižbor	52
4.1.2 Popis vnitřních částí MVE Nižbor	54
4.2 POPIS MALÉ VODNÍ ELEKTRÁRNY HÝSKOV.....	56
4.2.1 Popis vnějších částí MVE Hýskov.....	57
4.2.2 Popis vnitřních částí MVE Hýskov	58
4.2.3 Tříletý provoz MVE Hýskov	60
4.3 STANOVENÍ HRUBÉHO ODHADU VÝROBY NA JEZECH KACEŘOV, LIBLÍN A HÝSKOV	65
4.3.1 Hydroenergetický potenciál vodního toku.....	65
4.3.2 Základní parametry hydroenergetického díla	65
4.4 HRUBÝ ODHAD ROČNÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA JEZU KACEŘOV.....	66
4.5 HRUBÝ ODHAD ROČNÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA JEZU LIBLÍN.....	68
4.6 HRUBÝ ODHAD ROČNÍ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA JEZU HÝSKOV	70
4.7 SROVNÁNÍ TEORETICKÉ A SKUTEČNÉ VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE NA JEZU HÝSKOV	72
5 ZHODNOCENÍ UVAŽOVANÉ OBLASTI.....	74
5.1 ENERGETICKÉ ZHODNOCENÍ UVAŽOVANÉ OBLASTI.....	74
5.2 EKOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ UVAŽOVANÉ OBLASTI	75
5.3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ MVE HÝSKOV	76
ZÁVĚR.....	79
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	81

Úvod

Využívání vodní energie je spjata s vývojem naší civilizace. Jedná se o nejdéle technicky využívanou formu přírodní energie. Vodní energie je obnovitelným zdrojem energie, který je relativně dostupný. V přírodě je voda nositelem energie chemické, tepelné a mechanické. Mechanická energie vod zahrnuje energii vodních srážek, energii ledovců, energii moří a energii vodních toků. Pro technické využití je nejvýznamnější mechanická energie vodního toku, kterou lze rozdělit na energii potenciální a kinetickou. Při využívání potenciální energie využíváme polohové a tlakové vlastnosti vodního toku. U kinetické formy energie využíváme rychlostní vlastnosti toku. Energií vodního toku v současné době nejčastěji zpracováváme ve vodních elektrárnách, jejichž nutnou součástí je vodní motor, častěji nazýván jako turbína. V ní dochází k přeměně energie vodního toku na mechanickou práci.

V našich podmínkách jsou vodní elektrárny spíše doplňkovým zdrojem energie. Vodní energie byla zpočátku využívána k mechanickým pohonům a postupem času přešla na výrobu elektrické energie. [1]

V třicátých letech se na území Československa nacházelo v provozu přibližně 15 000 malých vodních elektráren a mechanických pohonů. Celkový výkon tehdy činil 232 MW. Postupem času se jejich počet snížil na 5 471. V šedesátých letech se pro neefektivnost elektrárny ve velkém vyřazovaly z provozu. V sedmdesátých letech vyvolala energetická krize stavbu nových MVE a rekonstrukci do té doby vystavěných děl.

Malé vodní elektrárny jsou trvalým a vlastním zdrojem energie, který je zcela nezávislý na jiném zdroji energie. Během celého ročního období mají MVE vysoký počet provozních hodin, malou poruchovost a díky rozvoji automatizace nevyžadují velké počty provozních pracovníků. MVE jsou vhodné například pro krytí energetických potřeb, ale jejich možnosti jsou omezené. Proto se jedná pouze o doplňkový zdroj energie, který je cenným příspěvkem v celkové výrobě elektřiny.

Hydroenergetický potenciál České republiky je zatím využit z 35%. Z nevyužitého potenciálu lze $\frac{1}{4}$ využít ve středních a velkých vodních elektrárnách a zbytek je třeba využít v malých vodních elektrárnách o výkonu do 10 MW. V současné době se projevuje velký zájem o rekonstrukci i výstavbu malých vodních elektráren ve vhodných lokalitách. I proto je z celkového potenciálu, využitelného v MVE, který činí 1 570 GWh_e/rok, využito zhruba 50%. Dá se tedy říci, že Česká republika nabízí ještě dostatek lokalit pro výstavbu malých vodních elektráren. [2]

Seznam symbolů a zkratek

CF	.....	Finanční tok
$CHMI$	.....	Český hydrometeorologický institut
IN	.....	Investiční náklady
MVE	.....	Malá vodní elektrárna do výkonu 10MW
PVL	.....	Povodí Vltavy
TS	.....	Prostá doba návratnosti
d [m]	.....	Průměr
E [J]	.....	Energie
g [$m * s^{-2}$]	.....	Gravitační konstanta
H [M]	.....	Spád
N [Wh_e]	.....	Vyrobená elektrická energie
P [W]	.....	Výkon
P_g	.....	Výkon generátoru
P_t	.....	Výkon turbíny
Q [$m^3 * s$]	.....	Průtok
Q_a	.....	Dlouhodobý průměrný roční průtok
Q_{max}	.....	Maximální průtok turbínou
Q_{min}	.....	Minimální průtok turbínou
Q_n	.....	Průtok turbínou
Q_v	.....	Využitelný průtok
S [m^2]	.....	Plocha
t [s]	.....	Čas
η [-]	.....	Účinnost
η_g	.....	Účinnost generátoru
η_t	.....	Účinnost turbíny
ρ [$kg * m^{-3}$]	.....	Hustota vody

1 Popis a hodnocení toku Berounky

1.1 Povodí Berounky

Povodí Berounky se nachází na území pěti krajů. Největší část povodí, zhruba 69%, leží v Plzeňském kraji, 23% ve Středočeském kraji, 7% v Karlovarském kraji a zbylá plocha se nachází na území hlavního města Prahy a v Ústeckém kraji. [23]

Celková plocha povodí činí 9 270,6 km² a z 95% spadá do hlavního povodí Labe. Zbylých 5% spadá do povodí Moravy a Dolní Vltavy. Nejvyšší nadmořská výška povodí je 1343 m n. m. a nachází se na Jezerní hoře na Šumavě. Nejnižší nadmořská výška je kolem 190 m n. m. a nachází se při ústí Berounky do Vltavy. Rozprostření povodí v jednotlivých krajích je vidět v tabulce 1.1. [24]

Název kraje	Plocha kraje v oblasti povodí (km ²)	Podíl oblasti povodí v ploše kraje (%)	Podíl plochy kraje v oblasti povodí (%)
Hlavní město Praha	23,967	4,83	0,26
Středočeský	2 166, 477	19,67	23,37
Plzeňský	6 406,27	84,73	69,1
Karlovarský	672,771	20,3	7,26
Ústecký	1,044	0,02	0,01

Tab. 1.1 Rozložení plochy povodí v jednotlivých krajích [24]

1.2 Charakteristika řeky Berounky

Řeka Berounka je čtvrtá největší řeka na území Čech. Původní název, největšího levobřežního přítoku Vltavy, byl Mže. Tento název byl od 17. Století změněn nejprve na řeku Berounských, později pak na Berounku. Řeka, podle vodohospodářských předpisů, začíná na soutoku řeky Mže a Radbuzy v centru Plzně. Délka toku je 139,1 km a protéká Plzeňskou kotlinou, přírodním parkem Horní Berounka, Berounskou kotlinou, Karlštejnskou vrchovinou a u Lahovic se vlévá do Vltavy. Mezi významné přítoky patří např. řeka Litavka, Úhlava, Klabava a Klíčava. [25]

Dlouhodobý průměrný roční průtok v období 1961 – 2005, který se označuje jako Q_a dosahuje hodnoty 37,4 m³/s. Tento průtok pochází ze stanice Beroun. Ve stanici Plzeň bílá hora se dlouhodobý průměrný roční průtok pohybuje okolo 20,3 m³/s. [26]

1.3 Přehled jezů a MVE v uvažované části toku řeky Berounky

Pro energetickou studii a zhodnocení toku Berounky, byla vybrána oblast od 35,5 km, tj. od jezu v Berouně až do 134,5 km, tj. Papírenského jezu. Vzdálenost jezu je brána od vtoku Berounky do Vltavy. V níže uvedené tabulce 1.2, je seznam všech jezů, které se v dané uvažované lokalitě nacházejí. Tabulka, pro rychlou orientaci a představu, shrnuje důležité parametry lokalit. Podrobnější informace jsou obsaženy níže.

Název jezu	Název MVE	Výkon [kW]	Spád jezu [m]	Stav
Papírenský	Bukovec - papírna	630	1,60	v provozu
Bukovec	Bukovec - mlýn	540	1,47	v provozu
Dolany	-	-	0,79	-
Smědčice	-	-	0,70	-
Nadryby	Nadryby - Valentovský mlýn III.	45	1,10	v provozu
	Nadryby - Valentovský mlýn I. a II.	99	1,10	v provozu
Kostelec	Kostelec - Darová	330	2,50	v provozu
Kaceřov	-	-	1,40	-
Olešná	Olešná I.	50	2,00	v provozu
	Olešná II.	200	2,00	v provozu
Libštejn	Libštejn I.	50	1,60	v provozu
	Libštejn II.	90	1,60	v provozu
Liblín	-	-	1,50	-
Krašov	Bohy - Podkrašovský mlýn	90	1,10	v provozu
Lejskův mlýn	Hlince - Lejskův mlýn	90	1,20	v provozu
Zvíkovec	Zvíkovec	150	1,60	v provozu
Kostelík	-	-	0,70	-
Šlovice	Šlovice	210	1,20	v provozu
Nezabudice	Nezabudice	265	0,80	v provozu
Roztoky	<i>Roztoky</i>	50	1,49	<i>mimo provoz</i>
Sýkořice	<i>Sýkořice</i>	15	1,30	<i>mimo provoz</i>
Nižbor	Nižbor	230	0,50	v provozu
Hýskov	Hýskov	270	1,01	v provozu
Beroun	Beroun	720	2,50	v provozu

Tab. 1.2 Seznam jezů v uvažované části toku Berounky [28]

Z uvedené tabulky vyplývá, že uvažovaná oblast toku Berounky obsahuje celkem jednadvacet jezů, čtrnáct plně využitých jezů, což představuje dvě třetiny ze všech lokalit v uvažované oblasti, pět nevyužitých a dva jezy, kde sice MVE jsou vybudovány, ale nejsou v provozu.

1.4 Parametry využívaných lokalit v uvažované části toku Berounky

- *Papírenský jez 134,5 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní

Spád jezu – 1,60 m

Stavební délka jezu – 88,38 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož

Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Bukovec - papírna

Instalovaný výkon – 630 kW

Turbína – 2x Semi – Kaplan

- *Jez Bukovec 128,9 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový

Spád jezu – 1,47 m

Stavební délka jezu – 99,82 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož

Účel jezu – stabilizace toku, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Bukovec - mlýn

Typ MVE - průtočná

Instalovaný výkon – 540 kW

Navrhovaný průtok – 24 m³/s

Turbína – 2x Hydrohrom

- *Jez Nadryby 119,1 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní

Spád jezu – 1,10 m

Stavební délka jezu – 161,00 m

Tvar jezu – lomený

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohoz

Účel jezu – stabilizace toku, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Nadryby – Valentýnský mlýn III.

Typ MVE - jezová

Instalovaný výkon – 45 kW

Turbína – 3x Trojčinná Bánkiho turbína, propojená v tandemu

Průměrná roční výroba – 1994,3 MWh_e

Název MVE – Nadryby – Valentýnský mlýn I. a II.

Instalovaný výkon – 99 kW

Turbína – 2x vrtulová turbína (44 kW) (55 kW)

- *Jez Kostelec 115,5 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový

Spád jezu – 2,50 m

Stavební délka jezu – 114,40 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohoz

Účel jezu – stabilizace toku, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Kostelec - Darová

Instalovaný výkon – 330 kW

Turbína – 2x Kolben – Daněk

- *Jez Olešná 109,1 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový

Spád jezu – 2,00 m

Stavební délka jezu – 126,50 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – střečovitý

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož

Účel jezu – stabilizace toku, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Olešná I.

Instalovaný výkon – 50 kW

Turbína – 2x Kaplanova turbína

Název MVE – Olešná II.

Instalovaný výkon – 200 kW

Turbína – 2x Kaplanova turbína

- *Jez Libštejn 105,8 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní

Spád jezu – 1,60 m

Stavební délka jezu – 150,70 m

Tvar jezu – lomený

Typ jezu – střečovitý

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož

Účel jezu – stabilizace toku, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Libštejn I.

Instalovaný výkon – 50 kW

Turbína – 1x Bánkiho turbína

Název MVE – Libštejn II.

Instalovaný výkon – 90 kW

Turbína – 1x Francisova Turbína

- *Jez Krašov 93,6 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní

Spád jezu – 1,10 m

Stavební délka jezu – 142,60 m

Tvar jezu – lomený

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož

Účel jezu – stabilizace toku, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Podkrašovský mlýn

Instalovaný výkon – 90 kW

Turbína – Vodní kolo a Francisova turbína

- *Jez Lejskův mlýn 88,2 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní

Spád jezu – 1,20 m

Stavební délka jezu – 131,90 m

Tvar jezu – lomený

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož

Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Hlince – Lejskův mlýn

Instalovaný výkon – 90 kW

Typ MVE – derivační, beztlaková derivace

Turbína – 2x Francisova turbína

- *Jez Zvíkovec 81,9 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový
Spád jezu – 1,60 m
Stavební délka jezu – 117,47 m
Tvar jezu – obloukový
Typ jezu – střešovité
Zajištění podjezí – kamenný zához, pohoz
Účel jezu – rekreace, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Zvíkovec
Instalovaný výkon – 150 kW
Turbína – 2x Francisova turbína

- *Jez Šlovice 77,5 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, pražského typu
Spád jezu – 1,20 m
Stavební délka jezu – 150,88 m
Tvar jezu – přímý
Typ jezu – střešovité
Zajištění podjezí – kamenný zához, pohoz
Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Šlovice
Instalovaný výkon – 210 kW
Typ MVE – průběžná, průtočná
Turbína – 2x Francisova turbína

- *Jez Nezabudice 66,8 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní

Spád jezu – 0,80 m

Stavební délka jezu – 115,30 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož

Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Nezabudice

Typ MVE – průtočná, průběžná

Instalovaný výkon – 265 kW

Turbína – 1x Francisova turbína a 4x Hydrohrom

- *Jez Nižbor 77,5 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový obložený kamenem

Spád jezu – 0,50 m

Stavební délka jezu – 82,27 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – vývar

Účel jezu – stabilizace toku, vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Nižbor

Instalovaný výkon – 230 kW

Turbína – 2x Kaplanova turbína

- *Jez Hýskov 39,5 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní

Spád jezu – 1,01 m

Stavební délka jezu – 125,10 m

Tvar jezu – lomený

Typ jezu – střechovitý

Zajištění podjezí – vývar

Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Hýskov

Instalovaný výkon – 270 kW

Turbína – 3x Kaplanova turbína

- *Jez Beroun 35,5 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový

Spád jezu – 2,50 m

Stavební délka jezu – 100,00 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – s proudnicovou přelivnou plochou

Zajištění podjezí – vývar

Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Beroun

Instalovaný výkon – 720 kW

Turbína – 4x Kaplanova turbína

[28]

1.5 Parametry lokalit s MVE mimo provoz v uvažované části toku Berounky

- *Jez Roztoky 63,0 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový obložený kamenem

Spád jezu – 1,49 m

Stavební délka jezu – 84,09 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – se širokou korunou

Zajištění podjezí – vývar

Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE – Roztoky

Instalovaný výkon – 50 kW

Turbína – 1x Kaplanova turbína

- *Jez Sýkořice 50,9 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, betonový obložený kamenem

Spád jezu – 1,30 m

Stavební délka jezu – 94,70 m

Tvar jezu – přímý

Typ jezu – střešovité

Zajištění podjezí – kamenný zához, pohoz

Účel jezu – vodní energie

Vlastnosti MVE na jezu:

Název MVE: Sýkořice

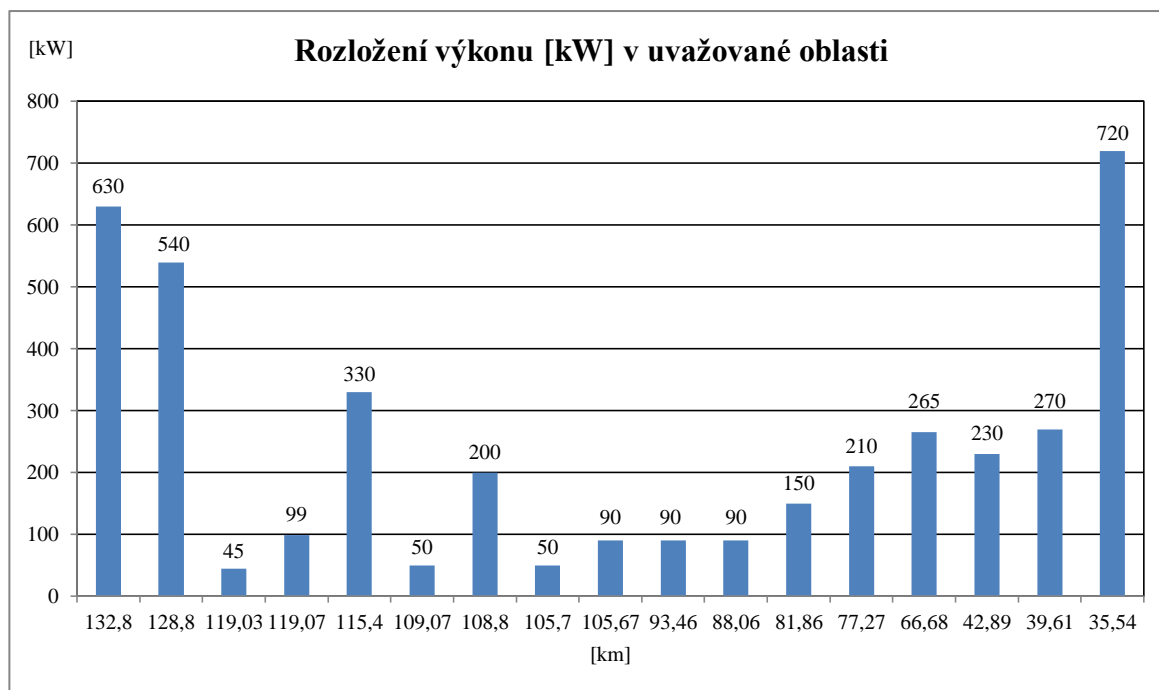
Instalovaný výkon – 15 kW

Typ MVE – průtočná, břehová

Turbína – 1x Francisova turbína

1.6 Stávající energetické využití uvažované části toku Berounky

V uvažované oblasti, která má délku 99 km, se nachází sedmnáct malých vodních elektráren. To znamená, že zhruba na každých 5,8 km připadá jedna malá vodní elektrárna. Celkový instalovaný výkon MVE, které jsou v daném úseku v provozu, činí 4 059 kW. V grafu 1.1 lze vidět rozložení výkonu v délce uvažované oblasti. Číslování oblastí MVE je bráno proti proudu řeky, tj. od Berouna po Plzeň a je udána v kilometrech.



Graf 1.1 Rozložení celkového instalovaného výkonu v uvažované oblasti [28]

Za předpokladu, že elektrárny dosáhnou, nebo se přiblíží, ke svému instalovanému výkonu, zhruba 150 dní v roce, což je 3 600 hodin, je možná teoretická výroba el. energie podle vzorce (1.1) [1], bez ztrát a vlastních spotřeb, 14 612 MWh_e z celkového instalovaného výkonu 4 059 kW.

$$N = P * t [Wh] \quad (1.1)$$

Tento výpočet je pouze hrubým odhadem možné roční výroby, při zanedbání všech ztrát a vlastní spotřeby. Pro skutečnou ilustraci výroby, je v kapitole čtyři popsána tříletá výroba MVE Hýskov, která je srovnána s teoreticky možnou výrobou, která vyplývá z odtokové křivky v dané oblasti.

2 Popis neobsazených lokalit pro výstavbu MVE

V uvažované oblasti se nachází pět jezů, které jsou z energetického hlediska nevyužity. Jmenovitě se jedná o jezy Dolany, Smědčice, Kaceřov, Liblín a Kostelík. V této kapitole jsou popsány jejich parametry a poté v kapitole čtyři jsou dva neobsazené jezy, konkrétně Kaceřov a Liblín, analyzovány pro případné energetické využití.

2.1 Seznam jezů vhodných pro budoucí výstavbu MVE

- *Jez Dolany 125,2 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní
Počet jezových polí - 1
Spád jezu – 0,79 m
Stavební délka jezu – 103,40 m
Tvar jezu – lomený
Typ jezu – střečovitý
Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož
Poloha k ose jezu – šikmá
Účel jezu – stabilizace toku

- *Jez Smědčice 120,1 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, kamenný
Počet jezových polí - 1
Spád jezu – 0,70 m
Stavební délka jezu – 137,20 m
Tvar jezu – lomený
Typ jezu – střečovitý
Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož
Poloha k ose jezu – šikmá
Účel jezu – stabilizace toku

- *Jez Kaceřov 125,2 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, kamenný
Počet jezových polí - 1
Spád jezu – 1,40 m
Stavební délka jezu – 86,90 m
Tvar jezu – přímý
Typ jezu – střečovitý
Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož
Poloha k ose jezu – kolmá
Účel jezu – stabilizace toku

- *Jez Liblín 100,5 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, dřevěný s výplní
Počet jezových polí - 1
Spád jezu – 1,50 m
Stavební délka jezu – 116,90 m
Tvar jezu – přímý
Typ jezu – střečovitý
Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož
Poloha k ose jezu – kolmá
Účel jezu – stabilizace toku

- *Jez Kostelík 80,7 km*

Vlastnosti jezu:

Druh jezu – pevný, pražského typu
Počet jezových polí - 1
Spád jezu – 0,70 m
Stavební délka jezu – 143,17 m
Tvar jezu – přímý
Typ jezu – střečovitý
Zajištění podjezí – kamenný zához, pohož
Poloha k ose jezu – šikmá
Účel jezu – stabilizace toku

3 Malé vodní elektrárny

Již v roce 718 byl na řece Ohři u Žatce vybudován první vodní mlýn. Jednalo se o první mlýn ve střední Evropě. Zdokonalením vodních kol a turbín a vyřešením problematiky přenosu el. energie na dlouhé vzdálenosti, došlo k umožnění využití vodní energie ve vodních elektrárnách. Navíc ve dvacátých letech devatenáctého století, díky zákonu o soustavné elektrifikaci, kdy bylo možné budovat vodní elektrárny z veřejných zdrojů, došlo k systematickému využívání vodní energie v Československu. Převážně byly budovány MVE místního významu. Postupem času začala výstavba těchto zdrojů klesat, protože byla upřednostňována výstavba větších tepelných elektráren a rozvoj přenosové sítě a docházelo k budování větších děl nad 10 MW. Právě koncentrování výstavby elektráren s větším výkonem, mělo za následek rušení MVE, což trvalo do sedmdesátých let dvacátého století. V té době začala výrazně růst cena energetických surovin a začalo se pomalu využívat vlastních zdrojů, tedy i vodní energie. To vedlo ke zkoumání hydroenergetického využití našich toků. Začalo docházet k rekonstrukcím již stávajících MVE a k výstavbám nových malých vodních děl. V České republice lze využívat tři čtvrtiny vodní energie v MVE. [2]

3.1 Dělení MVE

Malá vodní elektrárna je elektrárna, kde součet jmenovitých činných výkonů všech soustrojí nepřesahuje 10 MW, využívající vodní energii k výrobě el. energie. MVE lze dělit podle různých hledisek.

3.1.1 Dělení podle instalovaného výkonu

Z výkonového hlediska lze MVE dělit například podle normy ČSN 75 0128 na:

- *Průmyslové – 1 MW - 10 MW*
- *Minielektrárny – 0,1 MW – 1 MW*
- *Mikroelektrárny – 35 kW - 100 kW*
- *Domácí – 2 kW – 35 kW*
- *Mobilní zdroje – pod 2 kW*

3.1.2 Dělení podle způsobu soustředění vodní energie

MVE lze dále dělit např. podle toho, jakým způsobem je soustředěna vodní energie a jakým způsobem je voda přiváděna k turbíně. Z tohoto hlediska se MVE dělí na:

- *Přehradové MVE – spád je zde tvořen přehradou*
- *Jezové MVE – spád je tvořen jezem*
- *Derivační MVE – spád je tvořen umělým vedením vody mimo vodní tok*

3.1.3 Další možné dělení MVE

Dalším možným dělením, je podle charakteru pracovního režimu a to na elektrárny průtočné a akumulární. Průtočné MVE pracují tak, aniž by nějakým způsobem ovlivňovaly přirozený průtok. Akumulární elektrárny, pracují s řízeným odběrem vody z akumulární nádrže, kdy se jedná o denní nebo týdenní řízení pracovního režimu.

Jiný způsob dělení je podle provozovatele MVE a to jako elektrárny:

- *Elektrizační soustavy – jsou zapojeny do elektrizační soustavy a pracují podle jejich potřeb*
- *Závodní – jsou také připojeny do elektrizační sítě, ale pracují pro organizaci mimo odvětví energetiky*
- *Soukromé – mohou být připojeny do elektrizační sítě, ale častěji bývají zapojeny do vyčleněné sítě a jsou provozovány soukromými osobami.*

MVE lze seskupit do tří tříd podle zapojení a to jako elektrárny:

- *Zapojené v celostátní nebo místní energetické soustavě*
- *Schopné pracovat odděleně od elektrizační soustavy*
- *Mikrozdroje a mobilní zdroje pracující odděleně*

Elektrárny pracující odděleně lze považovat za záskokové zdroje, které zásobují spotřebiče při výpadku veřejné sítě. Mobilní zdroje a mikrozdroje slouží např. pro ohřev vody nebo vytápění objektů. Tyto zdroje se snaží o snížení konvenčních druhů paliva, jako např. uhlí, topné nafty a elektřiny z veřejné rozvodné sítě. [1]

Z předchozího dělení je patrné, že je mnoho kritérií, podle kterých lze dělení provádět. Praktické využití MVE je především dáno velikostí zdroje. Pro představu je v tabulce 3.1 znázorněno, podle výkonu MVE, jak lze daný výkon využít. Tabulka je sestavena podle amerických parametrů.

Výkon malého hydroenergetického zdroje [kW]	Zdroj má schopnost zajistit
2,5	- svícení pro 15 bytových jednotek venkovského typu
5	- čerpání při závlahách nebo provoz moderní americké domácnosti bez elektrického vytápění
10	- vytápění 7 místností v mírných klimatických podmínkách
30	- provoz moderního elektrizovaného obydlí
50	- osvětlení a provoz malého podniku
500	- osvětlení pro venkovskou obec s 200 obydlími nebo provoz 100 elektrizovaných domácností
1 000	- provoz většího průmyslového podniku nebo el. energie pro provoz 30 až 40 moderních domácností, nebo osvětlení a klimatizace pro 200 farmářů
1 000 – 10 000	- zajištění energie pro místní síť malého sídliště

Tab. 3.1 Využití výkonu MVE [2]

U nás je využití výkonů MVE zhruba stejné jako v tabulce 3.2. MVE pracují většinou do sítě a odběratelé jsou zálohováni elektrizační soustavou.[2]

Jednotkový výkon [kW]	Typ uživatelů
1 - 35	- domácí (zejména topení)
30 - 150	- řemeslníci, drobní průmyslníci, hotely
150 – 8 000	- samostatní výrobci
1 000	- náhradní zdroje pro přehrady
5 000-8 000	- dodávka do veřejné sítě

Tab. 3.2 Využití výkonu MVE u nás [2]

3.2 Části MVE

Řešení malé vodní elektrárny je vždy podřízeno jejímu vhodnému hydraulickému řešení a podmínkám vybrané lokality. Bez ohledu na tyto parametry se dají části MVE zařadit do třech základních kategorií. První kategorie zahrnuje části MVE, které přivádějí vodu k turbínám, zajišťují potřebnou kvalitu vody a následně odvádějí vodu od turbín zpět do řeky. Jsou to různé přivaděče, odpady, vtoky a česle. Do druhé kategorie lze zařadit zařízení, která slouží ke zpracování přivedené vody. Patří sem vodní kola a turbíny. Do třetí kategorie pak lze zahrnout elektrotechnická zařízení, která převádí energii vodního toku na energii elektrickou a dále nám jí pomáhají přenášet například do veřejné sítě. Do této skupiny můžeme zařadit generátory, transformátory, ale i samotné řízení MVE. [2]

3.2.1 Vtokové objekty

Pomocí vtokových objektů zajišťujeme co možná nejmenší ztráty v přítoku vody na vodní turbíny. Zároveň je potřeba zajistit maximální hltlost vtokového objektu. Tyto objekty se nacházejí u každé vodní elektrárny. Každý vtok musí splňovat základní požadavky. Měl by zajistit potřebný přítok vody po celou dobu životnosti MVE a to za určité kvality přiváděné vody. To znamená, že vtokový objekt musí zajistit zadržení nečistot, např. listí, kusů dřeva, trávu apod., aby nedošlo k poškození turbín. Zároveň nesmí docházet k zavzdušnění hydraulického systému vodních turbín. Vhodným návrhem musí být zajištěno, že se nebudou vytvářet víry na vtoku. Proto musí být zajištěno čištění jemných česlí, aby nedocházelo k jejich ucpání. Vtokový objekt by neměl být náročný na spotřebu energie a na obsluhu, a proto by měl být bezobslužný. Dále by neměly konstrukční části během zimního provozu namrzat ani úplně zamrzat. Hydraulické ztráty ve vtoku musí být minimální. Vtoky lze dělit podle vtokových poměrů na beztlakové a tlakové.

- *Beztlakové vtokové objekty*

Tyto objekty slouží pro odběr vody pro beztlakové přivaděče, nebo jako vstupní část tlakových vtoků. Proudění má pak charakter volné hladiny a je beztlakové. Obsahem těchto vtokových objektů bývají norné stěny k zachycení plavenin a práh ve dně, který slouží k zachycování splavenin sunoucích se po dně. Nornou stěnu lze také využít jako obslužní lávku. Samotný vtokový objekt musí zabezpečit dostatečný přítok vody ze zdrže, nebo nádrže do přivaděče. V případě potřeby, zajišťuje také regulaci průtoku vody do elektrárny. [2]

Především je třeba věnovat pozornost vhodnému situování vtokového objektu vzhledem k jezu. Při návrhu je třeba vycházet ze stejných poznatků o proudění, jako při dispozičním řešení zdymadel. Optimálního dispozičního řešení lze nejlépe dosáhnout po předchozím měření na trojrozměrném fyzikálním, nebo hydraulickém modelu v laboratoři.

- *Tlakové vtokové objekty*

Tlakové vtoky se nejčastěji budují tak, aby v nich rychlost proudění nepřesahovala 0,8 – 1,2 m/s. Jejich součástí bývají česle, vtokové uzávěry a drážky pro provizorní hrazení. Vtoky na turbíny mají ve svislém i vodorovném řezu plynulý proudnicový tvar. Je to proto, aby vyvolávaly co nejmenší odpor a nedocházelo ke ztrátám. Přední vtoková hrana je ponořená pod minimální provozní hladinou a je zaoblená. U takto koncipovaného vtoku nedochází ke vzniku vírů a strhávání vzduchu k turbínám. V prahu ještě navíc může být instalován proplachovací kanál, který vyústí uje do dolní vody.

- *Tvarování tlakových vtoků*

Na tvarování tlakových vtoků, musí být kladen velký důraz, neboť ztráty, které vznikají při proudění vody, odebírají část energie vody. Tyto ztráty lze vyjádřit jako podíl ztrátové výšky na spádu vodní elektrárny. Takto vypočítané ztráty jsou potom udávány procentuálně. U nízkotlakých elektráren bude podíl těchto ztrát vyšší, než u elektráren vysokotlakých. Je to dáno velkým využívaným spádem. Účinnost vtokového objektu zřetelně ovlivňuje jeho vertikální uspořádání. Oproti tomu, má horizontální uspořádání menší vliv. Pokud je vtok dobře navržen, pak největší ztráty vznikají na česlích, konstrukčních a nosných prvcích, drážkách uzávěrů a malá část také na tvaru vtoku.

Pokud chceme dosáhnout vhodného hydraulického vtoku, musíme zachovat plynulé zvětšování rychlosti proudění a zachovat rozvoj rychlostí podél přechodového kusu. Ke změnám rychlostí by nemělo docházet nahodile, nýbrž plynule bez velkých skokových změn v rychlosti proudění. Proto by měl mít přechodový kus, ve kterém se mění příčný řez z obdélníku na kruhový vstupní profil do turbíny, navrhnoutou délkou 1,5xd, přičemž se za písmeno d dosazuje průměr kruhového profilu. Napojení na přivaděč musí být realizováno tak, aby se paprsek vody neodrážel od vodící obrysové hrany a nedocházelo ke vzniku podtlakových míst. [2]

3.2.2 Česle

V každém vtokovém objektu lze najít česle, protože patří mezi nepostradatelnou část vtoku, která zajišťuje oddělení naplavenin a nevhodných objektů, které se nacházejí ve vodním toku. Ty by při průchodu turbínou způsobily její poškození, nebo dokonce její zničení, nebo by poničily rozváděcí lopatky, popřípadě jejich upevnění. Dále by jejich uchycení na lopatkách narušilo charakter proudění vody. To má za následek velké snížení výkonu. Na malých vodních elektrárnách lze rozlišovat mezi hrubými a jemnými česlemi. [2]

3.2.2.1 Hrubé česle

Tento typ česlí zabraňuje vniku velkých splavenin do hydraulického systému. Mezi tyto splaveniny lze nejčastěji řadit úlomky stromů, větve, ledové kry a všemožný odpad, který se dostane do vodního toku. K hrubým česlím se většinou dá dostat z horní plochy normé stěny nebo z lávky. Jsou konstruovány jako svíslá mřížovina, která zabraňuje plovoucím předmětům ve vniku do MVE. Vzdálenost mezi příčkami mřížoviny, bývá obvykle v rozmezí 30 – 60 cm. Nevhodnějším konstrukčním materiálem jsou silnostěnné trubky o průměru 8 – 5 cm, protože pak dochází, při různých manipulacích s turbínami, k zajištění plynulého obtékání. Česle se navrhují na úplné zacpání. To zajišťuje odolnost proti poškození prutů česlí, které musí přenést zatížení plným hydrostatickým tlakem.

Průtokem vody přes česle vznikají hydraulické ztráty. Tyto ztráty jsou závislé na ztrátovém součiniteli a rychlosti proudění. Průměrná rychlost proudění by se měla pohybovat v rozmezí 0,5-0,7 m/s a z těchto hodnot lze navrhnout průřezovou plochu profilu hrubých česlí. Ztráty pak jsou dány prouděním v čistých česlích. Při postupném zanášení stoupají ztráty několikanásobně. Proto je potřeba udržovat česle čisté a průchodné a to pravidelným ručním čištěním. Pokud dojde k zacpání, je nutné odstavit turbíny a uvolnit tak přítlačnou sílu na naplaveniny. [2]



Obr. 3.1 Hrubé česle na vtoku do MVE [5]

3.2.2.2 Jemné česle

Dalším stupněm, který zajišťuje potřebnou kvalitu vody v hydraulickém systému, jsou jemné česle. Využívají se nejen u malých vodních elektráren, ale i u všech odběrů vody a bývají součástí všech hydrotechnických děl. Nejčastěji bývají konstruovány z páskové oceli o průřezu 5x0,6 – 18x2 cm. Při sestavování je třeba ještě přidat vodorovné nosníky, které jsou uloženy v bocích profilu česlí. To proto, aby česle vydrželi plný hydraulický tlak vody, zejména pokud by došlo k jejich úplnému zacpání splaveninami. Ucpání česlí nebývá nic neobvyklého, zejména při povodních, nebo když v zimním období plují vnitrovodní ledy. V tomto období může také docházet k jejich namrzání, což může vyústit v jejich zacpání.

I v čistých jemných česlích dochází k výrazným ztrátám. Proto se profil navrhuje tak, aby střední rychlost proudění dosahovala hodnot 0,8 - 1,2 m/s. Pokud dojde jen k nepatrnému zanesení česlí, stoupají hydraulické ztráty velmi rychle. Proto je velmi důležité udržovat česle nezanesené. To lze provádět dvěma způsoby.

- *Ruční čištění*

Tento způsob čištění je vhodný pro zařízení malého rozsahu se stálou obsluhou. Pokud tedy máme plně automatizovanou elektrárnu, je nevhodnější volbou druhá možnost.

- *Čištění česlí pomocí čistících strojů*

Čistící stroje lze rozdělit na řetězové a hrabice. Hrabice jsou čistící stroje s hydraulickým pohonem, které najíždí u dna na česle. Nečistoty a splaveniny, které se zachytili na česlích, jsou potom shrabovány vzhůru, kde přepadnou do odtokového kanálu. Tyto stroje bývají často velmi masivní a ramena mohou vyčnívat nad samotnou elektrárnu. Pokud jsou česle větších rozměrů, čistící stroj tohoto typu, přejíždí po česlích po kolejnicích a postupně čistí jednu část za druhou.

Mechanismy čištění se dávají do provozu automaticky. Jsou řízeny buďto pevně nastavenými cykly, což není úplně vhodné řešení, protože může docházet k zacpání, nebo pomocí difference výšky hladiny vody před a za česlemi.

Kovové česle je také vhodné chránit proti korozi, neboť se nacházejí v agresivním prostředí vodního toku. Jako nejlepší možností ochrany proti korozi se osvědčilo pokovení zinkem. Tímto způsobem jsou chráněny i ocelové části čistících strojů. [2]

3.2.3 Přivaděče a odpady

Hlavním úkolem přivaděčů je dopravení vody k turbínám. Odpady pak mají za úkol tuto vodu, potom co předala svoji energii turbíně, odvést zpět do řeky. Při konstrukci a navrhování těchto dílů je potřeba, aby nedocházelo k energetickým ztrátám. Protože mohou sloužit jako nástroje, pro soustředění spádu na delším úseku toku za pomoci derivace. Nicméně u MVE se spíše snažíme o to, aby byla délka přivaděče a odpadu co nejmenší, protože dlouhé přivaděče a odpady odebírají velkou část průtoku a prodražují samotnou stavbu. Tyto části lze dělit na tlakové a beztlakové a podle konstrukčního řešení na kanály, náhony, štoly, potrubí a šachty.

3.2.3.1 Beztlakové přivaděče a odpady

Otevřené kanály, náhony a žlaby, se nejčastěji navrhují, jako přívody a odvody vody pro MVE. A je to pochopitelné, protože náklady na výstavbu jsou nižší, než u tlakových přivaděčů. Při návrhu těchto objektů, jsou důležité místní podmínky. Do nich lze počítat výškové a směrové podmínky trasy, možnost získání pozemků a geologické poměry. Při zkoumání geologických poměrů, nás nejvíce zajímá propustnost podloží, která je vyjádřena koeficientem vnitřního tření zemin a koheze zemin. Důležité je také dodržení stejného objemu vytěžené zemině k uležené zemině v náspu. Proto je dobré posuzovat koryto přivaděče i odpadu v celku.

- *Konstrukční řešení beztlakových přivaděčů a odpadů*

Při návrhu a konstrukci je zapotřebí dbát na těsnost objektů. To znamená zabránit únikům vody, protože může dojít k zamokření okolních pozemků, což v praxi mohou dokládat mokřadní rostliny, jako rákos a jemu podobné rostliny. To dokládá změnu vlhkostních podmínek v okolí přivaděče. Oproti tomu bývají odpadní kanály budované tak, že jsou zahloubeny pod úroveň spodní vody. U odpadů se neprovádí těsnění, proto mohou sloužit jako odvodňovací kanály pro okolní pozemky.

Z hlediska ušetření nákladů při stavbě těchto objektů, se objekty stavějí co nejkratší. Většinou se realizují na vrstevnici, což umožňuje soustředění spádu. Při budování svahů jsou rozhodující vlastnosti zemin, jako je úhel vnitřního tření zemin a koheze zemin. Protože tyto vlastnosti určují stabilitu svahů koryta, ověřují se statickým výpočtem pomocí Pettersenovi nebo Bishopovi metody. Pokud se svah realizuje ve vrstevnatých zeminách, je nutné v každé vrstvě upravit sklon, podle vlastností dané vrstvy zemin. [2]

3.2.3.2 Tlakové přivaděče a odpady

Jelikož bývají tlakové přivaděče výrazně dražší, snažíme se při návrhu MVE tlakovým objektům vyhnout. Bohužel někdy je tlakový přivaděč jediným možným řešením, a proto se často s těmito přivaděči na MVE setkáváme. Jednotlivé přivaděče se od sebe liší především materiálem, z kterého jsou vyrobeny. Nejčastěji se vyrábějí z ocelového potrubí, litinového potrubí a železobetonového potrubí. Mimo těchto variant, se lze setkat s plastovým potrubím. To bývá vyrobeno z polyetylénu, z polypropylenu nebo z PVC. Výjimečně se lze setkat i s dřevěnými přivaděči.

Proudění vody v tlakových přivaděčích, může mít charakter ustáleného nebo neustáleného proudění vody. Takže při navrhování takového přivaděče, je potřeba vypracovat nejprve hydraulický návrh s přihlédnutím ke statickým a dynamickým zatížením. Při výpočtech se předpokládá ustálené proudění, tedy proudění neměnicí se v čase. Takto zpracovaný výpočet musí být součástí projektu.

- *Konstrukční řešení tlakových přivaděčů a odpadů*

Základem hydraulického návrhu je určení okrajových podmínek proudění. Proto je důležité znát průtok přivaděčem, včetně možnosti jeho kolísání, tlakové poměry vtoku i podél trasy přivaděče a přípustnou rychlost proudění vody v tlakovém přivaděči.

U tlakových přivaděčů se vyskytují ztráty vtokové a výtokové, ztráty způsobené změnou průřezu přivaděče, ztráty vzniklé změnou směru a ztráty vnitřními překážkami. Ztráty ve vtoku závisí na jeho tvarové úpravě, ale patří sem i ztráty na česlích a dalších konstrukčních prvcích. Ztráty při výtoku jsou způsobeny rozšířením výtokového průřezu. Proto je důležité při návrhu rozšíření savky dbát na to, aby nedošlo k odtržení vody od stěn savky, což by způsobilo zpomalení proudění vody v savce. Ztráty v průřezu nastávají při každé změně průřezu. Velikost ztrát závisí na poměru plochy příčného profilu S_2 za místem změny a ploše příčného profilu S_1 před místem změny. Zúžení profilu má malý vliv na ztráty, ale někdy se používá záměrně, před vtokem na turbínu, protože zhušťuje proudová vlákna a vyrovnává rychlosti v příčném řezu.

Tlakové přívodní potrubí je hospodárné tehdy, pokud součet ročních výdajů za odpis pořizovacích, provozních a udržovacích nákladů a ročního úbytku příjmů, způsobeného ztrátami, je minimální. Hospodárný návrh se provádí pomocí přibližných výpočtů, za určitých podmínek v daném období a lokalitě na zemi. [2]

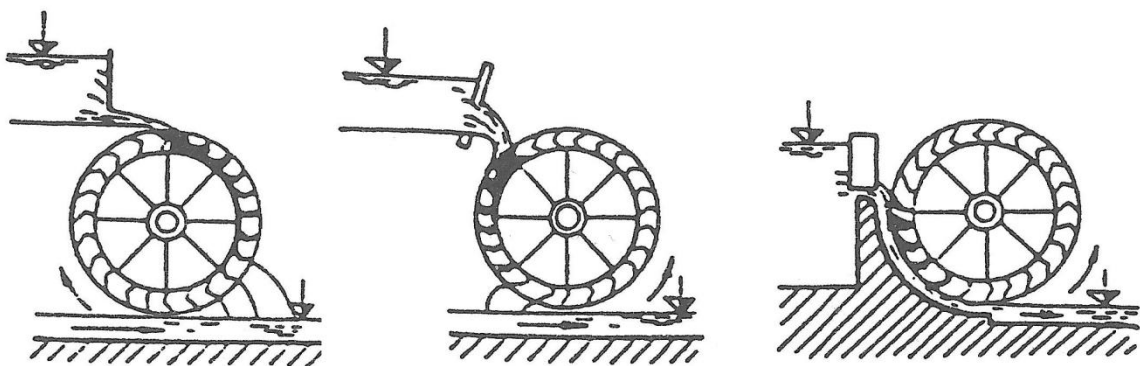
3.2.4 Vodní motory

Vodní motory lze dělit na dvě základní skupiny. A to na vodní kola a turbíny. Přičemž vodní kola lze dále rozdělit podle způsobu využívání vodní energie na lopatková a korečková a podle nátoky na vodní kola s dolním, středním a s horním nátokem.

Vodní turbíny můžeme rozdělit podle způsobu využívání energie vody na rovnotlaké a přetlakové. Mezi rovnotlaké turbíny lze řadit např. Peltonovu a Turgo turbínu a mezi přetlakové pak Kaplanovu a Francisovu turbínu. Bánkiho turbína je zvláštním případem a lze ji za určitých podmínek řadit do obou kategorií. Samotná turbína se řadí do rovnotlakých, ale pokud je použita savka, může se řadit i do přetlakových. Znakem této turbíny je příčné protékání turbíny vodou, což znamená, že voda přijde do kontaktu s lopatkami na vstupu i na výstupu.

3.2.4.1 Vodní kola

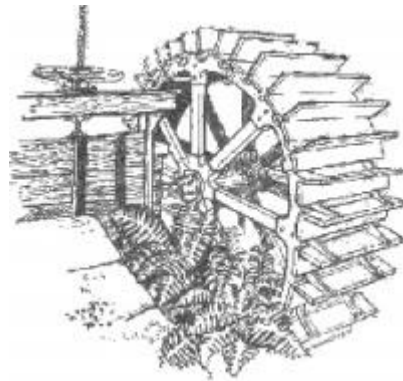
Při prvním využívání vodní energie, jako zdroje pro pohony, byla použita vodní kola. Jsou tedy nejstaršími rotačními vodními stroji, které se používají dodnes. Rozlišují se dva základní druhy kol, podle toho jakou energii vody zpracovávají. Lopatková vodní kola využívají kinetickou energii vody. Zatímco vodní kola korečková využívají potenciální energii vody. Na obr. 3.2 jsou zobrazeny tři druhy nátoky vody. Vodní kola mohou pracovat i na malém spádu pod 0,5m a dosahují účinnosti 60-80%. Lze zpracovávat i spády okolo 0,1 m, pomocí lopatkového kola, ale jen s asi 20% účinností.



Obr. 3.2 Zobrazení nátoků vody na kolo: zleva horní nátok, střední nátok a dolní nátok [2]

- *Lopatková vodní kola*

Tato kola jsou sestavena s dvojice bočních věnců, které jsou propojeny lopatkami a hřídelem, jak je patrné z obrázku 3.3. Mezi lopatkami je vodní kolo průhledné, takže voda předává svojí energii tak, že proud vody teče po lopatce ve směru tečny k povrchu lopatky, v místě její vstupní hrany, a poté proudí po lopatce až na její konec. Poté se voda vrací po lopatce zpět, nezteče tedy do vnitřku kola, ale opouští lopatku na stejné hraně, na které natekla na lopatku. To znamená, že výměna energie probíhá výhradně na lopatkách kola.



Obr. 3.3 Lopatkové vodní kolo [6]

Do vnitřku kola nesmí vtékat voda, proto nemusí být hřídel vodního lopatkového kola kruhového profilu, ale může mít libovolný tvar. Tento tvar může vycházet z konstrukčních možností kola. Obtékaný líc lopatky musí být vhodně tvarován, stejně jako vstupní hrana. Takže se postupným vývojem došlo k ideálnímu tvaru lopatky, kterým je tvar válcové plochy.

Z různých variant kol s dolním nátokem, se nejlépe osvědčilo Ponceletovo vodní kolo. Tento typ kola je nejvhodnější pro průtoky $0,1 - 5 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejlepší pracovní spád se pohybuje v rozmezí od $0,5 - 1,7 \text{ m}$. Při těchto podmínkách, dosahuje toto kolo účinnosti v rozmezí $60-70\%$. Sagebienovo vodní kolo je dalším často používaným vodním kolem. Je vhodné pro průtoky $0,6 - 4 \text{ m}^3/\text{s}$ a spády od $0,7 - 2,5 \text{ m}$. Samotná konstrukce kola se nachází přesně mezi koly lopatkovými a korečkovými. Proto dokáže, díky jeho uspořádání, částečně využít i potenciální energii vodního toku. Lopatky Sagebienova kola, bývají zpravidla rovinné s mírně šikmým sklonem. Aby se snížil odpor lopatek při vyjíždění z dolní vody, provádí se zakřivení lopatek v přední části. Oba typy kol vykazují dobrou účinnost, spolehlivost a výrobní jednoduchost. Oproti tomu mají velké nároky na průměr oběžného kola. Velkou nevýhodou všech vodních kol jsou jejich malé provozní otáčky, které z důvodu odstředivého vylétávání vody z lopatek, nelze zvětšit. Tato skutečnost vede k používání převodů do rychla, na kterých vznikají velké ztráty, což má vliv na snížení celkové účinnosti energetické přeměny. [2]

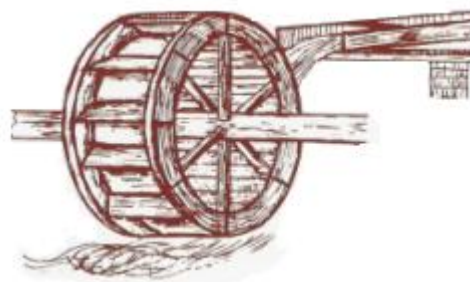
- *Korečková vodní kola*

Na rozdíl od lopatkových vodních kol, využívá korečkové vodní kolo na vstupu kinetickou energii a poté pouze energii potenciální. Tento typ kola dosahuje účinnosti 65-80%, v závislosti na použitém výrobním materiálu, provedení a na množství vody v korečkách. Pracovní rozmezí spádu se pohybuje od 1,6 do 10 m.

Korečkové vodní kolo je sestaveno z mělkých a širokých, výrazně skloněných korečků. Ty jsou sestaveny pomocí masivních postraních věnců a z vlastních šikmých lopatek. Lopatky jsou v radiálním směru tvořené prkny, což jsou takzvané svorce a vnitřní bednění koreček se nazývá podélky.

Z nátoky se vypouští pomocí regulačního stavidla proud tenkého a plochého paprsku vody tak, aby voda dopadla do nejvyššího bodu kola. Aby voda stihla korečky naplnit, musí mít paprsek vody dvojnásobnou rychlost, než jakou rychlostí se kolo otáčí. Při provozu kola se kolo otáčí volně a nedotýká se dolní hladiny vody. Přitékající voda z nátoky nejprve při plnění korečků působí na vodní kolo nárazem do lopatky a po její stabilizaci, hmotností vody v korečkách. Delšímu využití hmotnosti vody lze dosáhnout zabráněním předčasného vylévání vody z korečků tak, že se zakříví stěna lopatky.

Korečkové vodní kolo lze použít tam, kde by se nedala použít turbína, z důvodu velkého znečištění vodního toku, anebo z důvodu jeho velkého kolísání. Dále je vhodné pro historické objekty, kde probíhají úpravy na výstavbu MVE. Toto kolo je náročné na obsluhu, ale je vhodné pro toky, jejichž charakter průtoku není dopředu znám, protože dokáže zpracovat i na mnohonásobně menších otáčkách, než na které je navrženo, a to bez poklesu účinnosti. Také je vhodné do míst, kde by mohlo docházet k zavzdušnění turbíny. Při užití korečkového vodního kola nemůže dojít ke znečištění vodního toku ropnými látkami, a proto je vhodné i na přítoky k vodárenským nádržím. Toto kolo se však nedoporučuje do míst, kde kolísá spodní hladina vodního toku, protože se tento typ vodního kola nesmí brodit ve spodní vodě. [4]



Obr. 3.4 Korečkové vodní kolo [7]

3.2.4.2 Turbíny

Vodní kola dosáhla svého vrcholu, co se týče vývoje a používání, v minulém století. V současnosti tvoří základní zařízení na zpracování energie vody vodní turbíny. Jsou to nejvýznamnější hydrodynamické motory, jejichž pracovním prvkem je oběžné kolo. Mezi hlavní parametry turbíny lze řadit průtok turbínou a měrnou energii turbíny, která se může také nazývat užitným spádem. [3]

- *Průtok turbínou*

Tento parametr udává množství vody protékající turbínou za jednotku času. To vyjadřuje úhrnné množství vody, které je zapotřebí pro provoz turbíny při jejím měrném zatížení. Do tohoto průtoku je započtené veškeré množství vody, které protéká např. ucpávkami, netěsnostmi a vody, která slouží k chlazení vlastních ložisek turbíny. Jmenovitá hodnota průtoku turbínou udává průtok turbínou při maximální celkové účinnosti turbíny. Hltnost turbíny pak představuje nejvyšší možný průtok turbínou.

- *Měrná energie turbíny*

Podle zákona zachování energie, je měrná energie turbíny dána rozdílem celkových měrných energií kapaliny na vstupu a výstupu, přičemž určující je jmenovitá měrná energie. Jedná se o měrnou energii, která vzniká při jmenovitých otáčkách turbíny a jmenovitém průtoku turbínou.

Mezi další parametry turbíny, které nazýváme přidružené parametry, řadíme účinnost turbíny, otáčky turbíny, výkon turbíny, a geodetickou sací měrnou energii turbíny.

- *Otáčky turbíny*

Pracovní otáčky turbíny by se měly co nejvíce blížit otáčkám jmenovitým. Otáčky jsou udávány jako počet otáček za jednotku času a jsou dány hydraulickým a konstrukčním řešením turbíny. Vycházejí z ideální hodnoty obvodové rychlosti oběžného kola stroje dané velikosti a měrné energie. Pokud je generátor napřímo propojen s turbínou, jsou otáčky dány použitým typem generátoru.

- *Výkon turbíny*

Výkon turbíny je označován písmenem P a je udáván ve wattech P [W]. Mechanický výkon udává velikost mechanické energie, která je přenesena hřídelí za jednotku času a určuje se na spojnici hřídele a turbíny. Nebo ji lze stanovit za vlastním ložiskem turbíny, pomocí změřeného krouticího momentu a provozních otáček.

Jmenovitý mechanický výkon turbíny získáváme při jmenovité měrné energii a jmenovitých otáčkách. Dalším výkonem je takzvaný instalovaný výkon, který udává maximální mechanický výkon turbíny. Jedná se o maximální možný výkon, který lze získat při ideálních provozních podmínkách. Teoretický výkon turbíny P_t udává výkon, který lze dosáhnout při určitém průtoku a měrné energii za předpokladu, že zanedbáme veškeré ztráty, které vznikají v turbíně, a je roven hydraulickému příkonu turbíny. Tento výkon se počítá ze vztahu (3.1) [1].

$$P_t = Q * E * \rho [W] \quad (3.1)$$

- *Účinnost turbíny*

Pod tímto pojmem je udávána hodnota, která je definována jako poměr mechanického výkonu a hydraulického příkonu, která bývá vyjádřena v procentech. Jsou v ní zahrnuty všechny ztráty energie, které vznikají mezi vstupním a výstupním průřezem turbíny. Takto uvedená účinnost představuje celkovou účinnost a její hodnota je vždy menší než jedna. Pokud uvažujeme jmenovité provozní podmínky, pak výsledná účinnost je maximální též optimální. [1]

	Dosahované účinnosti	
	Výkon	
	do 100kW	nad 100kW
Turbína	0,65 - 0,85	0,75 - 0,93
Převod	0,80 - 1,00	0,80 - 1,00
Generátor	0,70 - 0,95	0,75 - 0,98
Transformátor	0,90 - 0,95	0,99 - 1,00
Celková účinnost	0,50 - 0,70	0,60 - 0,80

Tab. 3.3 Srovnání účinností jednotlivých komponentů MVE [1]

- *Ztráty energie v turbíně*

Rozdíl mezi teoretickým výkonem a mechanickým výkonem na hřídeli je dán ztrátami v turbíně, které jsou složeny ze tří typů ztrát a to z:

- *Objemových ztrát*
- *Hydraulických ztrát*
- *Mechanických ztrát*

- *Objemové ztráty*

Zanedbáme-li vnější průsaky, protéká mezi vstupem a výstupem turbíny průtok Q . Průtok, který neproteče lopatkovým prostorem oběžného kola, představuje objemové ztráty. To znamená, že podstatná část průtoku se zpracovává v turbíně a zbytek například uniká spárami těsnících labyrintů, spárami mezi lopatkami kola, nebo u diagonálních a axiálních turbín může unikat průtok, spárami mezi lopatkami a skříní.

- *Hydraulické ztráty*

Tyto ztráty jsou způsobeny třemi různými příčinami. Jednak jsou způsobeny vazkou kapalinou, která obtéká technologicky drsné plochy, jednak vnikají v důsledku existence místních ztrát v turbíně, které jsou způsobeny náhlou změnou proudění kapaliny a v poslední řadě tyto ztráty vznikají změnou průtočného průřezu. Dále do nich lze zařadit místní ztráty, což jsou ztráty způsobené nesprávným vstupem kapaliny do lopatkové mříže oběžného kola.

- *Mechanické ztráty*

K těmto ztrátám dochází třením v ucpávce hřídele. Dále vznikají v radiálním a axiálním ložisku a třením vnějšího povrchu oběžného kola o kapalinu. V důsledku působení mechanických ztrát, dochází ke snížení výkonu na hřídeli, právě o velikost těchto ztrát.

Uvedené typy ztrát je obtížné navzájem oddělit a určit, ale největší z těchto ztrát jsou ztráty hydraulické. Poměr a velikost ztrát, závisí na typu a velikosti použité turbíny a na jejím provozním stavu. [1]

3.2.4.2.1 Klasifikace vodních turbín

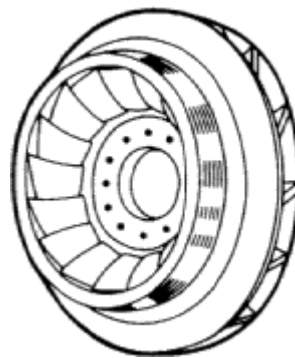
Rozmanitost hydroenergetiky vyžaduje použití různých druhů, výkonů, rozměrů a konstrukčního řešení vodních turbín. Parametry turbíny, bývají určeny podle terénu a hydrologických podmínek v místě instalace vodní turbíny. Vzhledem k rozmanitosti těchto faktorů, existuje poměrně velký počet typů vodních turbín, které jsou používány v rozličných variantách konstrukčního řešení a projekčního uspořádání.

Vodní turbíny lze kategorizovat podle toho, jak voda turbínou protéká, přičemž je oběžné kolo vlastní pracovní částí turbíny. V otáčející se kruhové části lopatkové mříže, dochází k procesu přeměny hydraulické energie vody na mechanickou energii rotující lopatkové mříže. U přetlakových turbín vtéká voda z pevných zakřivených rozváděcích kanálů do kanálů oběžných, které jsou zakřivené v opačném smyslu než kanály rozváděcí. U druhého typu turbín, tedy u rovnotlakých turbín, vtéká voda z dýzy, popřípadě okolo regulační klapky nebo segmentu, do vhodně zakřivených oběžných kanálů. K otáčení oběžného kola turbíny, dochází působením proudu vody na zakřivené oběžné lopatky, přičemž se v oběžném kole mění směr proudu vody. Poté lopatky ustupují pod působením proudu vody. Tím dochází k otáčení vlastního kola turbíny a voda tak koná práci. Podle směru proudění vzhledem k ose otáčení, se turbíny dělí na:

- *Radiální odstředivé – voda proudí mezi lopatkami oběžného kola směrem od hřídele*
- *Radiální dostředivé – voda zde proudí opačně, tedy směrem k hřídeli*
- *Radiálně axiální – proudění je nejprve kolmé na osu, poté mění směr na zhruba osový*
- *Diagonální – voda protéká oběžným kolem šikmo k hřídeli*
- *Axiální – proudění je u tohoto typu rovnoběžné s osou hřídele*
- *Tangenciální – na lopatky oběžného kola, natéká voda ve směru tečny ke kružnici, se středem na ose rotace kola*
- *S dvojnásobným průtokem – do oběžného kola vstupuje voda dostředivě a vystupuje z něj odstředivě*
- *Se šikmým průtokem – na lopatky oběžného kola natéká voda z boční části a vytéká v osovém směru ven [1]*

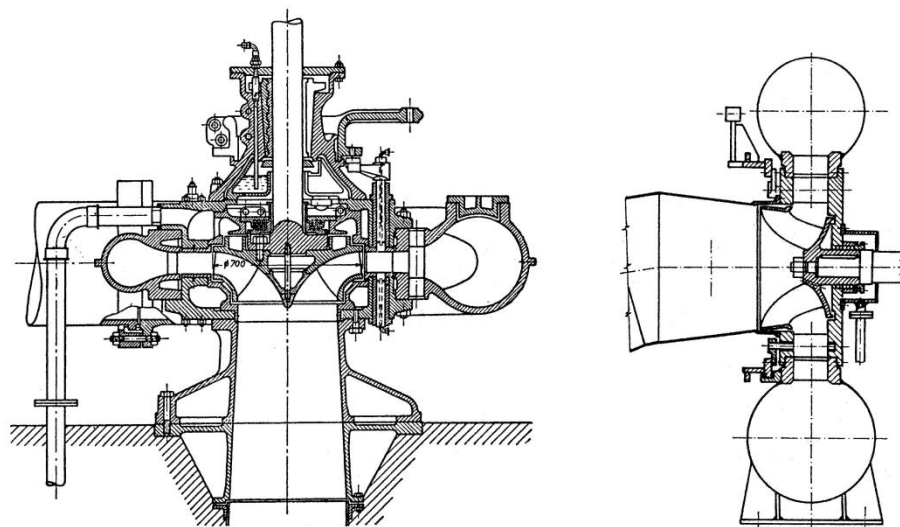
- *Francisova turbína*

Nejdéle používaným typem turbíny je právě přetlaková, radiálně axiální Francisova turbína. Oběžné kolo se skládá s pevných oběžných lopatek, které jsou propojeny s věncem a nábojem kola, což je znázorněno na Obr. 3.5. Pracovní kapalina, během průchodu turbínou, mění tlak a přitom odevzdává svou energii. Jako regulační člen se používá rozvaděč s natáčivými rozváděcími lopatkami, který řídí regulační mechanismus. Celý mechanismus turbíny se obvykle skládá z vysokotlakého přívodu, rozváděcích lopatek, samotné turbíny a nízkotlaké savky, která je tvarována tak, aby voda na výstupu měla co nejmenší rychlost.



Obr. 3.5 Francisova turbína [8]

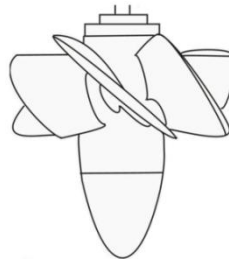
Řešení Francisovy turbíny vycházelo z Howdovy turbíny. K té byla přidána regulace průtoku a dále zdokonalena Francisova turbína pak dosahuje celkové účinnosti kolem 90%. Používá se v MVE pro spády od 1,5 do 5 m a průtoky v rozsahu $0,1 \text{ m}^3/\text{s} - 10 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento typ turbíny se vyskytuje v provedení vertikálním nebo horizontálním. [1] [9]



Obr. 3.6 Zleva Francisova vertikální a horizontální turbína [1]

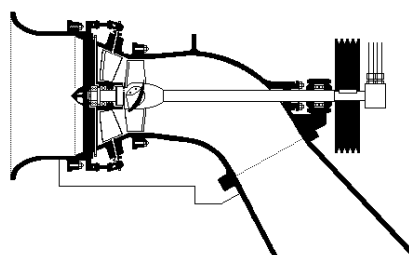
- *Kaplanova turbína*

Jedná se o přetlakovou axiální turbínu, kde oběžné kolo nemá vnější oběžný věnec, protože má oběžné lopatky upevněny natáčivě v náboji kola. Náboj má tvar zjednodušeně válcový s částí kulové plochy, což představuje vhodný tvar náboje, který je vidět na Obr. 3.7.



Obr. 3.7 Kaplanova turbína [1]

Uvnitř náboje kola se nachází mechanismus, který natáčí lopatky turbíny a osa čepů lopatek je kolmá na osu náboje. Mechanismus natáčení lopatek umožňuje plynulé natáčení lopatek za provozu turbíny. Rozvaděč může být řešen několika způsoby a to radiálně, diagonálně a téměř axiálně. Obsahuje natáčivé rozváděcí lopatky, které jsou ovládané vlastním regulačním mechanismem. Regulace obou typů lopatek probíhá současně a jedná se o synchronní regulaci. V nově vybudovaných, malospádových MVE se lze nejčastěji setkat s provedením S-Kaplan (Semi-Kaplan), které je znázorněno na Obr 3.8. Používá se hlavně proto, že dokáže, např. oproti vertikální Francisově turbíně, lépe využít vodní tok. Turbína dosahuje účinnosti až 86%. Je vhodná pro spády od 1,5 až do 5,5 m, ale nejčastěji se používá na spády od 2 do 4 m. Tato koncepce turbíny dokáže zpracovat průtoky od 0,25 - 6 m³/s. Ideální je pak vodorovné vyvedení hřídele. Díky tomu se může generátor umístit nad hladinu vody, která by vznikla zatopením spodního prostoru MVE a generátor pak zůstane při zatopení nepoškozen. Složitost mechanického ovládní obou typů lopatek, nepříznivě zvyšuje cenu celé turbíny. Proto se používá u MVE bez akumulace vody a v místech, kde velké kolísání průtoku zabraňuje použití jednoduššího soustrojí, v důsledku vzniku velkých ztrát. [1] [10]



Obr. 3.8 Kaplanova S - Turbína [16]

- *Peltonova turbína*

Peltonova turbína spadá do kategorie rovnotlakých, tangenciálních turbín. Oběžné kolo se skládá s dvojíých, pevně přichycených korečků, bez jakékoliv regulace, což připomíná korečkové vodní kolo, viz Obr 3.9. Voda do nich vstupuje v paprsku, který má kruhovitý tvar, z dýz, kterých může být od jedné do šesti.

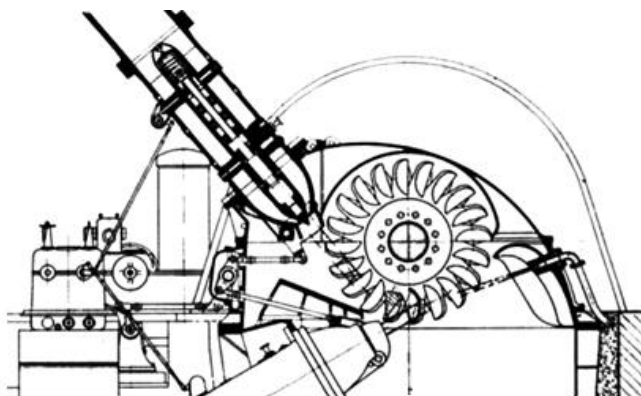


Obr. 3.9 Peltonova turbína [11]

Spád vody se v dýze mění na pohybovou energii. Vstříkovaná voda pak vstupuje tangenciálně na lžicovité lopatky, kde se uprostřed nachází rozdělovací paprsek, který svou konstrukcí lopatek otáčí směr proudu vody zpět oproti směru vstříkované vody. Tímto způsobem předává voda svou energii oběžnému kolu turbíny. Voda pak s minimální rychlostí vytéká z lopatek, na vnější straně, a volně padá do stran a následně do odpadu pod turbínou.

Tento typ turbíny se používá pro malé množství vody při velkém spádu. Je tedy používána pro spády od 30 do 200 m a průtoky $0,01 - 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ s účinností 80 - 85%. Při malé odchylce od jmenovitých otáček, ztrácí turbína rychle svou účinnost. Regulace turbíny spočívá v zasouvání jehly do dýzy, tím dochází ke změně průtoku vody.

Turbína je jednoduchá na výpočet, není náchylná na kavitaci, výrazně okysličuje vodu, a jelikož má ložiska mimo pracovní prostor turbíny, nedochází ke kontaktu s vodou a tato turbína může být použita ve vodárenských nádržích. [1] [13]



Obr. 3.10 Peltonova turbína s dvoudýzovým přívodem [12]

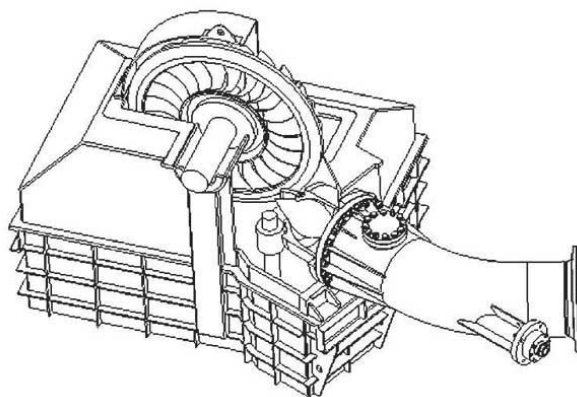
- *Turgo turbína*

Tento typ turbíny není příliš rozšířen. Turbína Turgo vychází z Peltonovy turbíny, má i podobné vlastnosti, ale je konstrukčně jednodušší, méně finančně nákladná a technologicky nenáročná. Používá se při velkých spádech, větších než u Peltonovy turbíny a malých průtoků vody. Může tedy pracovat na spádu od 10 do 300 m a průtoku od 0,01 do 3,2 m³/s. Lze ji zařadit mezi Francisovu a Peltonovu turbínu. Je velmi náchylná na dodržení pracovních otáček. Pokud dojde k malé odchylce, turbína rychle ztrácí na účinnosti. Ta se při plnění lopatek v rozmezí 40 - 100% pohybuje okolo 85 – 90%.



Obr. 3.11 turbína Turgo [14]

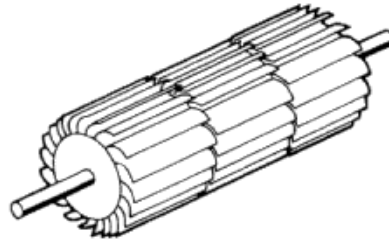
Voda je k turbíně přiváděná, stejně jako u Peltonovy turbíny, pomocí dýz, ale voda se nedělí do dvou lopatek, ale narazí na horní část lopatky a sklouzne po ni do odtoku. Regulace probíhá také stejně jako u Peltonovy turbíny, a to pomocí zasouvání jehly do dýzy. Nevýhodou této konstrukce je část ztraceného spádu. Aby se tato ztráta co nejvíce minimalizovala, leží oběžné kolo poměrně blízko u spodní hladiny, proto je velmi náchylná na vzestup spodní hladiny vody. Pokud bychom použili Turgo turbínu na malých spádech, musí se turbína doplnit převodem, neboť dosahuje malých otáček. [14]



Obr. 3.12 turbína Turgo s jednou přivodní dýzou [15]

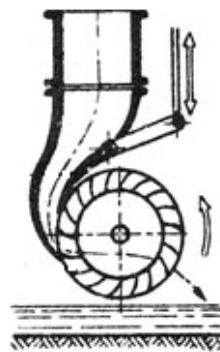
- *Bánkiho turbína*

Bánkiho turbína je dvojnásobně, příčně protékanou turbínou s parciálním ostřikem. To znamená, že oběžné kolo je dvojnásobně protékáno vodou. Lopatky oběžného kola jsou z kruhově prohnutých desek, které se nacházejí mezi paralelními kotouči, a uspořádání turbíny bývá horizontální. Regulace probíhá již v přiváděči pomocí klapky umístěné ve vtokovém tělese.



Obr. 3.13 Bánkiho turbína [17]

Tento typ vodní turbíny dosahuje účinnosti od 78 do 84%. Rozsah použití turbíny, je u spádu od 2 do 30 m a u průtoku $0,02 - 2 \text{ m}^3/\text{s}$. Voda je přiváděna kruhovým potrubím a pomocí muzikusu je měněn kruhový tvar proudu vody na obdélníkový a na konci je umístěna regulační klapka. Mezi klapkou a stěnou potrubí dochází k přeměně spádu na pohybovou energii a voda vstupuje tangenciálně na hustě osazené oběžné kolo. Lopatky kola pak odklánějí proud vtékané vody do středu oběžného kola a při tom dochází k předání energie. V tomto první cyklu dochází k předání zhruba 79% pohybové energie z celkového výkonu. Takto nasměřovaný proud vody projde kolem hřídele turbíny a podruhé vstupuje do lopatek turbíny. Tam je donucen opět změnit směr a tím předat zbytek své energie a odtéká pod oběžné kolo. Bánkiho turbína je vhodná pro malé toky a tam, kde v minulosti bylo kolo s horním nátokem. Jedná se o jednoduchou, snadno realizovatelnou turbínu s dobrou účinností i při drobných nepřesnostech. Lze ji dobře přizpůsobit hydroenergetickým podmínkám v dané lokalitě MVE. [1] [18]



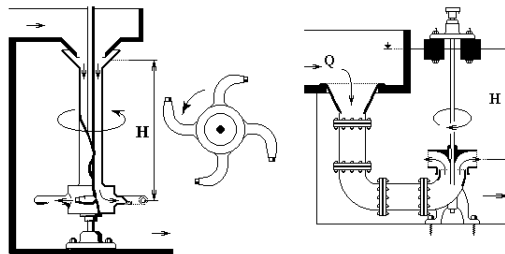
Obr. 3.14 Princip Bánkiho turbíny [19]

Kromě výše uvedených typů vodních turbín, se v MVE využívají další druhy turbín. Některé jsou méně známé, jiné jsou modifikací výše uvedených známějších typů turbín.

Henschel – Jonvalova turbína, je axiální, přetlaková vertikální turbína, která je regulována pomocí škrcení vody na výstupu. Používá se na spády od 0,6 do 40 m a hltnost turbíny je kolem $22 \text{ m}^3/\text{s}$. Dosahuje výkonu 1,1 MW s účinností 85%.

Girardova turbína představuje rovnotlakou vertikální turbínu s axiálním průtokem. Je použitelná na spády v rozmezí 0,5 až 50 m a nejvýkonnější turbíny dosahují výkonu 1,5 MW a hltnosti $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Turbína dosahuje účinnosti 80%.

Segnerovo kolo je přetlaková vertikální turbína bez rozvaděče. Dosahuje malé účinnosti v rozsahu 30 – 40%. Voda je přivedena středem turbíny a na obvodu oběžného kola vytéká z několika dýz ven. Tím dochází ke vzniku reakční síly v opačném směru, která otáčí turbínou. Prvotní návrh s přivedením vody ze shora, působil malé využití spádu a byl nevhodný. Proto se přešlo k praktičtějšímu řešení, kdy je voda přiváděna ze spodu oběžného kola. Tím bylo možné stroj nasazovat i na větší spády. Stroj se nedočkal masového nasazení, ale byl vývojovým stupněm pro moderní přetlakové turbíny. [20]



Obr. 3.15 Segnerovo kolo, zleva s horním a spodním nátokem vody [20]

Všechny výše uvedené typy vodních turbín nejsou konečným seznamem všech možných typů konstrukce vodních motorů. O typu a provedení turbíny pro MVE vždy rozhodují parametry vybrané lokality. Při provozu vodních turbín, kromě ztrát, může dojít i k opotřebení lopatek turbíny v rámci takzvané kavitace.

3.2.4.3 Kavítace v turbínách

Kavitací nazýváme souhrn nepříznivých jevů při proudění vody, které způsobují podtlaky a dochází k narušování obtékaných materiálů. Tento nepříznivý jev lze odstranit zabráněním tvoření podtlaků. Ale právě vznik podtlaku, pod oběžným kolem turbíny, umožňuje zvýšit využití kinetické energie vody. Proto se přidávají k turbínám savky, které naopak pod turbínou zvyšují podtlak. Při návrhu a konstrukci savky se nesmí překročit kavitační mez, právě pro to, aby nevznikala kavítace. [1]

3.2.4.4 Regulace vodních turbín

Regulace provozu vodní turbíny je dána především hydrologickými vlastnostmi vodního díla a dále pak poptávkou po elektrické energii, získané z provozu MVE. Hydrologické vlastnosti jsou dány především spádem a průtokem, přičemž s rostoucím průtokem klesá spád. Využití energie vody závisí na možnostech vodní turbíny.

V poměrně krátkém regulačním průběhu, za účelem změny výkonu turbíny, se prakticky nemění spád turbíny. K regulaci výkonu turbíny lze využít změnu průtoku Q . Ten lze nejčastěji měnit změnou průřezu přívodu vody a to rozváděcími lopatkami, nebo pomocí klapek a regulací dýzy. Dále lze průtok měnit pomocí zdvižení regulačního stavidla, změnou výšky přepadové hrany stavidla nebo pomocí různého počtu otevřených kanálů v kulise.

Nejčastější chybou regulace, je regulace pomocí částečného přiškrcení jiného uzavíracího orgánu. Dochází pak ke snížení rychlosti proudění a prudce klesá účinnost. [1]

3.2.4.5 Určení počtu turbín

Počet použitých turbín úzce souvisí s typem použité turbíny. Protože turbíny, z poměrně plochou křivkou pracovních charakteristik, je možno regulovat v širším rozsahu, bez změny jejich účinnosti a může se tedy navrhnout méně turbín. To platí především u Kaplanovy, Peltonovy a pomaluběžné Francisovy turbíny. Oproti tomu u turbín, které mají strmé pracovní charakteristiky, je výhodnější navrhnout více turbín a dle potřeb jednotlivé turbíny odstavovat. Pak lze hovořit o skokové regulaci MVE.

Při návrhu počtu turbín u průtočných MVE bez akumulací nádrže, je určujícím parametrem velikost a doba nejmenších přítoků na elektrárnu. To znamená, že pokud je velké kolísání přítoku na MVE, volí se raději větší počet a s různou velikostí turbín, než u stabilnějšího přítoku. Tímto způsobem se dá dosáhnout stabilní a poměrně vysoké účinnosti malé vodní elektrárny.

Důležitým hlediskem, při návrhu počtu soustrojí, je ekonomické hledisko. Pak je vhodnější menší počet, větších turbín, ale velikost turbín je omezena technickými možnostmi MVE. Proto musí být výběr a počet vodních motorů, doložena ekonomickým rozbohem, nejlépe závislostí nákladů a zisků z výroby MVE.

Dalším parametrem pro počet turbín je i velikost samotné vodní elektrárny. Například u mikrozdvořů, lze navrhnout pouze jednu turbínu a u větších děl bývá minimální počet turbín stanoven na dvě. [2]

3.2.5 Generátory používané v MVE

Součástí elektrické výbavy MVE jsou generátory, které jsou zdrojem v malých vodních elektrárnách. Nejčastějším typem generátoru, pro malou vodní elektrárnu, jsou synchronní, nebo asynchronní generátory.

- *Asynchronní generátor*

Asynchronní stroj lze charakterizovat jako trojfázový indukční stroj, který je uspořádaný tak, že po připojení na síť v něm vzniká točivé magnetické pole. Pokud asynchronní stroj pracuje jako generátor, znamená to, že přeměňuje mechanickou energii na energii elektrickou. Toho lze dosáhnout roztočením hřídele rotoru na vyšší než synchronní otáčky. Indukované napětí a proudy v rotoru mají opačný smysl a stroj pak dodává činný elektrický výkon do sítě.

Jsou to jednoduché a levné generátory, které však odebírají ze sítě jalovou energii a ta musí být následně kompenzována statickými kondenzátory. Kompenzace se provádí pro zlepšení přenosových poměrů v síti. U asynchronních generátorů s výkonem vyšším než 35 kW, je povinné kompenzování jalového odběru připojením kompenzačních prvků přímo na svorky generátoru. Jakmile soustrojí najede nad synchronní otáčky, začnou tyto generátory dodávat činný výkon do sítě. Pokud by poklesli otáčky soustrojí pod synchronní otáčky, začal by se generátor chovat jako motor.

Jednotlivé typy těchto generátorů se liší podle elektrického a mechanického provedení. Používají se dva typy asynchronních generátorů a to s kotvou na krátko a s kroužkovou kotvou. Kotva nakrátko je uspořádána tak, že v drážkách rotoru jsou uloženy nejčastěji hliníkové, vodivé tyče, které jsou spojeny na čelních stranách kruhy na krátko. Kroužková kotva obsahuje trojfázové, měděné vynutí spojené do hvězdy. Na hřídeli stroje jsou pak nalisované tři kroužky, ke kterým vedou vývody z vinutí rotoru. K těmto kroužkům přiléhají pevně osazené kartáče, které umožňují vyvedení vinutí na svorkovnici stroje.

Spuštění a připojení generátoru probíhá tak, že se při uzavřeném přívodu vody, připojí generátor k síti. Generátor začne pracovat jako motor a dosáhne synchronních otáček. Poté se pozvolna otevírá přívod vody k turbíně a začnou se zvyšovat otáčky hřídele až nad synchronní otáčky a generátor začne dodávat energii do sítě. Nevýhodou asynchronních generátorů jsou nebezpečné stavy. Ty vznikají při přechodových jevech v síti, které sebou přinášejí možnost vzniku přepětí elektrického proudu, při překompenzování jalové energie. [1] [2] [21]

- *Synchronní generátor*

Synchronní stroj je uspořádán tak, že jeho statorové třífázové vnutí, po připojení na síť, vytváří točivé magnetické pole. Rotor je tvořen stejnosměrným elektromagnetem, buzeným z obvodů stejnosměrného napětí, který vytváří magnetické pole, které se synchronně otáčí s magnetickým polem statoru.

Oproti asynchronním generátorům, je tento typ generátoru dražší, náročnější na údržbu a má větší nároky na automatizaci provozu a ochran. Při připojování na síť je zapotřebí speciálního zařízení. Jejich typické nasazení je ve velkých elektrárnách, a často se s nimi lze setkat u rekonstruovaných malých vodních elektráren. Je to proto, že MVE pracovaly dříve jako samostatné zdroje a tyto generátory mohou pracovat i bez vnější sítě a pracují tedy i při výpadku sítě. Dle počtu otáček rozlišujeme generátory rychloběžné a pomaluběžné. S rychloběžnými synchronními generátory se lze setkat v parních elektrárnách a mají hladký rotor. Pomaluběžné generátory mohou obsahovat vodní elektrárny a mají rotory s vyniklými póly.

Řídící obvody, musejí pomocí regulačních členů turbíny, udržovat synchronní otáčky na generátoru. Zdrojem pro buzení generátoru může být jakýkoliv regulovatelný stejnosměrný zdroj. Nejčastěji se používá derivační dynamo, nebo statická budící souprava. U menších generátorů s neregulovaným stejnosměrným zdrojem, lze k řízení budícího proudu použít odpor, který se zařadí do rotoru generátoru. Poté odpovídá lineární změna odporu lineární změně budícího proudu.

Pokud je synchronní generátor provozován paralelně ze sítě, pracují regulační obvody podobně, jako u generátoru pracujícího ve vyčlenění sítě. Práce regulátorů soustrojí, ale pracuje odlišně, protože otáčky soustrojí jsou udržovány sítí. Pak změna otevření turbíny, má za následek změnu činného výkonu.

Synchronní generátory malých výkonů, jsou vyráběny jako kompaktní zařízení, které obsahuje i buzení s regulátorem buzení. Zdrojem budícího proudu pak bývá realizováno z napětí svorek, pomocí kompaundního vnutí a usměrňovače. Většina generátorů je vybavena srovnávačem napětí, který zajišťuje srovnání napětí generátoru a napětí sítě při připojování generátoru na síť. S takto řešenými generátory, lze při návrhu MVE postupovat se srovnatelnou jednoduchostí jako u asynchronních generátorů.

Další výhodou těchto generátorů je, že nevyžadují žádná externí zařízení, jako například kompenzační komponenty. Při přechodových stavech a při poruchách v síti se asynchronní generátory chovají příhodněji. [1] [2]

- *Provedení a provoz generátorů*

Provoz a návrh elektrických částí malých vodních elektráren, musí splňovat platné normy v této oblasti. Dále musí dobře spolupracovat s požadavkami sítě. U radiálních typů turbín a obou uvedených typů generátorů do výkonu 2 MW, se používá přímé, mechanické spojení turbíny a generátoru bez použití jakéhokoli převodu. Využívá se jmenovitých otáček generátorů, které pro síťovou frekvenci 50 Hz činí 750, 1000 a 1500 ot. /min s počtem pólů 8,6 a 4. Jestliže má generátor např. 4 póly, znamená to, že má dvě pólové dvojice, takzvané pólpáry. Pokud známe počet pólpárů a frekvenci, jakou má síť, lze dopočítat podle vztahu (3.2) [1] synchronní otáčky generátoru.

$$n_{synch} = \frac{60 * f}{p} [ot./min] \quad (3.2)$$

Podle uvedeného vzorce vycházejí synchronní otáčky:

Typ generátoru	Počet pólů	Počet pólpárů	Synchronní otáčky [ot. /min]
dvoupólový	2	1	3 000
čtyřpólový	4	2	1 500
šestipólový	6	3	1 000
osmipólový	8	4	750

Tab. 3.4 Synchronní otáčky generátorů při frekvenci 50 Hz [1]

U malých vodních elektráren do výkonu 2 MW s použitou axiální turbínou, se výhradně instalují asynchronní generátory se jmenovitými otáčkami 1000 ot. /min.

Elektrické napětí generátorů je závislé na jeho výkonu. Napětí nad 6 kV se u malých vodních elektráren nepoužívají. Tloušťka izolace by pak znamenala zhoršení účinnosti a vyšší pořizovací náklady. [1]

Parametry generátoru	Hodnoty parametrů generátoru		
Napětí U [V]	380	3 000	6 000
Výkon P [kW]	do 1 500	1 500 – 2 500	nad 2 500

Tab. 3.5 Vztah mezi napětím a výkonem generátoru [1]

3.2.5.1 Regulace MVE

Regulace MVE se nejčastěji provádí na straně turbíny za pomoci takzvané hladinové regulace, která se provádí třemi způsoby.

První způsob pracuje na principu skokové regulace, kdy hladinová čidla v závislosti na výšce hladiny před turbínou, zastavují nebo spouštějí soustrojí. Druhý způsob vychází z předešlé regulace, ale má dva výstupní okruhy. První okruh ovládá otevírání přívodu a druhý okruh zajišťuje zavírání přívodu vody k turbíně. Úkolem této regulace je udržet hladinu vody mezi elektrodami pomocí signálů od obou regulačních okruhů. Třetím způsobem regulace, je regulování pomocí tlakového čidla. Čidlo pak měří výšku vodního sloupce. Dále obsahuje čidlo na monitorování stavu otevření soustrojí. Takto koncipovaná regulace lépe monitoruje průtok vody a lépe zasahuje do provozu soustrojí. Včas reaguje na případné změny a příslušným zásahem značně omezuje počet regulačních cyklů a následně zabraňuje opotřebení regulačních členů.

Frekvence generátoru, pracujícího do sítě velkého výkonu, je udržována sítí. Pokud soustrojí pracuje samostatně, je frekvence dána rovnováhou mezi krouticím momentem turbíny a momentem elektrické zátěže.

Ojedinele se lze setkat s regulací na straně elektrického generátoru. Ta pak u samostatně pracujících generátorů probíhá tak, že se nevyužitá energie maří na zatěžovacích odporech. Tento druh regulace patří do ztrátové regulace a je používána jen ve vhodných případech a u průtočných MVE o výkonu menším než 0,5 MW. [1] [22]

3.2.5.2 Napojení MVE na síť

Připojení do sítě musí být projednáno s majitelem sítě již při projektování MVE. Důležitou částí je takzvané připojovací místo, kde jsou umístěna měřící zařízení, která zaznamenávají vyrobenou a spotřebovanou elektrickou energii. V tomto místě musejí být dodrženy všechny parametry, které jsou uvedeny v normě ČSN 33 3430.

Problémem, při připojení MVE na síť, bývá návrh selektivního jištění. Při navrhování jištění, se musí počítat s nárůstem budícího proudu při spínání asynchronního generátoru, který dosahuje 6ti – 9ti násobku jmenovitého proudu. Dále je při návrhu přístrojového vybavení důležité respektovat provozní podmínky, charakteristické pro MVE. Při dimenzování vývodu je nutné počítat i s možným zkratovým proudem generátoru.

Případný negativní vliv MVE je tím menší, čím větší je výkon sítě v místě, kde je vyveden výkon MVE v poměru k výkonu připojovaného generátoru. [1]

4 Popis, návrh a zhodnocení MVE v uvažované oblasti

Na následujících stránkách jsou popsány dvě stávající MVE, které jsou v provozu. Jedná se o MVE Nižbor, která je v provozu od konce roku 2012 a MVE Hýskov, která zahájila provoz v roce 2010. U druhé zmíněné MVE, je zde uveden tříletý provoz a porovnání s teoretickou možnou výrobou elektrické energie. Dále je zde proveden výpočet dvou neobsazených lokalit, konkrétně jezu Kaceřov a jezu Liblín.

4.1 Popis malé vodní elektrárny Nižbor

Stavba MVE Nižbor byla zahájena 5. března 2012 a do provozu byla uvedena 15. prosince 2012. Jedná se tedy o novou malou vodní elektrárnu na jezu Nižbor. Celkový rozpočet činil 35 mil Kč [27]. Elektrárna včetně vtoku a jezu je zobrazena na obrázku 4.1.



Obr. 4.1 MVE Nižbor [31]

Elektrárna funguje v automatickém provozu. Obsluha se stará o kontrolu, údržbu elektrárny a čištění česlí. MVE Nižbor, díky modernímu provedení, nabízí možnost dálkové kontroly pomocí GSM modulu a to pro každou turbínu samostatně. Elektrárna je vybavena dvěma kaplanovými turbínami, od firmy Mavel. Celková vyrobená energie k datu 2. 3. 2013 činí 98,16 MWh_e za dobu provozu 1 520 hod.

4.1.1 Popis vnějších částí MVE Nižbor

- *Vtok*

Vtok začíná třemi stavidly. Stavidlo je nejdůležitější částí vtokového objektu. Je osazeno hrubými česlemi, takže chrání elektrárnu před vtokem předmětů, plujících ve vodě, nebo proti krám a zmrazkům. Dále obsahuje plašiče ryb, které mají za úkol odhánět ryby, aby nedošlo k jejich nasátí do turbíny. Do jisté míry zajišťuje stavidlo regulaci množství vody, vtékané k turbíně. K manipulaci se stavidlem jsou určeny třífázové motory a příkonu 550 W. Poté následuje samotný nátok, kde je umístěno stavidlo jalového odtoku. To se využívá například k odstranění menších ledů, které proniknou přes hrubé česle nebo při opravě MVE.



Obr. 4.2 Stavidla s hrubými česlemi [31]

Před vstupem vody do nátoku turbín jsou nainstalovány jemné česle. Ty jsou opatřeny hydraulickými hrabadly. Ta jsou ovládána zevnitř MVE pomocí hydrauliky. Zatím pracují na základě časového intervalu, ale do budoucna jsou plánovány takové úpravy, aby hrabadla pracovala podle výšky hladiny před jemnými česlemi. Systém hrabadel dále nabízí i ruční obsluhu. Tu lze realizovat zmáčknutím tlačítka, které se nachází na vnější zdi. Vtok s česlemi a hrabadly je znázorněn na Obrázku 4.3.



Obr. 4.3 Vtok s jemnými česlemi [31]

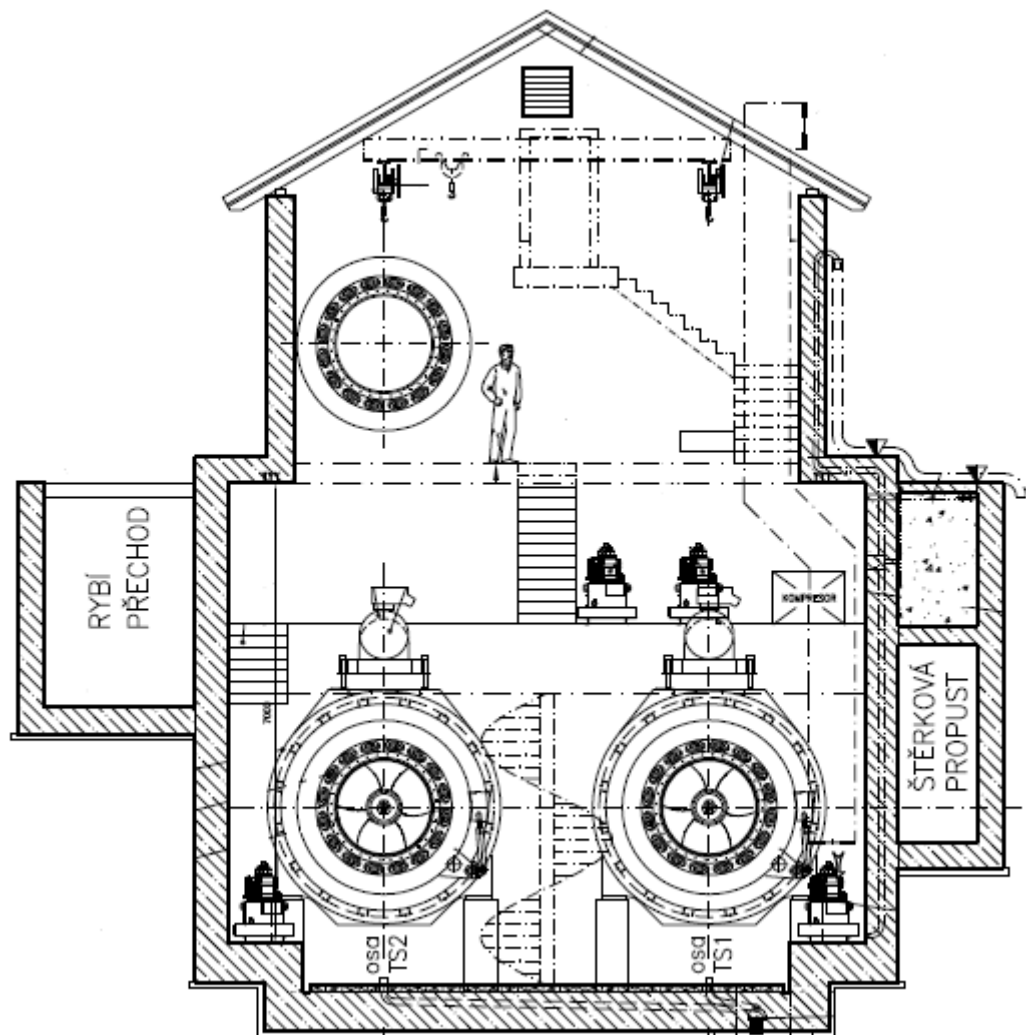
- *Výtok*

Výtok z turbíny obsahuje šachty, pro kontrolu turbín. To se provádí odstavením elektrárny, zahrazením výtoku a odčerpáním vody ze savky. Dále je zde umístěna hladinová sonda, která se sondou umístěnou ve vtoku, reguluje průtok turbínou.



Obr. 4.4 Výtok z MVE s rybím přechodem [31]

4.1.2 Popis vnitřních částí MVE Nižbor



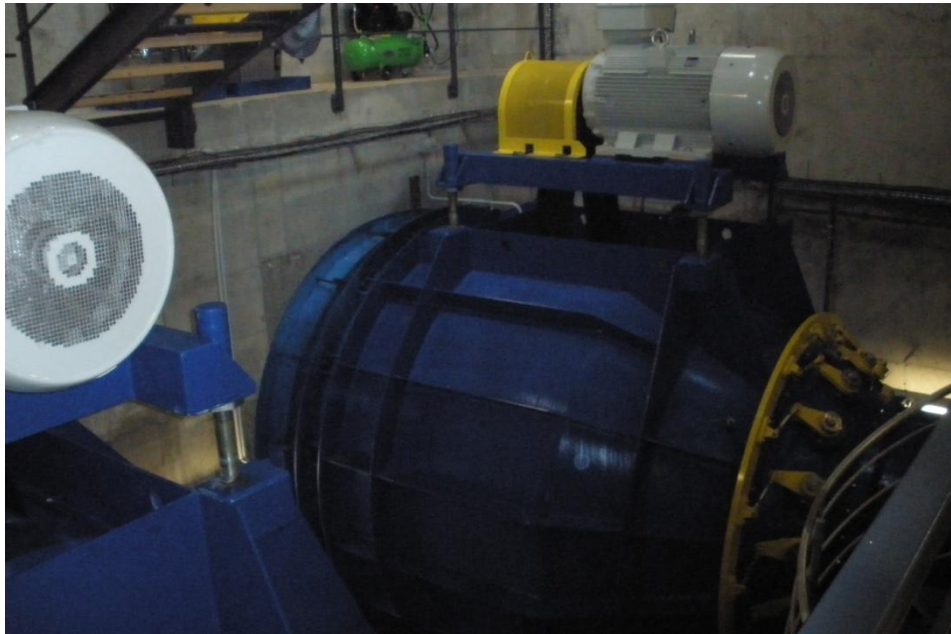
Obr. 4.5 Technický výkres vnitřního uspořádání MVE Nižbor [29]

- *Turbína*

MVE Nižbor je osazena dvěma Kaplanovými turbínami, které jsou regulovány pomocí rozváděcích lopatek, umístěných před turbínou. Turbína má jmenovité otáčky 175 ot. / min a výkon 123 kW. Je navržena na průtok $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$ a spád 1,7 m.

- *Generátor*

Obě turbíny mají k dispozici třífázový, asynchronní generátor o výkonu 115 kW. Generátory jsou přes řemen napevno spojeny s turbínami. Generátory mají na výstupních svorkách třífázové napětí 380 V při frekvenci 50 Hz. Soustrojí je pak znázorněno na Obr. 4.6.



Obr. 4.6 Soustrojí generátor turbína v MVE Nižbor [31]

- *Systém regulace*

Regulace je prováděna natáčením rozváděcích lopatek před turbínou. Provádí se pomocí žluté obruče, kterou lze vidět na Obr. 4.6. Na ni jsou potom napojeny všechny rozváděcí lopatky. Pohyb zajišťuje píst, který pohání hydraulické čerpadlo. Tento systém je ještě doplněn nádržkou se stlačeným plynem. Jedná se o bezpečnostní pojistku, která v případě výpadku napájení, zajišťuje uzavření přívodu vody k turbínám, viz Obr. 4.7.



Obr. 4.7 Zařízení pro ovládání rozváděcích lopatek [31]

4.2 Popis malé vodní elektrárny Hýskov

Stavba MVE Hýskov, byla započata 1.10.2008 a byla dokončena 31.12.2009. Celkové investiční náklady činily 35,3 mil. Kč. Za svůj tříletý provoz, k 1.1.2012, vyrobila elektrárna 5,6 GWh_e elektrické energie za přibližně 25 000 h provozu. Za tuto dobu byla několik dní odstavena kvůli povodním a údržbě. Celá elektrárna, včetně stavidla a vyvedení výkonu, je pak zobrazena o obrázku 4.8.



Obr. 4.8 MVE Hýskov [31]

MVE je osazena třemi S-Kaplanovými turbínami od firmy Hydrohrom, které jsou řemenem spojeny s asynchronními generátory. Celkový instalovaný výkon MVE Hýskov činí 270 kW. Elektrárna pracuje v automatickém režimu a obsluha jen kontroluje provoz, provádí údržbu a kontroluje průchodnost vtoku. Elektronický systém nabízí možnost kontroly stavu elektrárny pomocí modulu GSM, ale na rozdíl od MVE Nižbor, jsou zde poskytovány informace o MVE jako o celku.

Jak je z obrázku 4.8 patrné, nachází se MVE dále od stavidel. Tato vzdálenost pomáhá využít celého spádu, neboť je jez velmi pozvolný.

4.2.1 Popis vnějších částí MVE Hýskov

Skladba vnějších částí se o mnoho neliší od předchozí popisované elektrárny. Vtok je realizován třemi masivními stavidly osazenými hrubými česlemi a plašičem ryb.



Obr. 4.9 Stavidla s plašiči ryb MVE Hýskov [31]



Obr. 4.10 Vtok s hrabadly [31]

4.2.2 Popis vnitřních částí MVE Hýskov

- *Turbína*

V elektrárně jsou namontovány tři Kaplanovy s - turbíny typu Hydrohrom HH 1200 SSK. Turbíny jsou konstruované na spád 1,7 m a maximální průtok 4,5 m³/s. Výkon turbíny na hřídeli je 63 kW a otáčky 190 ot. /min.

Turbína obsahuje automatické ovládání lopatek oběžného kola, které je realizováno pomocí hydraulického servopohonu. Celková skladba turbíny se stává z vtoku, savky, turbíny a hydraulického ovládání segmentů. Samotné těleso turbíny je realizováno jako ocelový svařenec se sedmi pevnými rozváděcími lopatkami. Samotné oběžné kolo obsahuje čtyři lopatky, které jsou z lopatkové bronzy.



Obr. 4.11 Pohled na uspořádání turbín v MVE Hýskov [31]

- *Generátor*

Turbíny jsou připevněny k třífázovým, asynchronním generátorům, které dodala firma Siemens Elektromotory. Výkon jednoho generátoru činí 75 kW a otáčky 740 ot. /min. Hmotnost generátoru je pak 840 kg. Dokáže dodávat proud 140,6 A a napětí 380 V při frekvenci 50 Hz.

Generátory jsou napevno spojené pomocí řemenic a řemenů. Všechny tři asynchronní generátory nejsou umístěny nad turbínami, jako u MVE Nižbor, ale jsou připevněny na betonovém ochozu nad turbínami.



Obr. 4.12 Umístění generátorů v MVE Hýskov [31]

- *Systém regulace*

Regulování průtoku zde není realizováno natáčením lopatek rozváděcího kola turbíny, ale probíhá pomocí klapky, která je umístěna v nátku do turbíny. Vtokový průřez je široký 2,2x2,2 m, přičemž uzavíraný průřez má velikost 1,8x1,8 m. Provozní uzávěr se ovládá pomocí hydraulického, přímočarého motoru.

Při výpadku napájení dojde k havarijnímu uzavření přívodu vody na turbínu. Ta probíhá pomocí gravitace, vlastní vahou regulační klapky.

4.2.3 Tříletý provoz MVE Hýskov

Tabulka 4.1 znázorňuje celkové měsíční výkony MVE Hýskov, za tříleté období v rozmezí roků 2010 až 2012. Tyto výkony jsou stanoveny zprůměrováním každodenních výkonů na jednotlivých generátorech.

	2010 Celkový průměrný měsíční výkon [kW]	2011 Celkový průměrný měsíční výkon [kW]	2012 Celkový průměrný měsíční výkon [kW]
Leden	203,5	83,6	170,4
Únor	238,7	211,3	183,6
Březen	203,7	258,0	256,6
Duben	263,7	242,0	262,8
Květen	256,3	208,1	190,7
Červen	228,8	217,4	163,4
Červenec	172,9	228,8	203,8
Srpen	241,0	248,8	115,0
Září	228,7	230,0	178,2
Říjen	262,7	241,1	210,6
Listopad	233,9	230,0	239,6
Prosinec	172,8	235,6	197,3

Tab. 4.1 Průměrné měsíční výkony [29]

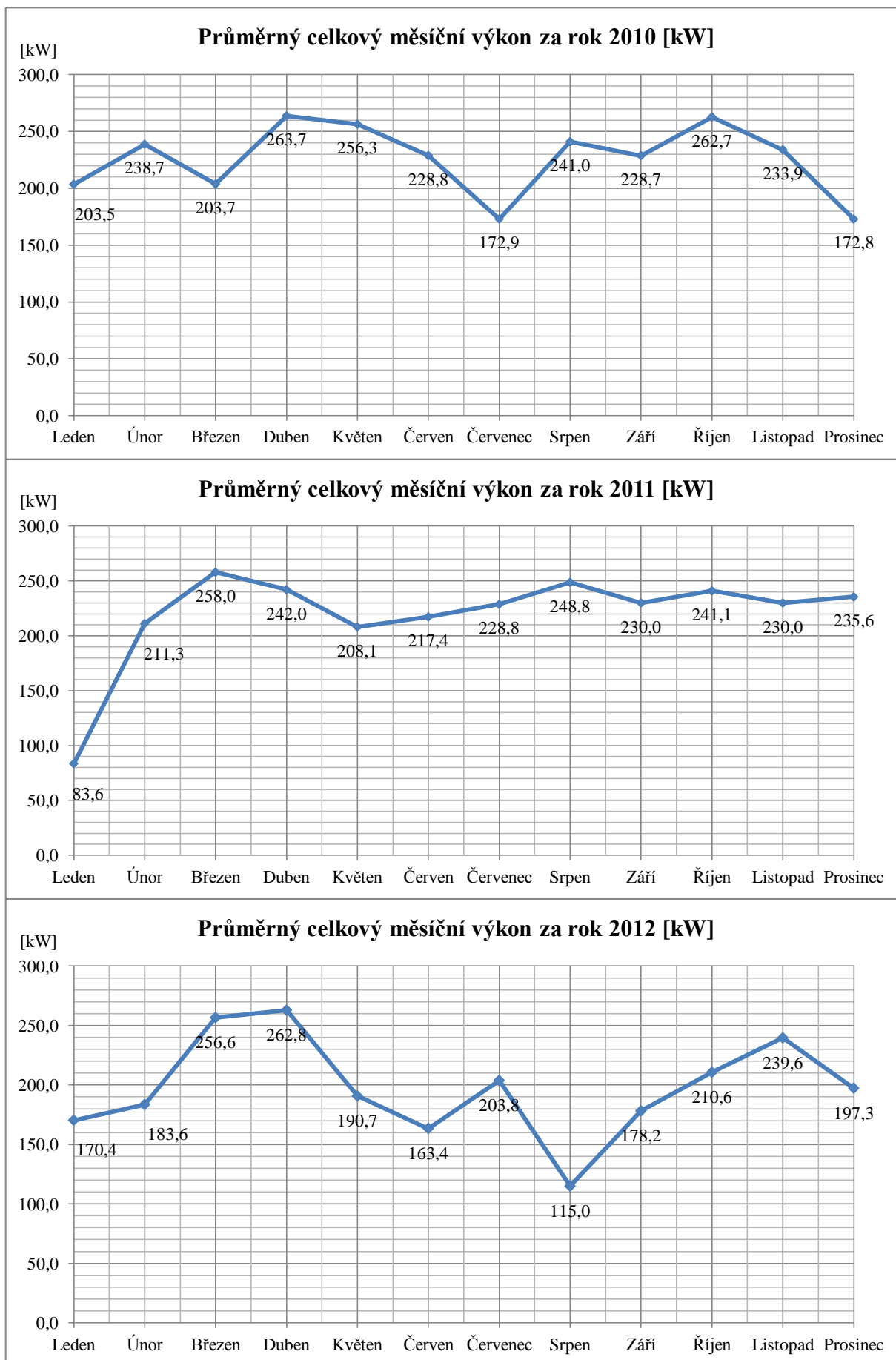
Z uvedených údajů je patrné, že za celý tříletý provoz, jsou hodnoty výkonů rozmanité. Nicméně se dá usoudit, že největších výkonů dosahuje elektrárna v podzimních a jarních měsících. Malý výkon, v lednu 2011, byl způsoben odstavením elektrárny na šestnáct dní, což zapříčinila povodeň. Snížení výkonu v lednu 2012, také zapříčinila povodeň, nicméně elektrárna byla odstavena pouze čtyři dny.

Nejvyššího výkonu bylo dosaženo v dubnu 2010, kdy se průměrný měsíční výkon pohyboval kolem 263,7 kW. Kromě výše zmíněného nejnižšího výkonu, který byl zapříčiněn povodní, byl nejnižší průměrný měsíční výkon elektrárny v srpnu 2012 a činil 115 kW.

V tabulce 4.2 jsou pak pro představu uvedeny průměrné roční výkony. Z nichž vyplývá, že celkový tříletý výkon MVE Hýskov, se pohyboval kolem 214,3 kW. Pro názornější představu je dále zobrazena grafická podoba tabulky 4.1.

Rok	2010	2011	2012
Průměrný roční výkon [kW]	225,5	219,6	197,7

Tab. 4.2 Průměrný roční výkon [29]



Graf 4.1 Průměrné celkové měsíční výkony v tříletém provozu MVE Hýskov [29]

Z průměrných denních výkonů, byla stanovena tabulka 4.3, která znázorňuje průměrnou denní výrobu v MWh_e. Tyto hodnoty byly stanoveny podle vzorce (1.1).

	2010 Průměrná denní vyrobená energie [MWh _e]	2011 Průměrná denní vyrobená energie [MWh _e]	2012 Průměrná denní vyrobená energie [MWh _e]
Leden	4,9	2,0	4,1
Únor	5,7	5,1	4,4
Březen	4,9	6,2	6,2
Duben	6,3	5,8	6,3
Květen	6,2	5,0	4,6
Červen	5,5	5,2	3,9
Červenec	4,1	5,5	4,9
Srpen	5,8	6,0	2,8
Září	5,5	5,5	4,3
Říjen	6,3	5,8	5,1
Listopad	5,6	5,5	5,8
Prosinec	4,1	5,7	4,7

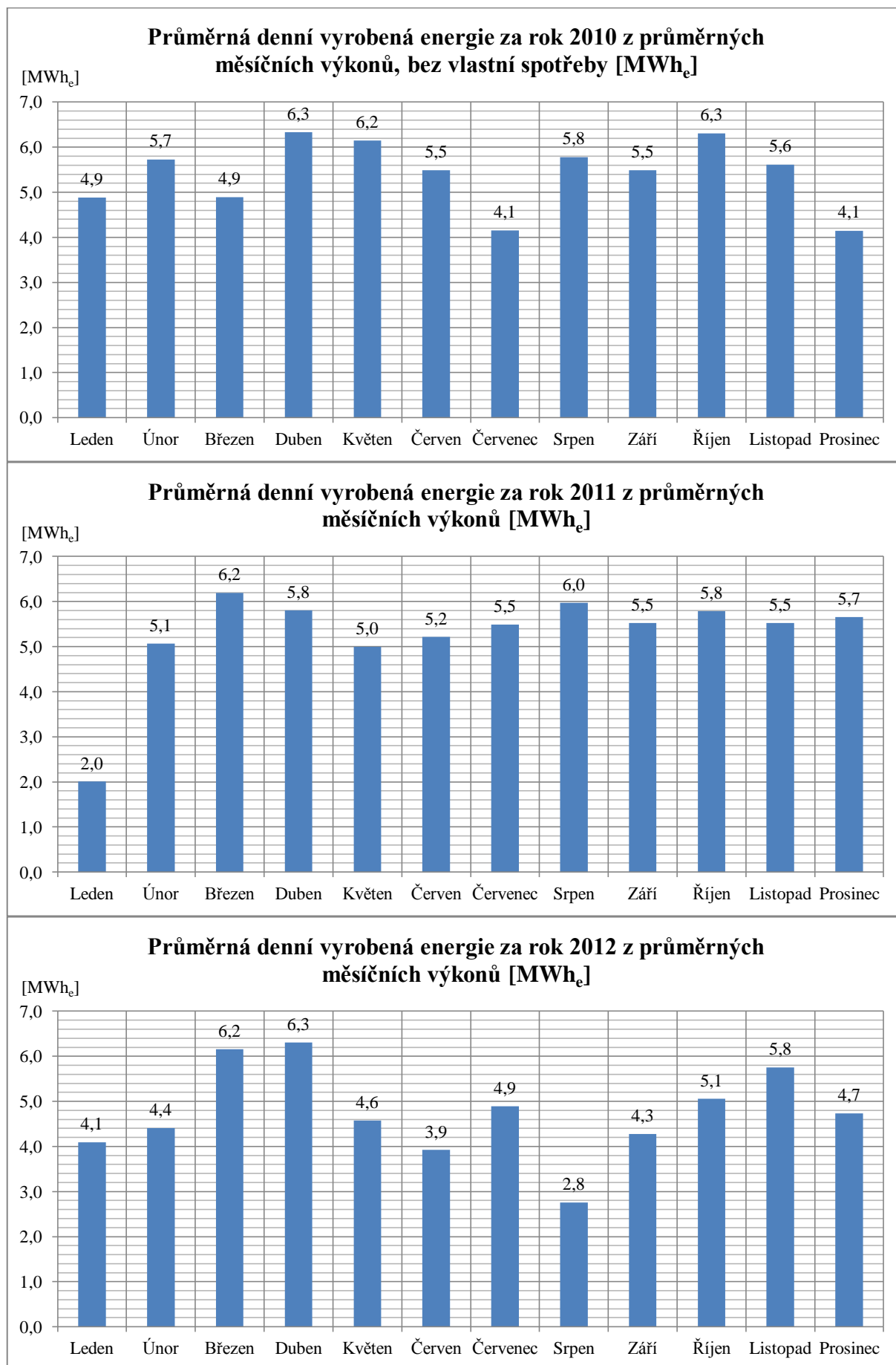
Tab. 4.3 Průměrná denní výroba [29]

	2010 Vyrobená energie [MWh _e]	2011 Vyrobená energie [MWh _e]	2012 Vyrobená energie [MWh _e]
Leden	151,4	62,2	126,7
Únor	160,4	142,0	127,8
Březen	151,5	192,0	190,9
Duben	189,8	174,2	189,2
Květen	190,7	154,8	141,9
Červen	164,7	156,5	117,6
Červenec	128,6	170,2	151,6
Srpen	179,3	185,1	85,5
Září	164,7	165,6	128,3
Říjen	195,4	179,4	156,7
Listopad	168,4	165,6	172,5
Prosinec	128,6	175,3	146,8

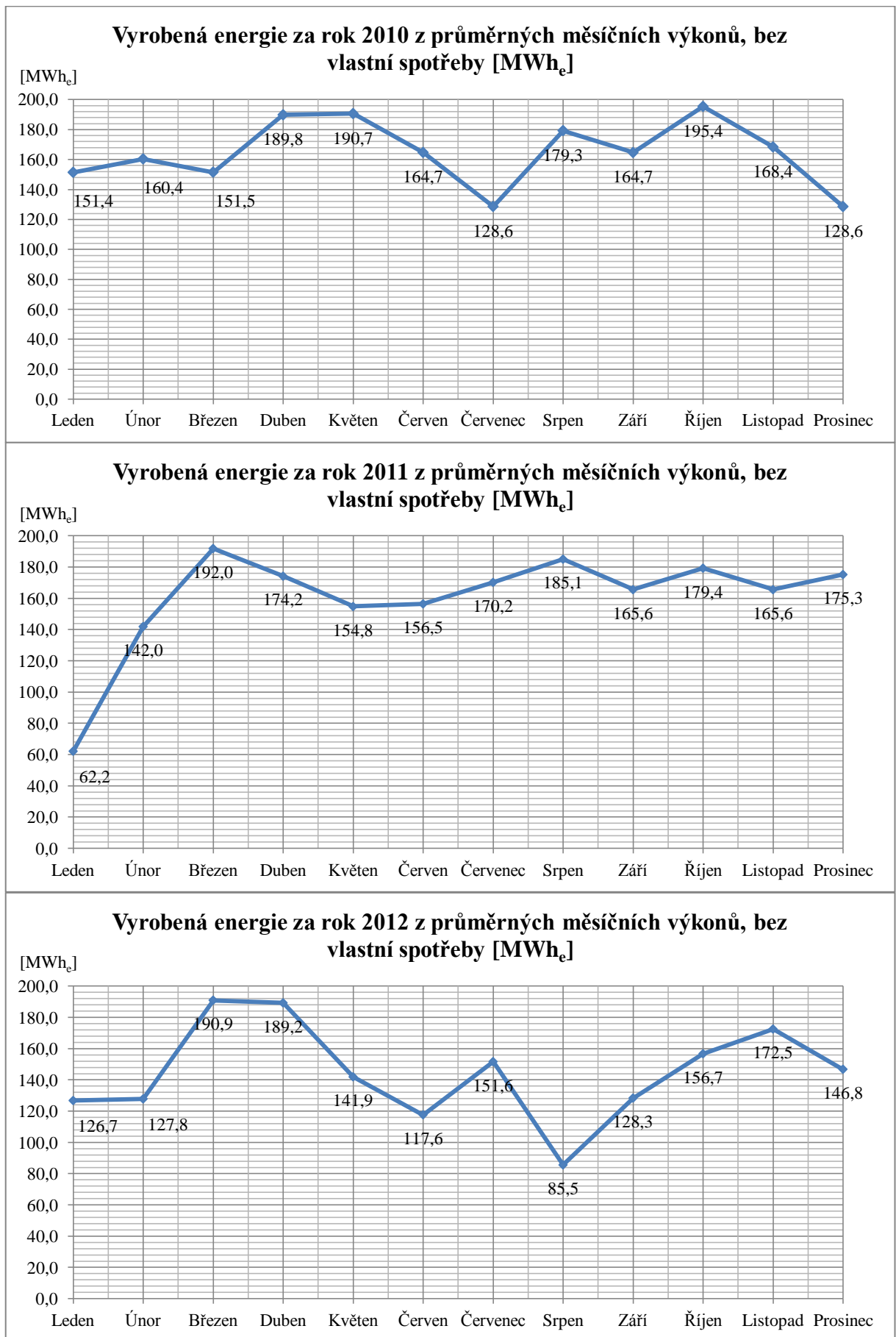
Tab. 4.4 Průměrná měsíční výroba [29]

Průměrná měsíční výroba, uvedená v tabulce 4.4, byla stanovena s denních průměrných výkonů na jednotlivých generátorech, za pomoci vzorce (1.1).

Celková vyrobená energie za období 2010–2012 činila 5 632,1 MWh_e. Uvedená výroba vychází z výkonů na generátorech a není v ní zahrnuta vlastní spotřeba, která činí 4%. Pro lepší představu je dále uvedena grafická podoba tabulek 4.3 a 4.4.



Graf 4.2 Průměrná denní výroba elektrické energie v tříletém provozu MVE Hýskov [29]



Graf 4.3 Průměrná měsíční výroba elektrické energie v tříletém provozu MVE Hýskov [29]

4.3 Stanovení hrubého odhadu výroby na jezích Kaceřov, Liblín a Hýskov

4.3.1 Hydroenergetický potenciál vodního toku

Hydroenergetický potenciál určuje, jak lze využít potenciální energii v uvažované oblasti. Rozlišují se dva druhy potenciálu a to teoretický hydroenergetický potenciál a reálně využitelný hydroenergetický potenciál. Liší se od sebe pouze v zavedení účinnosti přeměny energie vody na energii elektrickou. Její orientační hodnota činní $\eta = 0,75$. Teoretický hydroenergetický potenciál lze tedy spočítat podle vzorce (4.1) [2], kdy se vychází z účinnosti rovno jedné.

$$P = Q * H * \rho * g [W] \quad (4.1)$$

Jestliže protéká každou sekundu průtok Q [m^3/s] výškovým rozdílem H [m], pak protékající kapalina o měrné hmotnosti ρ [kg/m^3] koná každou sekundu práci. Konstanta g [m/s^2] představuje působení gravitační síly na kapalinu.

Reálně využitelný hydroenergetický potenciál zahrnuje navíc ještě ztráty na turbíně a generátoru. Vypočítá se podle vzorce (4.2) [1].

$$P = Q * H * \rho * g * \eta_t * \eta_g [W] \quad (4.2)$$

4.3.2 Základní parametry hydroenergetického díla

- *Spád*

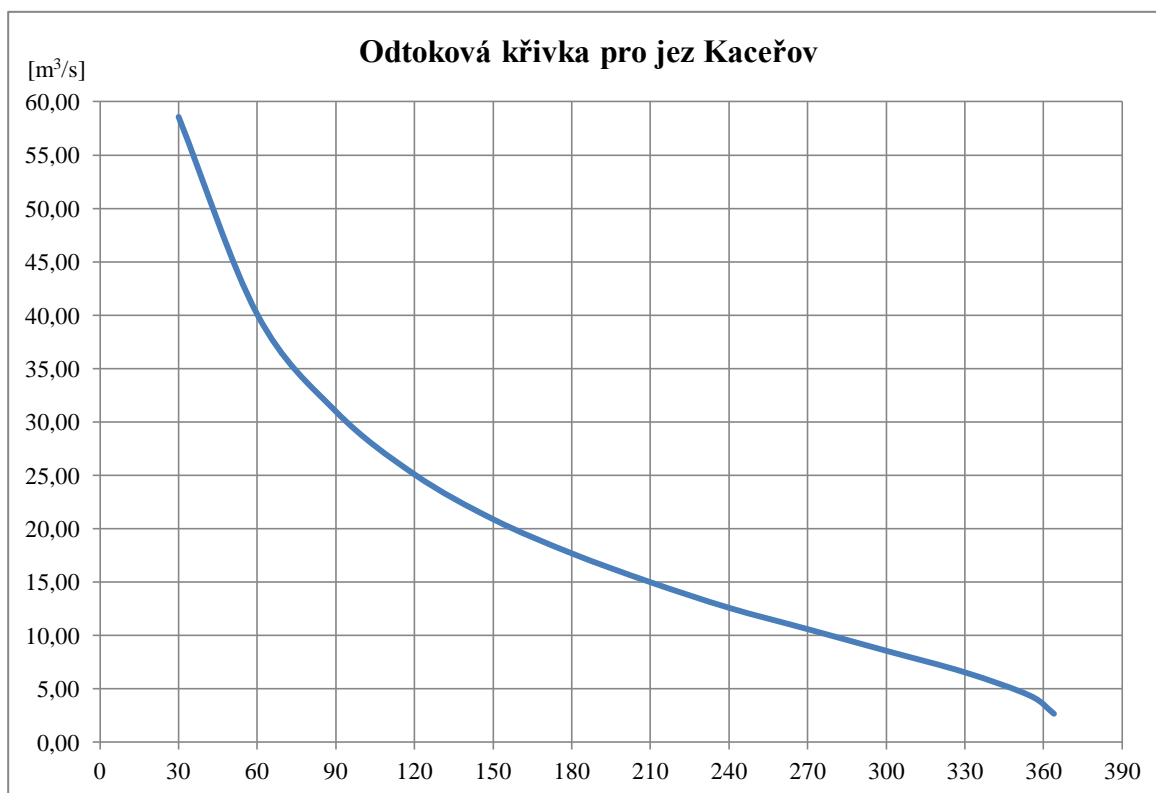
Spádem je označován výškový rozdíl hladin, před a za dílem. Je označován písmenem H a je vyjádřen v metrech. Majitel MVE smí využít spádu, mezi uvažovanými místy, podle vodního práva. Obecně je velikost spádu závislá na průtoku vody turbínou. Přesto se dá říci, že se spád během roku výrazně nemění.

- *Průtok*

Průtok značí množství vody, které proteče daným profilem za určitý časový úsek. Značí se Q a bývá vyjádřen v metrech krychlových za sekundu. Průtok turbínou je vždy menší než průtok profilem. Stanovit průtok profilem, pomáhá odtoková křivka, která je sestavena z n -denních průtoků profilem. Ty jsou stanoveny na základě dlouholetých měření podle normy ČSN 75 1400. Odtoková křivka se liší pro suchý a mokvý rok, proto se bere křivka stanovená z průměrně vodného roku. [1] [2]

4.4 Hrubý odhad roční výroby elektrické energie na jezu Kaceřov

- Odtoková křivka pro jez Kaceřov



Graf 4.4 Odtoková křivka pro jez Kaceřov [30]

Pro odhad roční výroby, předpokládáme použití jedné turbíny bez převodu. Průtok malou vodní elektrárnou se obecně volí z denních průtoků Q_{90} až Q_{120} . Pro tento jez byla, z odtokové křivky, stanovena hodnota průtoku přes turbínu $Q_n = 26 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dále byl stanoven maximální průtok turbínou pomocí vzorce $Q_{\max} = Q_n * 1,20$ a průtok, při kterém se turbína odstavuje ze vzorce $Q_{\min} = Q_n * 0,75$. Aby byl zajištěn asanační průtok jezem, stanoví se využitelný průtok, označovaný Q_v , odečtením průtoku Q_{330} od n-denních průtoků. To znamená, že pracovní průtok turbínou je $Q = 19,45 \text{ m}^3/\text{s}$.

Počet dní v roce	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Q_v	52,05	33,55	24,45	18,55	14,35	11,15	8,45	6,05	4,05	2,02

Tab. 4.5 Maximální možný odběr vody pro turbínu

- *Znamé hodnoty:*

Průtok: $Q = 19,45 \text{ m}^3/\text{s}$ [m^3/s]

Spád: $H = 1,4$ [m]

Měrná hustota vody: $\rho = 1\,000$ [kg/m^3]

Gravitační konstanta: $g = 9,81$ [m/s^2]

Účinnost generátoru: $\eta_g = 0,9$ [-]

Neměnná účinnost turbíny v regulačním rozsahu: $\eta_t = 0,86$ [-]

Maximální hlnost turbíny: $Q_{\max} = 23,34$ [m^3/s]

Minimální průtok turbíny: $Q_{\min} = 14,58$ [m^3/s]

Ze známých parametrů a rovnice (4.1) lze stanovit teoretický hydroenergetický potenciál:

$$P = Q * H * \rho * g = 19,45 * 1,4 * 1000 * 9,81 = 267,1 \text{ [kW]}$$

Z hydroenergetického potenciálu lze stanovit výkon turbíny na hřídeli:

$$Pt = Q * H * \rho * g * \eta_t = 19,45 * 1,4 * 1000 * 9,81 * 0,86 = 229,7 \text{ [kW]}$$

Výkon generátoru:

$$Pg = Pt * \eta_g = 229,7 * 0,90 = 206,8 \text{ [kW]}$$

Podle regulačních mezí turbíny byla z tabulky 4.5 určena přibližná doba provozu turbíny na 150 dní v roce. Vyrobena energie je pak stanovena roznásobením výkonů a pracovních hodin v dané pracovní oblasti turbíny. Což shrnuje tabulka 4.6.

Počet dní	30	60	90	120	150
Výkon generátoru P_g [kW]	248,1	248,1	248,1	197,2	152,5
Provozní hodiny t [h]	720	720	720	720	720
Vyrobena energie N [MWh _e]	178,64	178,64	178,64	141,98	109,83

Tab. 4.6 *Přehled výkonů a vyrobené elektrické energie v provozním období*

Pro zvolené hodnoty a jednu Kaplanovu turbínu s asynchronním generátorem, vychází hrubý odhad roční výroby elektrické energie na jezu Kaceřov 787,72 MWh_e. [1] [2]

4.5 Hrubý odhad roční výroby elektrické energie na jezu Liblín

- Odtoková křivka pro jez Liblín



Graf 4.5 Odtoková křivka pro jez Liblín [30]

Pro odhad roční výroby, předpokládáme použití jedné turbíny bez převodu. Průtok malou vodní elektrárnou se obecně volí z denních průtoků Q_{90} až Q_{120} . Pro tento jez byla, z odtokové křivky, stanovena hodnota průtoku přes turbínu $Q_n = 30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dále byl stanoven maximální průtok turbínou pomocí vzorce $Q_{\max} = Q_n * 1,20$ a průtok, při kterém se turbína odstavuje ze vzorce $Q_{\min} = Q_n * 0,75$. Aby byl zajištěn asanační průtok jezem, stanoví se využitelný průtok, označovaný Q_v , odečtením průtoku Q_{330} od n-denních průtoků. To znamená, že pracovní průtok turbínou je $Q = 22,58 \text{ m}^3/\text{s}$.

Počet dní v roce	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Q_v	60,18	38,68	28,08	21,38	16,48	12,68	9,58	6,98	4,58	2,29

Tab. 4.7 Maximální možný odběr vody pro turbínu

- *Znamé hodnoty:*

Průtok: $Q = 22,58 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Spád: $H = 1,5 \text{ [m]}$

Měrná hustota vody: $\rho = 1\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Gravitační konstanta: $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Účinnost generátoru: $\eta_g = 0,9 \text{ [-]}$

Neměnná účinnost turbíny v regulačním rozsahu: $\eta_t = 0,86 \text{ [-]}$

Maximální hltnost turbíny: $Q_{\max} = 27,10 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Minimální průtok turbíny: $Q_{\min} = 16,94 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Ze známých parametrů a rovnice (4.1) lze stanovit teoretický hydroenergetický potenciál:

$$P = Q * H * \rho * g = 22,58 * 1,5 * 1000 * 9,81 = 332,26 \text{ [kW]}$$

Z hydroenergetického potenciálu lze stanovit výkon turbíny na hřídeli:

$$Pt = Q * H * \rho * g * \eta_t = 22,58 * 1,4 * 1000 * 9,81 * 0,86 = 285,75 \text{ [kW]}$$

Výkon generátoru:

$$Pg = Pt * \eta_g = 285,75 * 0,90 = 257,17 \text{ [kW]}$$

Podle regulačních mezí turbíny byla z tabulky 4.7 určena přibližná doba provozu turbíny na 150 dní v roce. Vyrobena energie je pak stanovena roznásobením výkonů a provozních hodin v dané pracovní oblasti turbíny. Což shrnuje tabulka 4.8.

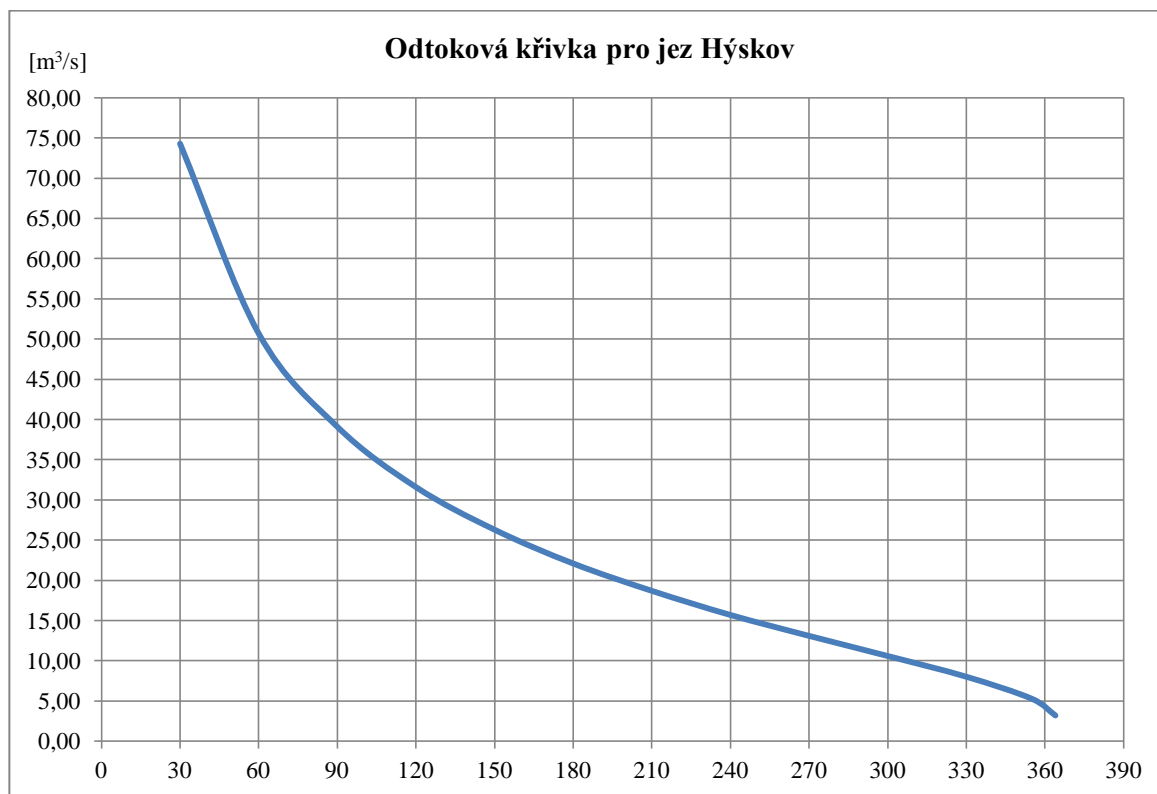
Počet dní	30	60	90	120	150
Výkon generátoru P_g [kW]	308,6	308,6	308,6	243,5	187,7
Provozní hodiny t [h]	720	720	720	720	720
Vyrobena energie N [MWh _e]	222,20	222,20	222,20	175,32	135,14

Tab. 4.8 Přehled výkonů a vyrobené elektrické energie v provozním období

Pro zvolené hodnoty a jednu Kaplanovu turbínu s asynchronním generátorem, vychází hrubý odhad roční výroby elektrické energie na jezu Liblín 977,06 MWh_e. [1] [2]

4.6 Hrubý odhad roční výroby elektrické energie na jezu Hýskov

- Odtoková křivka pro jez Hýskov



Graf 4.6 Odtoková křivka pro jez Hýskov [30]

Pro odhad roční výroby, předpokládáme použití jedné turbíny bez převodu. Průtok malou vodní elektrárnou se obecně volí z denních průtoků Q_{90} až Q_{120} . Pro tento jez byla, z odtokové křivky, stanovena hodnota průtoku přes turbínu $Q_n = 33 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dále byl stanoven maximální průtok turbínou pomocí vzorce $Q_{\max} = Q_n * 1,20$ a průtok, při kterém se turbína odstavuje ze vzorce $Q_{\min} = Q_n * 0,75$. Aby byl zajištěn asanační průtok jezem, stanoví se využitelný průtok, označovaný Q_v , odečtením průtoku Q_{330} od n-denních průtoků. To znamená, že pracovní průtok turbínou je $Q = 24,98 \text{ m}^3/\text{s}$.

Počet dní v roce	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Q_v	66,28	42,68	31,08	23,58	18,28	14,08	10,68	7,68	5,08	2,58

Tab. 4.9 Maximální možný odběr vody pro turbínu

- *Znamé hodnoty:*

Průtok: $Q = 24,98 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Spád: $H = 1,01 \text{ [m]}$

Měrná hustota vody: $\rho = 1\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Gravitační konstanta: $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Účinnost generátoru: $\eta_g = 0,9 \text{ [-]}$

Neměnná účinnost turbíny v regulačním rozsahu: $\eta_t = 0,86 \text{ [-]}$

Maximální hlnost turbíny: $Q_{\max} = 29,98 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Minimální průtok turbíny: $Q_{\min} = 18,74 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Ze známých parametrů a rovnice (4.1) lze stanovit teoretický hydroenergetický potenciál:

$$P = Q * H * \rho * g = 24,98 * 1,01 * 1000 * 9,81 = 247,50 \text{ [kW]}$$

Z hydroenergetického potenciálu lze stanovit výkon turbíny na hřídeli:

$$Pt = Q * H * \rho * g * \eta_t = 24,98 * 1,01 * 1000 * 9,81 * 0,86 = 212,85 \text{ [kW]}$$

Výkon generátoru:

$$Pg = Pt * \eta_g = 212,85 * 0,90 = 191,57 \text{ [kW]}$$

Podle regulačních mezí turbíny byla z tabulky 4.9 určena přibližná doba provozu turbíny na 150 dní v roce. Vyrobena energie je pak stanovena roznásobením výkonů a časů v dané pracovní oblasti turbíny. Což shrnuje tabulka 4.10.

Počet dní	30	60	90	120	150
Výkon generátoru P_g [kW]	229,9	229,9	229,9	180,8	140,2
Provozní hodiny t [h]	720	720	720	720	720
Vyrobena energie N [MWh _e]	165,52	165,52	165,52	130,20	100,93

Tab. 4.10 *Přehled výkonů a vyrobené elektrické energie v provozním období*

Pro zvolené hodnoty a jednu Kaplanovu turbínu s asynchronním generátorem, vychází hrubý odhad roční výroby elektrické energie na jezu Hýskov 727,68 MWh_e. [1] [2]

4.7 Srovnání teoretické a skutečné výroby elektrické energie na jezu Hýskov

Aby bylo možné srovnat teoretickou a skutečnou výrobu MVE Hýskov, je nejprve nutné přepočítat hrubý odhad výroby s použitím jedné Kaplanovy turbíny s napevno spojeným asynchronním generátorem, na spád malé vodní elektrárny, protože předešlý výpočet vycházel ze spádu jezu.

- *Znamé hodnoty:*

Průtok: $Q = 24,98 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Spád: $H = 2,0 \text{ [m]}$

Měrná hustota vody: $\rho = 1\,000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Gravitační konstanta: $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Účinnost generátoru: $\eta_g = 0,9 \text{ [-]}$

Neměnná účinnost turbíny v regulačním rozsahu: $\eta_t = 0,86 \text{ [-]}$

Maximální hlnost turbíny: $Q_{\max} = 29,98 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Minimální průtok turbíny: $Q_{\min} = 18,74 \text{ [m}^3/\text{s]}$

Výkon turbíny P_t [kW]	423,60
Výkon generátoru P_g [kW]	381,24

Tab. 4.11 Výkon generátoru a turbíny pro spád 2,01 m

Jak je z tabulky 4.11 patrné, změna spádu má velký vliv na celou MVE. Při dvojnásobném spádu, vzroste dvojnásobně výkon.

Pro výpočet možné vyrobené elektrické energie byla použita odtoková křivka pro jez Hýskov a z tabulky 4.9 průtoky po odečtení asanačního průtoku. Po přepočtení jsou výsledky znázorněny v tabulce 4.12.

Počet dní	30	60	90	120	150
Výkon generátoru P_g [kW]	457,50	457,50	457,50	359,90	279,00
Provozní hodiny t [h]	720	720	720	720	720
Vyrobene energie N [MWh _e]	329,39	329,39	329,39	259,11	200,87

Tab. 4.12 Teoretická výroba elektrické energie pro spád 2,01 m na jezu Hýskov

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že teoretická výroba na jezu Hýskov, s použitou jednou Kaplanovou turbínou a s použitím asynchronního generátoru, vychází 1 448 MWh_e za rok.

	Teoretické hodnoty	Skutečné hodnoty z tříletého provozu MVE		
		2010	2011	2012
Průměrný roční výkon soustrojí [kW]	402,30	225,50	219,60	197,70
Vyrobena elektrická energie za rok [MWh _e]	1 448,15	1 973,50	1 923,00	1 735,70

Tab. 4.13 Porovnání teoretických a skutečných hodnot výkonu a výroby el. energie na jezu Hýskov

Teoretické i skutečné hodnoty v tabulce 4.13, byly odvozeny jako průměrné hodnoty. To znamená, že u teoretického výkonu je brán průměrný výkon za dobu provozu turbíny, která byla stanovena na 150 dní v roce. U skutečných výkonů, v jednotlivých letech, je výkon stanoven z průměrných měsíčních výkonů. Jedná se tedy o průměrné roční výkony.

Teoretická vyrobená elektrická energie vychází z konstantního průtoku po dobu devadesáti dní v roce. Zbylá výroba pak klesá podle odtokové křivky až do doby odstavení turbíny. Výsledná hodnota je pak dána součtem vyrobené elektrické energie v délce 150 dní v roce.

U skutečných hodnot vyrobené elektrické energie se jedná o průměrnou roční výrobu za kalendářní rok.

Hodnoty ve sloupci s teoretickými hodnotami byly počítány pro jednu Kaplanovu turbínu a jeden asynchronní generátor na pevně spojen s turbínou. MVE Hýskov má nainstalovány tři Kaplanovy s-turbíny, každá má svůj vlastní generátor. Oba komponenty jsou propojeny pomocí řemene.

Celkový dosahovaný výkon v MVE Hýskov je zhruba o polovinu menší, než vypočítaný výkon pro jednu turbínu. Přesto je výroba elektrické energie ve skutečnosti větší než teoreticky odhadnutá výroba.

Instalováním více menších turbín, vede k většímu a lepšímu využití průtoku a tím i k více vyrobené elektrické energii. Skutečná výroba dosahuje vyšších hodnot i přes to, že skutečná výroba v MVE je poznamenána výpadky, které jsou způsobeny například, povodní nebo údržbou, popřípadě technickou závadou. Při teoretickém výpočtu, jsou tyto výpadky a další možné ztráty zanedbány a vyrobená elektrická energie je stanovena z kontinuální výroby v dané pracovní oblasti turbíny. Ze srovnání teoretické a skutečné výroby vyplývá, že MVE Hýskov je dobře navrženou elektrárnou, která plně využívá průtok řeky Berounky v dané lokalitě.

5 Zhodnocení uvažované oblasti

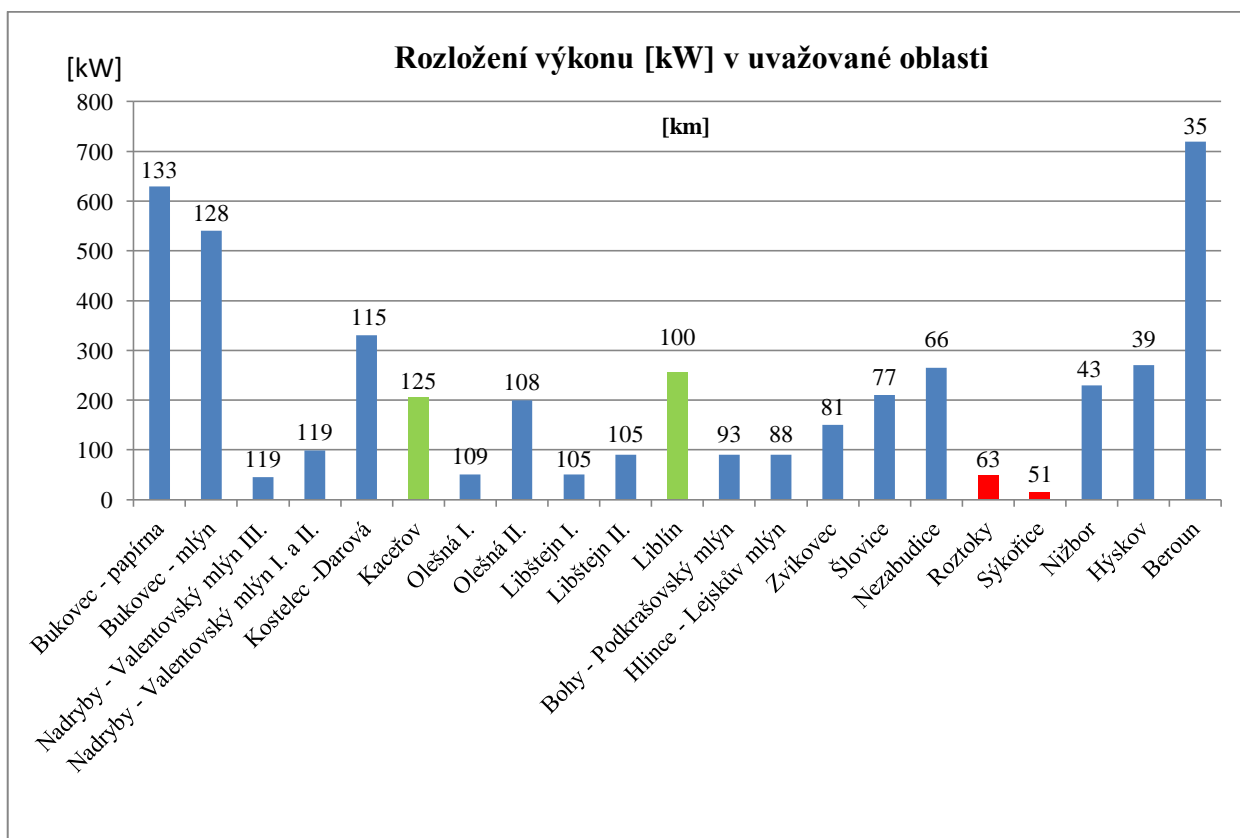
V následujících třech podkapitolách je uvedeno hodnocení oblasti toku Berounky po stránce energetické a ekologické. Pro ekonomické hodnocení bylo, pro nedostatek údajů, zvoleno zhodnocení výroby a návratnosti investic MVE Hýskov.

5.1 Energetické zhodnocení uvažované oblasti

Z předchozí analýzy uvažované oblasti toku Berounky je patrné, že v současné době je instalovaný výkon v uvažované části toku Berounky 4 059 kW a odhadnutá roční výroba činí 14,6 GWh_e elektrické energie.

Pokud by se realizovala výstavba MVE v uvažovaných lokalitách Kaceřov a Liblín, se stejnými parametry, kterých bylo dosaženo hrubým odhadem, zvýšil by se instalovaný výkon na 4 523 kW. Výroba elektrické energie by pak dosahovala 16,37 GWh_e za rok.

Po připojení MVE mino provoz, po rekonstrukci a se zachováním jejich parametrů, mohl by celkový instalovaný výkon v uvažované oblasti dosáhnout 4 588 kW a výroba by se pohybovala kolem 16,61 GWh_e. Rozložení celkového instalovaného výkonu znázorňuje graf 5.1, kde zeleně jsou nově navržené MVE a červeně zrekonstruované a připojené MVE.



Graf 5.1 Rozložení výkonu v uvažované oblasti toku Berounky

5.2 Ekologické zhodnocení uvažované oblasti

Vodní energie patří do skupiny obnovitelných zdrojů, jejímž zdrojem je déšť, sníh a koloběh vody, který je udržovaný energií slunce. Získaná energie z tohoto zdroje, se dá považovat za čistou energii. Proto je zde uvedeno srovnání výroby MVE v uvažované oblasti a ekvivalentní výroby v uhelné elektrárně.

Celková odhadnutá vyrobená energie, ve stávajícím stavu uvažované oblasti, je 14,6 GWh_e a po realizaci výstavby MVE na jezu Kaceřov a Liblín a rekonstrukci MVE Roztoky a Sýkořice, vychází odhadnutá předpokládaná výroba na 16,61 GWh_e za rok. Z těchto údajů lze stanovit, kolik emisí CO₂, CO, NO_x, SO₂ a tuhých látek vznikne výrobou tohoto množství energie v uhelné elektrárně.

Pro výpočet byly použity hodnoty z tabulky 5.1, které byly stanoveny na základě znalosti emisních koeficientů, které uvádí vyhláška ministerstva životního prostředí a tepla obsaženého v palivu. Údaje uvedené v tabulce, jsou pro jednu vyrobenou MWh_e, za použití hnědého uhlí, jako paliva. Dále se bere v úvahu 65% odsíření SO₂ a 98% odlučivost tuhých látek, za pomoci filtrů.

Emise [kg/MWh _e]	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂
Energetické uhlí	3,00	5,30	7,70	0,65	1 213,00

Tab. 5.1 *Emisní koeficienty výroby elektrické energie v hnědouhelné elektrárně [33]*

Ze známých hodnot v tabulce 5.1 jsem pomocí pronásobení množství vyrobené energie za rok, pomocí malých vodních elektráren, stanovil množství škodlivin, které by vznikly výrobou v uhelné elektrárně. Tabulka 5.2 znázorňuje hodnoty škodlivin pro stávající obsazení uvažované lokality a tabulka 5.3 předkládá hodnoty škodlivin po doplnění MVE v uvažované oblasti.

Emise [t/rok]	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂
Energetické uhlí	43,80	77,38	112,42	9,49	17 709,80

Tab. 5.2 *Roční ušetřené hodnoty škodlivin se stávajícím obsazením MVE v uvažované oblasti*

Emise [t/rok]	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO	CO ₂
Energetické uhlí	49,83	88,03	127,90	10,80	20 147,93

Tab. 5.3 *Roční ušetřené hodnoty škodlivin s doplněním MVE v uvažované oblasti*

5.3 Ekonomické zhodnocení MVE Hýskov

Pro ekonomické hodnocení byla, pro nedostatek informací v celé uvažované oblasti toku řeky Berounky, zvolena malá vodní elektrárna Hýskov. Jelikož jsou známé pouze celkové investiční náklady na MVE a náklady na výstavbu rybího přechodu a dále pak výroba v letech 2010 – 2012, byla stanovena prostá doba návratnosti. Pro tuto dobu návratnosti investic, jsem uvažoval známou cenu za jednu vyrobenou MWh_e, která činí 3 Kč po dobu 15 let provozu MVE Hýskov.

Celkové náklady na výstavbu MVE Hýskov a výstavbu rybího přechodu shrnuje tabulka 5.4. Finanční podpora se skládala s podpory z fondů Evropské unie a ze státního fondu rozvoje České republiky.

Celkové výdaje na MVE Hýskov	22 297 000 Kč
Celková finanční podpora	7 802 000 Kč
Náklady bez finanční podpory	14 495 000 Kč
Celkové výdaje na rybí přechod	13 007 404 Kč
Celková finanční podpora	9 938 870 Kč
Náklady bez finanční podpory	3 068 534 Kč
Celkové náklady bez finanční podpory	35 304 404 Kč
Celkové náklady s finanční podporou	17 563 534 Kč

Tab. 5.4 Přehled investičních nákladů [29]

	2010	2011	2012	Průměr
Roční vyrobená elektrická energie [MWh _e]	1894,5	1846,1	1666,2	1802,3
Výroba	5 683 582 Kč	5 538 189 Kč	4 998 708 Kč	5 406 826 Kč

Tab. 5.5 Přehled vyrobené energie za rok a její cena

Na základě znalosti výkupní ceny elektrické energie byla stanovena tabulka 5.5. Ta zobrazuje celkovou vyrobenou elektrickou energii, od které byla odečtena čtyřprocentní vlastní spotřeba. Výsledná cena v tabulce pak byla stanovena, vynásobením vyrobené energie s cenou za jednu kWh_e.

Stanovená cena za vyrobenou energii neobsahuje další srážky, které činní např. daň z příjmů, nebo provozní náklady. Jedná se proto pouze o orientační pohled na možný zisk.

Pro výpočet prosté doby návratnosti, byla uvažována ještě daň z příjmu 19%. Dále byly stanoveny provozní náklady MVE Hýskov na 25 000 Kč. Tyto náklady vycházejí z toho, že se jedná o poměrně novou stavbu a provoz samotné elektrárny je plně automatizován. Proto jsou náklady spíše na drobné opravy a běžnou vizuální kontrolu obsluhou. Prostou dobu návratnosti lze spočítat podle vzorce (5.1) [32].

$$TS = \frac{IN}{CF} \text{ [rok]} \quad (5.1)$$

Tento výpočet je nejjednodušší, ale zároveň nejpoužívanější. V celém výpočtu se investiční náklady dělí ročním finančním tokem. Ten se stanoví z roční vyrobené elektrické energie, od které se odečtou provozní náklady a další možné položky, které zatěžují vyrobenou energii. Roční finanční tok byl v našem případě stanoven z ročního výnosu, od kterého byla odečtena daň z příjmu a náklady na provoz MVE Hýskov. Na základě těchto hodnot byla za pomoci vzorce (5.1) stanovena tabulka 5.6.

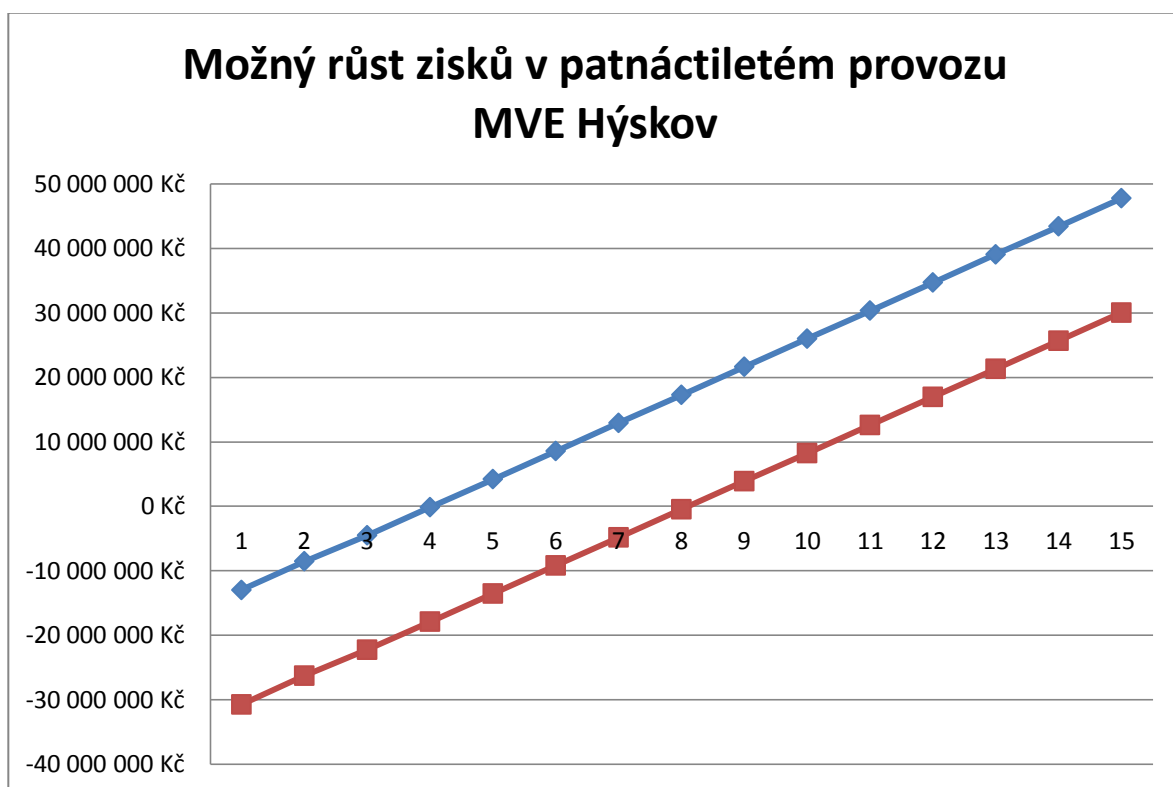
Doba provozu [ok]	Zisk	Kumulované zisky	Kumulované výdaje/příjmi s dotací	Kumulované výdaje/příjmi bez dotace
1	4 578 701 Kč	4 578 701 Kč	-12 984 833 Kč	-30 725 703 Kč
2	4 460 933 Kč	9 039 634 Kč	-8 523 900 Kč	-26 264 770 Kč
3	4 023 953 Kč	13 063 588 Kč	-4 499 946 Kč	-22 240 816 Kč
4	4 354 529 Kč	17 418 117 Kč	-145 417 Kč	-17 886 287 Kč
5	4 354 529 Kč	21 772 646 Kč	4 209 112 Kč	-13 531 758 Kč
6	4 354 529 Kč	26 127 176 Kč	8 563 642 Kč	-9 177 228 Kč
7	4 354 529 Kč	30 481 705 Kč	12 918 171 Kč	-4 822 699 Kč
8	4 354 529 Kč	34 836 234 Kč	17 272 700 Kč	-468 170 Kč
9	4 354 529 Kč	39 190 764 Kč	21 627 230 Kč	3 886 360 Kč
10	4 354 529 Kč	43 545 293 Kč	25 981 759 Kč	8 240 889 Kč
11	4 354 529 Kč	47 899 822 Kč	30 336 288 Kč	12 595 418 Kč
12	4 354 529 Kč	52 254 351 Kč	34 690 817 Kč	16 949 947 Kč
13	4 354 529 Kč	56 608 881 Kč	39 045 347 Kč	21 304 477 Kč
14	4 354 529 Kč	60 963 410 Kč	43 399 876 Kč	25 659 006 Kč
15	4 354 529 Kč	65 317 939 Kč	47 754 405 Kč	30 013 535 Kč

Tab. 5.6 Vývoj tržeb v patnáctiletém provozním období

Tabulka 5.6 znázorňuje možný výhled zisků do budoucna. Počet řádků tabulky, je dán známou pevnou výkupní cenou po dobu patnácti let. Sloupec s názvem zisk obsahuje údaje o zisku, ve kterém je zahrnuta daň z příjmu, náklady na provoz elektrárny a vlastní spotřeba

elektrické energie. Dále se předpokládá neměnnost nákladů na provoz MVE a stejná velikost daně z příjmu. Jelikož byla známa výroba elektrické energie pouze pro první tři roky provozu, byla další výroba elektrické energie stanovena jako průměrná hodnota z prvních tří let provozu MVE Hýskov. Kumulativní zisky pak ukazují, jak se bude vyvíjet tržba za patnáctiletou dobu provozu.

Poslední dva sloupce tabulky znázorňují, jak bude vypadat návratnost počáteční investice. Levý sloupec ukazuje, jak se bude tržba vyvíjet do budoucna a vychází z celkových nákladů, od kterých byla odečtena částka, která byla poskytnuta jako dotace. Tato částka je 17 563 534 Kč a jsou v ní zahrnuty náklady na MVE Hýskov a na rybí přechod. Pravý sloupec znázorňuje, jak by to vypadalo, kdyby tento projekt nedostal finanční podporu. Grafické znázornění tabulky 5.6 nastiňuje graf 5.2.



Graf 5.2 Možný vývoj zisků v patnáctiletém provozu MVE Hýskov

Modrý graf, zobrazuje současný stav možných zisků. Červený graf ukazuje, jak by vypadal vývoj zisků, pokud by projekt nezískal podporu ve formě finančních dotací. Dále je zde vidět, že prostá doba návratnosti za současných podmínek je přibližně za čtyři roky provozu. Zatímco bez finanční podpory, by se prostá doba návratnosti investic zdvojnásobila.

Závěr

Úkolem této práce, bylo popsat uvažovanou část toku řeky Berounky, analyzovat možnosti pro výstavbu nových malých elektráren, popsat provoz již stávající MVE a provést hodnocení uvažované oblasti a již provozované malé vodní elektrárny Hýskov.

Za účelem dosažení stanoveného cíle, jsem na začátku práce popsal povodí Berounky a uvedl jsem některé zajímavé informace o toku řeky. Dále jsem provedl popis jednotlivých jezů. Ty jsem rozdělil do tří kategorií. První kategorie popisuje současné využití lokality. Jsou zde uvedeny parametry jezů i MVE. Druhá kategorie popisuje jezy, které jsou sice využity, ale instalované MVE jsou mimo provoz. Třetí kategorie jezů popisuje nevyužitou lokalitu, které by mohly být v budoucnu využity pro energetické využití.

V následující kapitole došlo k vymezení nezbytné teorie, k pochopení skladby a principů činností malých vodních elektráren. Je zde možné nalézt základní skladbu MVE, konkrétně pak přivaděče, odpady, česle, vodní motory a generátory.

Na tuto teorii pak přímo navazuje popis již stávajících MVE, konkrétně MVE Nižbor a MVE Hýskov. Popis byl zpracován na základě exkurzí do obou elektráren a je doplněn vlastní fotodokumentací. Popis dále obsahuje jejich parametry, skladbu a u MVE Hýskov i průběh výroby v období 2010 – 2012. Tuto výrobu jsem uvedl v tabulkovém provedení, za kterým následuje grafické zpracování dat.

Pro analýzu a odhad možné výroby elektrické energie byly stanoveny dvě lokality a to jez Kaceřov a jez Liblín. Tyto jezy jsem volil z důvodu největšího spádu na jezu, ze všech možných neobsazených lokalit. Z výpočtů pak vyplývá odhad roční vyrobené elektrické energie pro jez Kaceřov na 787,72 MWh_e a pro jez Liblín 977,06 MWh_e. Pro oba jezy je počítána jedna Kaplanova turbína napřímo propojená s asynchronním generátorem. Pro výpočty jsem použil údaje z odtokových křivek, poskytnutých z CHMI a spády jezu z údajů poskytnutých z PVL. Stejný postup jsem použil i v případě stanovení teoretické výroby elektrické energie na jezu Hýskov, s tím rozdílem, že výroba elektrické energie musela být přepočítána na spád MVE Hýskov, aby bylo možné provést srovnání skutečné a teoretické výroby elektrické energie. Ze srovnání vyplývá, že MVE Hýskov je se svými třemi soustrojími, dobře navrženou MVE, která dobře využívá místní průtoky, protože skutečná výroba předčila teoreticky odhadnutou roční výrobu elektrické energie. Což dokládá i prostá doba návratnosti, která vychází kolem čtyř let provozu MVE Hýskov.

Z ekologického hlediska vyplývá, že dosud využitá místa v uvažované oblasti kladně přispívají ke zlepšení ovzduší. Protože stejné množství elektrické energie, kterou vyrobí MVE

v uvažované oblasti, by při výrobě v uhelné elektrárně vyprodukovalo 17 709,8 tun CO₂, 77,38 tun SO₂ a 43,8 tun tuhých látek. Pokud by se uvažovaná oblast doplnila o MVE na jezích Kaceřov a Liblín a dále by se rekonstruovaly MVE Roztoky a MVE Sýkořice, snížilo by se vyprodukované množství emisí z uhelných elektráren ročně u CO₂ o 20 147,93 tun, u SO₂ o 88,03 tun a u tuhých látek o 49,83 tun.

Současný instalovaný výkon MVE v uvažované oblasti části toku Berounky je 4 059 kW. Po doplnění o MVE na jezu Kaceřov a Liblín a po rekonstrukci MVE mimo provoz, by se instalovaný výkon zvýšil na 4 588 kW. Celková roční vyrobená energie by se pak pohybovala okolo 16,61 GWh_e.

Z analýzy vybrané uvažované části toku řeky Berounky vyplývá, že se zde nachází pět možných neobsazených jezů, které by se mohly energeticky využít. Využití těchto lokalit, by přineslo zvýšení výroby elektrické energie z obnovitelného zdroje. Výroba v nových lokalitách, by kladně přispěla ke zlepšování životního prostředí. Dále jsou MVE, oproti například FVE, poměrně výkonově stálé, a proto jsou dobře zařaditelné do denního diagramu zatížení. Navíc dosahují poměrně velké životnosti 25 let bez nutných generálních oprav.

Tato diplomová práce, byla zpracována na základě důvěryhodných dat, a proto je vhodná jako podklad pro budoucí zvažování možného energetického využití dosud neobsazených lokalit v uvažované části toku Berounky.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MELICHAR J., VOJTEK J., BLÁHA J.: *Malé vodní turbíny, konstrukce a provoz*. 1. Vyd. Praha: ČVUT, 1998. 299s.
- [2] GABRIEL P., ČIHÁK F., KALANDRA P.: *Malé vodní elektrárny*. 1. Vyd. Praha: ČVUT, 1998. 321s.
- [3] ŠKORPIL J., KASÁRNÍK M.: *Obnovitelné zdroje energie I. vodní elektrárny*. 2. Vyd. Plzeň: ZCU, 2000. 126s.
- [4] <http://mve.energetika.cz/vodnikolaHD/korecnikHD.htm>
- [5] <http://www.munimedia.cz/prispevek/fotoreportaz-jak-se-vyrabi-elektrina-3566/>
- [6] http://www.keliwood.cz/userfiles/clanek_img/27.jpg
- [7] <http://www.elektrarny.xf.cz/images/typykol.jpg>
- [8] http://www.energyweb.cz/web/EE/images/04/41_06.gif
- [9] <http://www.vodniturbiny.cz/index.php?linkid=05>
- [10] <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.htm>
- [11] http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/images//01/11_08.gif
- [12] <http://www.airamsistemi.it/images/Pelton3.gif>
- [13] <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/pelton.htm>
- [14] <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/turgo.htm>
- [15] http://www.hydroelectric.co.nz/images/turgo_impulse_turbine.jpg
- [16] <http://mve.energetika.cz/pretlakoveturbiny/kaplan-s.gif>
- [17] http://www.energyweb.cz/web/EE/images/04/41_05.gif
- [18] <http://mve.energetika.cz/primotlaketurbiny/banki.htm>
- [19] <http://ganz-munkacsy.hu/diakok/ganzcsillagai/bankiturbina.html>
- [20] <http://mve.energetika.cz/index.htm>
- [21] <http://p.kobrlle.sweb.cz/stroje/as-skriptum.pdf>
- [22] <http://www.spvez.cz/pages/odb001.htm>
- [23] <http://www.pvl.cz/planovani-v-oblasti-vod/plan-oblasti-povodi-berounky>
- [24] http://www5.pvl.cz/portal/hydroprojekt/BE/SS/SS_BE.pdf
- [25] <http://www.turistika.cz/mista/berounka-branov>
- [26] <http://voda.chmi.cz/roc08/pdf/kap2.pdf>
- [27] <http://www.risy.cz/cs/vyhledavace/projekty-eu/detail?id=101345>
- [28] poskytnuté údaje z PVL
- [29] poskytnuté údaje o provozu MVE Nižbor a MVE Hýskov
- [30] poskytnuté údaje z CHMI
- [31] vlastní fotodokumentace
- [32] <http://www.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [33] SRDEČNÝ K., TRUXA J.: *Obnovitelné zdroje energie v JIŽNÍCH ČECHÁCH A HORNÍM RAKOUSKU*. Vyd. Praha: EkoWATT, 2000.