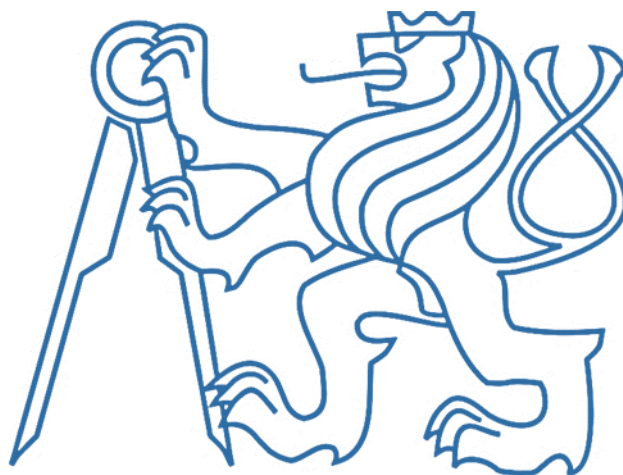


České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická



**Návrh a posouzení obnovy
malé vodní elektrárny**

**Design and assessment of the renovation
of a small hydropower plant**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.

2021

Anna HOUFKOVÁ

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Houfková** Jméno: **Anna** Osobní číslo: **483592**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Aplikovaná elektrotechnika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh a posouzení obnovy malé vodní elektrárny

Název bakalářské práce anglicky:

Design and assessment of the renovation of a small hydropower plant

Pokyny pro vypracování:

- 1) Malé vodní elektrárny a jejich význam v elektrizační soustavě.
- 2) Postup návrhu malé vodní elektrárny.
- 3) Návrh obnovy malé vodní elektrárny Vilémov.
- 4) Technicko – ekonomické posouzení návrhu obnovy malé vodní elektrárny Vilémov.

Seznam doporučené literatury:

- 1) BEDNÁŘ, Josef. Malé vodní elektrárny 2: Turbíny. 1. vydání Praha: SNTL, 1989, 240 s.
- 2) GABRIEL, Pavel, ČIHÁK, František, KALANDRA, Petr. Malé vodní elektrárny. Praha: ČVUT, 1998, 321 s. ISBN 80-01-01812-1.
- 3) MASTNÝ, Petr a kol. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: ČVUT, 2011, 256 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- 4) PAŽOUT, František. Malé vodní elektrárny 1: Ekonomika, předpisy. 2. vydání Praha: SNTL, 1990, 504 s. ISBN 80-03-00192-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **27.01.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21.05.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2022**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 21. 05. 2021

Anna Houfková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph.D., za odborné vedení, pozitivní přístup, starostlivost a cenné rady do studijního i profesního života. Dále bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za velkou podporu, trpělivost, shovívavost a pomoc při studiu i tvoření této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu a posouzení obnovy malé vodní elektrárny, konkrétně se jedná o stávající elektrárnu ve Vilémově nedaleko Rokytnice nad Jizerou. Nejprve je obsaženo teoretické pojednání o malých vodních elektrárnách, jejich dělení, základní konstrukční uspořádání a význam v elektrizační soustavě České republiky. Práce mimo jiné obsahuje vlastní návrh malé vodní elektrárny a postup jeho tvorby, kde se autor nejvíce zabývá strojní a elektrickou částí vodního díla. Návrh instalace navazuje na pasáž, ve které je čtenář seznámen se stávající malou vodní elektrárnou a jejím řešením.

Na závěr je uvedeno technické a ekonomické zhodnocení stávající a nově navržené elektrárny ve Vilémově. Součástí vyhodnocení je i závěrečné rozhodnutí o efektivnosti instalací a další doporučení pro budoucí úpravy či využití autorova návrhu.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, návrh MVE, vodní turbína, elektrický generátor, jez Vilémov, Jizera.

Abstract

This Bachelor's thesis deals with the design and assessment of the renewal of a small hydropower plant, specifically the original power plant in Vilémov near Rokytnice nad Jizerou. First a theoretical treatise on small hydropower plants, their division, basic structural arrangement and importance in the electricity system of the Czech Republic. Thesis includes, among other things, the design of a small hydropower plant and the process of its creation. The author is the most concerned with the mechanical and electrical part of the waterwork. The design of the installation follows the passage, in which the reader is acquainted with the original small hydropower plant and its solution.

In the end is presented the technical and economical evaluation of the original and newly designed power plant in Vilémov. The evaluation also includes the final decision on the effectiveness of the installation and other recommendations for future modifications or use of the author's proposal.

Keywords

Small hydropower plant, design of small hydropower plant, water turbine, electric generator, weir in Vilémov, Jizera river.

Obsah

Seznam zkratk a symbolů	XIV
1. ÚVOD	1
2. TEORIE VODNÍCH ELEKTRÁREN	2
2.1 Krátký úvod do historie hydroenergetiky	2
2.2 Princip fungování vodních elektráren	3
2.3 Základní rozdělení vodních elektráren	3
2.3.1 Rozdělení vodních elektráren dle velikosti instalovaného výkonu	3
2.3.2 Rozdělení vodních elektráren dle způsobu provozu	3
2.3.3 Rozdělení vodních elektráren dle získaného a využívaného spádu	6
2.4 Význam MVE	6
2.4.1 Výhody spojené se stavbou MVE	6
2.4.2 Nevýhody spojené se stavbou MVE	8
2.4.3 Význam a rozvoj MVE v ČR	8
3. VÝBĚR LOKALITY PRO NÁVRH MVE	13
3.1 Hydroenergetický potenciál	14
3.1.1 Výpočet hydroenergetického potenciálu vybrané lokality	17
3.2 Dispoziční řešení elektrárny	20
4. NÁVRH STROJNÍ ČÁSTI	23
4.1 Turbína	24
4.1.1 Základní typy rovnotlakých turbín	27
4.1.2 Základní typy přetlakových turbín	29
4.2 Generátor	33
4.2.1 Synchronní generátor	33
4.2.2 Asynchronní generátor	35
4.2.3 Převody	38
4.3 Ztráty ve vodní elektrárně	40

4.3.1 Ztráty v turbíně	40
4.4 Návrh strojní části MVE Vilémov	42
4.4.1 Výběr vhodné turbíny	42
4.4.2 Regulace turbíny	45
4.4.3 Výběr vhodného generátoru.....	47
4.4.4 Převod	49
5. NÁVRH ELEKTRICKÉ ČÁSTI.....	50
5.1 Vlastní spotřeba MVE	51
5.2 Podmínky připojení k síti.....	54
5.2.1 Ochrany	55
5.3 Návrh vyvedení výkonu z MVE Vilémov	55
5.3.1 Kompenzace jalového výkonu	57
6. STÁVAJÍCÍ MVE VILÉMOV	59
7. TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ	63
7.1 Turbíny	63
7.1.1 Zhodnocení účinnosti turbín	63
7.2 Generátory	65
7.3 Výkon	66
8. INVESTIČNÍ ROZHODOVÁNÍ.....	69
8.1 Roční výroba elektřiny z MVE.....	69
8.1.1 Podpora OZE	71
8.2 Rozpočet	73
8.2.1 Investiční náklady	73
8.2.2 Roční provozní náklady	74
8.2.3 Přehled vstupních parametrů MVE1 a MVE2	76
8.3 Vyhodnocení investice.....	78
8.3.1 Odpisy	78

8.3.2 Zisk	78
8.3.4 Čistá současná hodnota (NPV)	79
8.3.5 Vnitřní výnosové procento (IRR)	80
8.3.6 Prostá doba návratnosti	81
8.3.7 Závěrečné ekonomické zhodnocení	81
9. ZÁVĚR.....	83
Seznam použité literatury	85
Seznam obrázků.....	90
Seznam tabulek.....	92
Seznam příloh	93

Seznam zkratek a symbolů

Zkratka/symbol	Význam	Jednotky
A	Plocha povodí	[km ²]
a	Plocha štěrbiny	[m ²]
a_{max}	Maximální otevření štěrbiny	[mm]
c	Rychlost proudění	[m.s ⁻¹]
cosφ	Účinník	-
d	Daň z příjmu	[%]
D	Průměr oběžného kola	[m]
DDZ	Denní diagram zatížení	-
E_{Brutto}	Brutto vyrobená elektrická energie	[kWh]
E_c	Celková měrná energie vody	[J.kg ⁻¹]
E_h	Polohová měrná energie vody	[J.kg ⁻¹]
E_k	Kinetická měrná energie vody	[J.kg ⁻¹]
E_n	Jmenovitá měrná energie vody	[J.kg ⁻¹]
E_{Netto}	Netto vyrobená elektrická energie	[kWh]
E_p	Tlaková měrná energie vody	[J.kg ⁻¹]
E_{vl}	El. energie využitá pro napájení vlastní spotřeby	[kWh]
E_T	Teoretická hodnota hydroenergetického potenciálu	[W]
E₁₋₂	Hydroenergetický potenciál mezi dvěma body	[J.kg ⁻¹]

ERÚ	Energetický regulární úřad	-
g	Tíhové zrychlení	[m.s ⁻²]
H	Čistý spád	[m]
H_h	Celkový spád	[m]
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav	-
i	Požadovaná roční míra výnosnosti	[%]
i_i	Průměrná roční inflace	[%]
I_{1f}	Proud jedné fáze	[A]
I_{nG}	Jmenovitý proud generátoru	[V]
I_v	Výpočtový proud	[A]
IRR	Vnitřní výnosové procento	[%]
k	Součinitel průtoku	-
K_i	Investiční náklady	[Kč]
k_{ld}	Součinitel poměru L/D	-
k_o	Součinitel ostříku	-
k_s	Koeficient současnosti	-
k_v	Koeficient využití	-
L	Šířka oběžného kola	[mm]
L_L	Délka oběžných lopatek	[mm]
m	Počet fází	-
M_k	Točivý moment na hřídeli	[Nm]
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu	-
MVE	Malá vodní elektrárna	-
MVE1	Stávající elektrárna ve Vilémově	-
MVE2	Nově navržená elektrárna ve Vilémově	-

N_c	Celkové roční náklady	[Kč]
n_G	Mechanické otáčky generátoru	[s ⁻¹]
N_i	Provozní náklady	[Kč]
n_T	Mechanické otáčky turbíny	[s ⁻¹]
n_n	Jmenovité otáčky turbíny	[s ⁻¹]
N₀	Roční účetní odpisy	[Kč.rok ⁻¹]
n_p	Průběžné otáčky turbíny	[s ⁻¹]
n	Mechanické otáčky asynchronního stroje	[s ⁻¹]
n₁	Mechanické otáčky synchronního stroje	[s ⁻¹]
NPV	Čistá současná hodnota	[Kč]
OZE	Obnovitelné zdroje energie	-
p	Tlak	[Pa]
p_p	Počet pólových dvojic generátoru ($p_p > 3$)	-
P	Výkon (teoretický/technický)	[W]
P_a	Roční úhrn srážek	[mm]
P_n	Instalovaný výkon skupiny spotřebičů	[W]
P_s	Jmenovitý výkon současně užívaných spotřebičů	[W]
P_t	Výkon turbíny	[W]
PDS	Provozovatel distribuční soustavy	-
Q	Jmenovitý průtok	[m ³ .s ⁻¹]
Q_a	Dlouhodobý průměrný průtok dané lokality	[m ³ .s ⁻¹]

Q_G	Jalový výkon generátoru	[VAr]
Q_{kom}	Kompenzační jalový výkon	[VAr]
$Q_{sítě}$	Jalový výkon sítě	[VAr]
$Q(H)$	Střední objemový průtok elementu toku	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
s	Délka účetního odpisového období	[rok]
s	Skluž	-
S_p	Součtový výkon spotřebičů	[W]
S_z	Jmenovitý výkon zdroje VS	[W]
SPVEZ	Svaz podnikatelů pro využití obnovitelných zdrojů, z. s.	-
T_i	Roční tržby	[Kč]
T_n	Prostá doba návratnosti	[rok]
$T_{\dot{z}}$	Doba životnosti	[rok]
U_{1f}	Napětí jedné fáze	[V]
U_b	Napětí buzení	[V]
U_G	Napětí generátoru	[V]
VE	Vodní elektrárna	-
VS	Vlastní spotřeba	-
X_d	Podélná reaktance	$[\Omega]$
X_q	Příčná reaktance	$[\Omega]$
$Z_{\check{c}}$	Čistý zisk	[Kč]
Z_h	Hrubý zisk	[Kč]
η_h	Hydraulická účinnost turbíny	-
η_m	Mechanická účinnost turbíny	-

η_n	Střední účinnost spotřebičů	-
η_s	Účinnost napájecí soustavy od místa připojení VS	-
η_t	Celková účinnost turbíny	-
η_v	Objemová účinnost turbíny	-
β	Koeficient náročnosti	-
β	Zátěžný úhel	[°]
ρ	Měrná hmotnost	[kg.m ⁻³]
ω	Úhlová rychlost	[rad.s ⁻¹]

1. ÚVOD

Obnovitelné zdroje energie jsou stále více debatovaným tématem české i světové energetiky. Představují pro nás teoreticky nevyčerpatelný a zároveň ekologicky šetrný zdroj energie, který současně nabízí i velmi dobrou ekonomickou bilanci mezi náklady a ziskem. V České republice je primárním nevyčerpatelným zdrojem energie voda, což lze mimo jiné přikládat naší geografické poloze. Území republiky se rozkládá na evropském rozvodí, nachází se zde tedy pramenné toky řek a vodní energie je tím pádem rozptýlena v menších tocích, které tvoří rozvinutou říční síť, jejímiž charakteristickými vlastnostmi jsou nízká vodnatost jednotlivých částí a malé spády. Důsledkem příznačných znaků českého povodí je převažující budování malých vodních instalací nad velkými, což lze podpořit faktem, že momentálně se na území České republiky nachází přes 1400¹ (údaj z roku 2019) malých vodních elektráren s instalovaným výkonem do 10 MW. Je důležité zdůraznit, že vodní elektrárny nejsou označovány jako primární zdroj obnovitelné energie z důvodu velkého podílu na celkové výrobě elektrické energie, ale slouží jako doplňkové zdroje energie pro okamžité vyrovnání energetické bilance v elektrizační soustavě².

V mé bakalářské práci jsem se rozhodla věnovat malým vodním elektrárnám, jelikož cítím, že nevyčerpatelné zdroje hrají ve vývoji energetiky velkou roli a zejména hydroenergetika mi je v tomto ohledu velmi blízká. MVE vnímám jako instalace s velkým technologickým a ekonomickým potenciálem do budoucna a také si myslím, že na území našeho státu jsou stále nevyužité lokality pro jejich realizaci či modernizaci a současně zachovávají historickou hodnotu objektů, připomínají tak kroky k vyspělosti moderní technické společnosti. Cílem mé práce je tedy představit postup návrhu MVE, a zároveň vymodelovat projekt pro konkrétní parametry. Navrhovaná elektrárna je uvažována na místě stávající průtočné, derivační MVE Vilémov u Rokytnice nad Jizerou, která byla v roce 2017 zrekonstruována a znovu uvedena do provozu. Dále se zaměřím na technickoekonomické porovnání obou variant (původní a mnou navržené provedení) a jejich celkové vyhodnocení efektivnosti. Potřebná data pro návrh v určité lokalitě jsem získala ze stavební dokumentace stávající stavby a ČHMÚ.

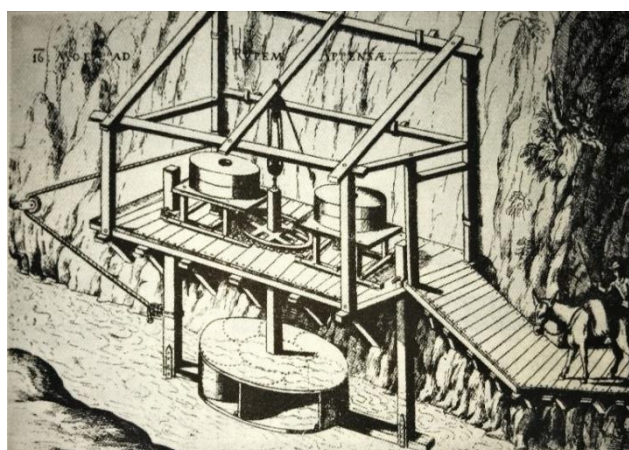
¹TICHÝ, Ivo. V ČR prý začnou vnikat další malé vodní elektrárny. In: *Naše voda: Informační portál o vodě* [online]. 11.12.2019 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://www.nase-voda.cz/rozhovor-cr-pry-zacnou-vnikat-dalsi-male-vodni-elektrarny/?doing_wp_cron=1614716910.4220159053802490234375

² O vodní energetice. SKUPNA ČEZ [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-vez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice> (volně přeneseno)

2. TEORIE VODNÍCH ELEKTRÁREN

2.1 Krátký úvod do historie hydroenergetiky

Pokud se poohlédneme do minulosti, zjistíme, že energie vody je historicky nejdéle využívanou formou energie v přírodě a dostala se do podvědomí lidstva již ve středověku, již tehdy pomohla vytvořit potřebný technický základ pro další rozvoj. První zmínka o konstrukci vodního kola s vertikální hřídelí (Obr. 1)³ odkazuje na 2. století př. n. l. do západní části Balkánského poloostrova, kde tento primitivní motor sloužil pro pohon mlýnských kamenů. Staletý vývoj technologie přinesl ve 14. století konstrukci korekčníků (vodní kola se svrchním nátokem) s 2 x větším výkonem. Až v 18. století se realizace vodních kol dočkala empirického zkoumání a dostáváme se k vrcholnému vývoji tohoto stroje, na což reagovala nová řešení vodních motorů na základě reakčního principu, tj. předchůdci vodních turbín. Realizace první provozuschopné turbíny z roku 1827 je připisována Benoitu Fourneyronovi, k jejíž regulaci se využíval válcový uzávěr. Na konci 19. století se energie vodního toku začala navíc používat i k výrobě elektrické energie pro osvětlovací potřeby (první MVE v Americe a Anglii), ale problémem primitivních vodních elektráren byla neschopnost přenosu energie na větší vzdálenosti, proto k nástupu efektivnější hydroenergetiky došlo až na počátku 20. století, kdy nastal rozvoj elektrizační soustavy⁴.



Obr. 1. – Vodní kolo s vertikální hřídelí, [2]

³ BEDNÁŘ, Josef. Malé vodní elektrárny 2: Turbíny. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989, str. 23

⁴ ŠTÍPSKÝ, Pavel. Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR: Reálně využitelný potenciál rozvoje MVE pro období 2020 – 2030. In: Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s. [online]. Praha, 2018, s. 44 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf (volně přeneseno).

2.2 Princip fungování vodních elektráren

Vodní elektrárny obecně pracují na základě využívání potenciální a kinetické energie toku. Velmi zjednodušeně lze princip fungování hydroelektrárny popsat následovně: turbíně je předávána energie přitékající vody, která následně roztočí elektrický generátor, nacházející se na společné hřídeli (společně tvoří tzv. turbogenerátor), v generátoru se mění mechanická energie proudící vody na elektrickou, která se dále transformuje a odvádí do míst spotřeby. Turbogenerátor bývá většinou součástí hydrocentrály⁵.

2.3 Základní rozdělení vodních elektráren

2.3.1 Rozdělení vodních elektráren dle velikosti instalovaného výkonu

Toto dělení⁶ lze v souladu s normou ČSN 75 0120 - *Vodní hospodářství. Technologie hydrotechniky*⁷ interpretovat následovně.

- **Velké** s instalovaným výkonem nad 200 MW,
- **střední** s instalovaným výkonem v rozmezí (10 – 200) MW,
- **malé** s instalovaným výkonem do 10 MW.

Malé vodní elektrárny je možné ještě jednoznačně dělit na:

- **průmyslové** s instalovaným výkonem v rozmezí (1 – 10) MW,
- **minielektrárny** s instalovaným výkonem v rozmezí (100 – 1000) kW,
- **mikroelektrárny** s instalovaným výkonem v rozmezí (35 – 100) kW,
- **domácí** s instalovaným výkonem do 35 kW.

2.3.2 Rozdělení vodních elektráren dle způsobu provozu

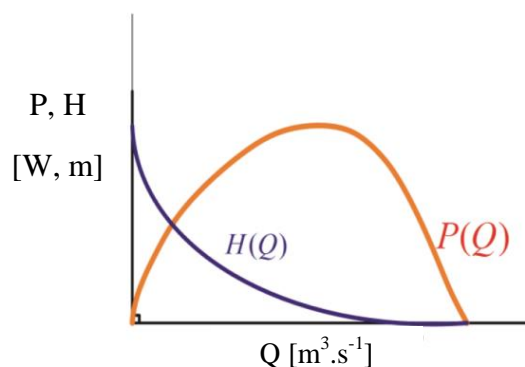
Tomuto rozdělení dominují dva typy elektráren, a to průtočné a akumulární (regulační). Průtočné vodní elektrárny pracují v základní části denního diagramu zatížení (DDZ), tedy téměř neustále. Jejich výkon není možné jednoduše regulovat, neboť je dán momentálním průtokem vody řečištěm.

⁵ MASTNÝ, Petr, Jirí DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 130

⁶ MASTNÝ, Petr, Jirí DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 16, 17

⁷ ČSN 75 0120. *Vodní hospodářství - Terminologie hydrotechniky*. Praha: Český agentura pro standardizaci, 2009, 166 s.

Tento způsob provozu neumožňuje energii efektivně akumulovat a nedokáže se tak přizpůsobit požadavkům odběru v soustavě. Problém může nastat u elektráren s malým spádem, jejichž spád se s průtokem mění a může tak dojít k vyrovnání obou hladin, což se projeví na velikosti výkonu, jak je ilustrováno na Obr. 2⁸.



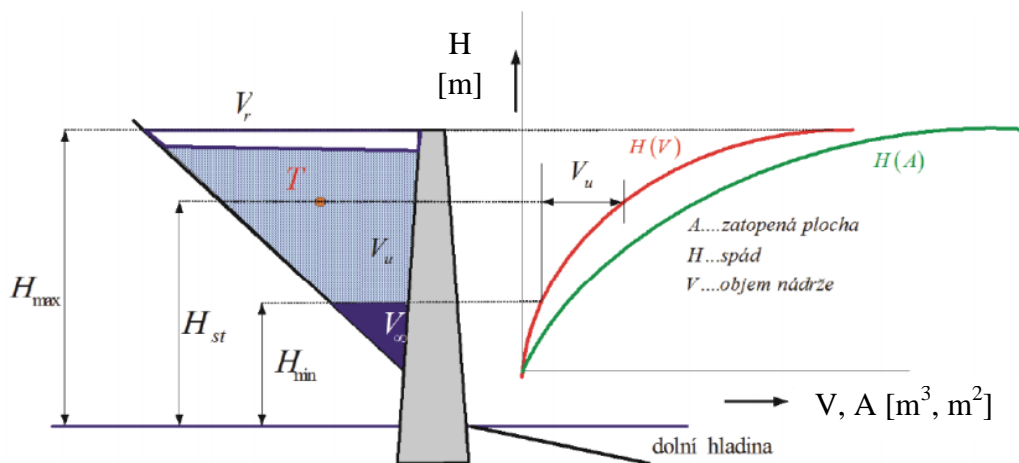
Obr. 2- Závislost výkonu a spádu na průtoku, [17]

Akumulační VE pracují na rozdíl od průtočných VE v pološpičkové či špičkové části DDZ, jsou tedy schopny okamžitého najetí na maximální výkon a „startu ze tmy“. Charakteristickým rysem tohoto typu elektráren je akumulací prostor (přirozený: jezero, rybník, umělý: údolní přehrada, derivační kanál), ve kterém je umožněno shromáždit potenciální vodní energii. Akumulační nádrž musí být dostatečně objemná, aby zajistila akumulaci energie po dobu T , která může být v rozmezí hodin až roků. Na Obr. 3⁹ je znázorněno poměrné rozdělení objemu nádrže na jednotlivé složky, a to, na objem stálého zadržení (nejnižší hladina, pod kterou se již voda neodebírá), užitý objem V_u (objem mezi maximální a minimální hladinou) a retenční objem V_r (slouží k ochraně před povodněmi). Nejefektivnějšími akumulacími VE jsou přečerpávací VE (v ČR: Dlouhé Stráně, Štěchovice II, Dalešice), přečerpávací VE pracují na principu rozdílně umístěných nádrží, a to horní a dolní nádrže, které jsou vzájemně spojeny potrubím. Regulační vodní elektrárny jsou však velmi častým terčem kritiky ochránců přírody, zejména v případě výstavby umělých nádrží, které výrazně mění ráz okolní krajiny¹⁰.

⁸ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 139

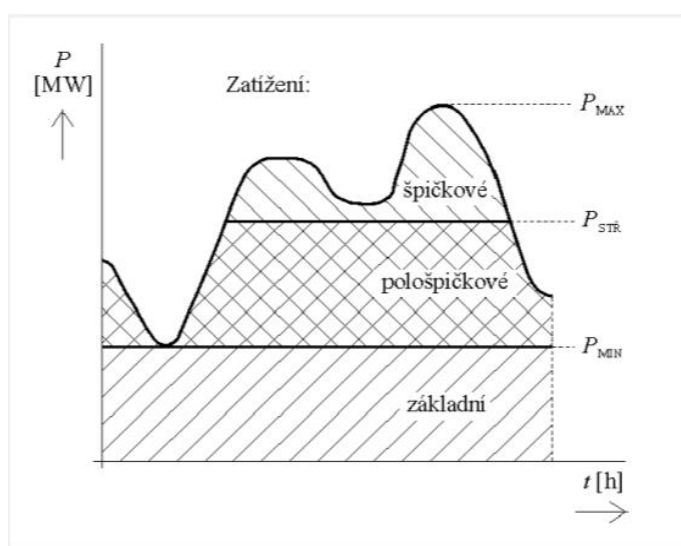
⁹ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 140

¹⁰ ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Hydroenergetika v současném energetickém mixu ČR*. Energetika: Odborný časopis pro elektrárny, teplárny a užití energie [online]. 2020, 2020, 70(5), 3 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: www.casopisenergetika.cz. Str. 285



Obr. 3- Znárodnění rozdělení objemu akumuláční nádrže, [17]

Diskutovaný DDZ je uveden na Obr. 4¹¹, kde si je možné povšimnout jednotlivých graficky odlišených úseků. Pojmem DDZ se rozumí závislost výroby (spotřeby) elektrické energie, tj. činného elektrického výkonu v čase [hod]. Základní zatížení, které se nachází pod minimálním zatížením a je specifické pro jaderné, tepelné a průtočné vodní elektrárny, jimiž vyrobená energie je levná, špatně regulovatelná, vyráběna neustále. Pološpičkové zatížení, které se nachází mezi minimálním a středním zatížením, je charakteristické pro akumuláční a paroplynové elektrárny, jejichž výroba energie je dobře regulovatelná, ale ekonomicky nevýhodná. Špičkové zatížení se nachází nad maximálním zatížením, patří sem rychle regulovatelné zdroje, tedy přečerpávací vodní a paroplynové elektrárny¹².



Obr. 4- Krytí DDZ různými typy zdrojů elektrické energie, [27]

¹¹SALABA, Tadeáš. *Zdroje elektrické energie*. Informační portál energetické gramotnosti [online]. Praha, 2018, 08.10.2018 [cit. 2021- 03- 07]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/zdroje-elektricke-energie>

¹² tamtéž (volně přeneseno)

2.3.3 Rozdělení vodních elektráren dle získaného a využívaného spádu

Nejvýznamnějšími provozními parametry jsou spád $H [m]$ a jmenovitý průtok $Q [m^3 \cdot s^{-1}]$, jejichž vazba, tedy (měrná) potenciální energie $E [J \cdot kg^{-1}]$, je dána přírodními podmínkami v místě stavby¹³. Podle systému soustředění vodní energie a přívodu vody k turbíně lze instalace dělit dle kritérií níže na:

- **přehradní a jezové**, které využívají vzdouvací zařízení, spád je tedy vytvořen uměle,
- **derivační**, které uměle odvádí vodu mimo hlavní tok pomocí derivačního přivaděče (kanál, potrubí, ...),
- **přehradně derivační**, zde dochází ke kombinaci předchozích dvou typů,
- **přečerpávací**, založené na soustavě dvou nádrží (akumulační vodní elektrárny),
- **slapové**, využívající přílivu a odlivu.

Podle velikosti využívaného spádu se vodní elektrárny dělí na¹⁴:

- **vysokotlaké**, využívající spád nad 100 m,
- **středotlaké**, využívající spád v rozmezí (20 ÷ 100) m,
- **nízkotlaké**, využívající spád do 20 m.

2.4 Význam MVE

2.4.1 Výhody spojené se stavbou MVE

Malé vodní elektrárny, obnovitelné zdroje obecně, jsou velmi šetrné k životnímu prostředí, v porovnání například s elektrárnami uhelnými. Mají minimální provozní náklady a téměř nulové náklady na potřebné palivo a jeho těžbu, pro porovnání uvádím úměru mezi spotřebovaným palivem vodní a uhelné elektrárny: „1 kWh elektrické energie vyrobené ve vodní elektrárně představuje úsporu přibližně 1 kg kvalitního uhlí.“¹⁵ Díky snadné údržbě a malé poruchovosti je stavba MVE ekonomicky výhodná, což se projeví i relativně krátkou dobou návratnosti investice, jak je znázorněno v Tab. 1¹⁶.

¹³ MASTNÝ, Petr, Jirí DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 137

¹⁴ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 16

¹⁵ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989, 240 s. T 10059/2. Str. 61

¹⁶ tamtéž

Relativní měrné investiční náklady [Kč]		
	Investiční na 1 kW	Výrobní na 1 kWh
Tepelná elektrárna	1,00	1,00
Jaderná elektrárna	1,33	0,89
Vodní elektrárna	1,16	0,62
MVE	1,47	0,57

Tab. 1- Relativní měrné investiční a výrobní náklady různých typů elektráren, [2]

Neodmyslitelnou službou VE je regulace vodního průtoku a hospodaření s vodou. Nádrže některých akumulacích elektráren slouží jako prevence proti povodňovým vlnám, přispívají ke splavnosti toků, jsou zásobárnami pitné vody a současně mohou sloužit k rekreaci¹⁷. Záměrem výstavby je však nejčastěji jejich význam v elektrizační soustavě, jelikož jsou levným zdrojem jalové energie, která zmenšuje ztráty v sítích vysokého napětí, a současně díky rozptýlené dislokaci nepřetěžují základní přenosovou soustavu. Jmenovitě špičkové (akumulační) VE jsou důležité pro pokrývání rychlých výkonových změn (najetí z nulového na maximální výkon cca za 2 s) a u přečerpávacích VE zejména pro pokrytí DDZ v čase velkého zatížení soustavy či při blackoutu¹⁸. Nelze však zapomenout i na historickou hodnotu, jež zejména stará vodní díla vykazují. Jako příklad na Obr. 5¹⁹ MVE Čeňkova pila.



Obr. 5- MVE Čeňkova pila (v provozu od roku 1912), [1]

¹⁷SVOBODA, Zbyněk. *Nevyužitý hydropotenciál v ČR a energetické využití vodních zdymadel*. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D. Str. 5

¹⁸BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989, 240 s. T 10059/2. (volně přeneseno)

¹⁸ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Hydroenergetika v současném energetickém mixu ČR*. Energetika: Odborný časopis pro elektrárénství, teplárenství a užití energie [online]. 2020, 2020, 70(5), 3 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: www.casopisenergetika.cz. Str. 286

¹⁹ČEZ, Skupina. *Malá vodní elektrárna Čeňkova pila*. SKUPNA ČEZ [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobní-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektrarny/ceska-republika/cenkova-pila-58167>

2.4.2 Nevýhody spojené se stavbou MVE

Zásadní nevýhodou jakéhokoliv obnovitelného zdroje energie, je závislost na přírodních podmínkách, tj. počasí, které je nevyzpytatelné a velmi proměnlivé. U fotovoltaických systémů se jedná o závislost na intenzitě slunečního záření, u větrných elektráren o intenzitu a směr větru, u vodních elektráren o momentální průtok a spád. Na vyjmenovaných parametrech následně závisí i množství vyrobené energie, tedy ekonomická výnosnost investice, která je díky nestálým podmínkám výroby pro každé roční období odlišná (nižší/vyšší než optimální) a v případě VE, jejichž investiční náklady jsou vysoké, rozhodující pro existenci budoucí stavby.

MVE, jako i jiné technické stavby, způsobují trvalý zásah do krajiny²⁰ a svým působením ovlivňují okolí, což může vést například k tvoření usazenin a stojaté vody, ke snížení hladiny a průtoku v milieiu. Kvůli uvedeným nedostatkům jsou MVE i jiné VE negativně hodnoceny rybáři či milovníky vodních sportů.

2.4.3 Význam a rozvoj MVE v ČR

Od 30. let 20. století, kdy bylo na našem území nejvíce zaznamenaných lokalit, využívajících vodní energii, přesněji kolem 15 000, počet nově vzniklých objektů prudce klesal a dnes je náš hydroenergetický potenciál využíván jen k výrobě elektřiny a využit jen z 26 %²¹. Mimo jiné se v průběhu dekad změnila legislativa státu a všechny subjekty (fyzické i právnické osoby), realizující výrobu elektřiny musí činit dle vydané licence a energetického zákona č. 458/2000 Sb.: *Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů*²². Pro zachování prosté návratnosti nominální hodnoty investice ve výstavbě MVE byl vytvořen model provozní a investiční podpory, který po dobu 15 let zajišťuje ekonomickou životnost díla.

²⁰ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR: Reálně využitelný potenciál rozvoje MVE pro období 2020 – 2030*. In: Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s. [online]. Praha, 2018, s. 44 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf. Str. 10

²¹MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 18, 19

²²Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů (energetický zákon). *Sbírka zákonů*. 28. 11. 2000. ISSN 1211-1244.

„Životnost MVE je stanovena dle zákona č. 586/1992 Sb.: Zákon české národní rady o daních z příjmu ve znění pozdějších předpisů, zákona č. 180/2005 Sb.: Zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a vyhlášky č. 296/2015 Sb.: Vyhláška o technickoekonomických parametrech – na 30 let²³.“

Provozní podpora je realizována formou garance výkupní ceny (FIT) či pomocí zelených bonusů²⁴ (FIP), tj. pokud výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů energií sám spotřebovává, je možné nabídnout přebytky této energie k odkoupení některému z obchodníků.

Tab. 2²⁵ je výstupem statistické studie SPVEZ (Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z.s.) k 31. 12. 2017 a tudíž přehledovým výstupem pro představu o počtu MVE v ČR, jejich instalovanému výkonu a celkové výrobě elektrické energie za rok 2017.

Výkonový rozsah MVE [MW]	Počet [ks]	Instalovaný výkon [MW]	Výroba [MWh.rok ⁻¹]
0 – 0,1	991	38,0	115 886
0,1 – 1,0	405	118,0	395 440
1,0 - 5,0	51	119,0	408 624
5,0 – 10,0	10	75,0	202 446
Celkem	1475	350,0	1 112 396

Tab. 2- Přehled ročních statistických údajů MVE za rok 2017, [32]

²³ ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR: Reálně využitelný potenciál rozvoje MVE pro období 2020 – 2030*. In: Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s. [online]. Praha, 2018, s. 44 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf. Str. 36

²⁴ ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR: Reálně využitelný potenciál rozvoje MVE pro období 2020 – 2030*. In: Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s. [online]. Praha, 2018, s. 44 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf. Str. 36

²⁵ tamtéž

Tab. 3²⁶ je také výstupem obdobné statické studie s hypoteticky uvažovaným obdobím od roku 2020 do roku 2030.

Výkonový rozsah MVE [MWh]	Počet [ks]	Instalovaný výkon [MW]	Průměrný instalovaný výkon [MW]
0 – 0,035	1 000 – 2 000	10,0 – 20,0	0,001
0,035 – 0,1	50 – 100	3,0 – 6,0	0,06
0,1 – 0,5	24 – 30	4,8 – 6,0	0,2
0,5 – 1,0	8	5,6	0,7
1,0 – 5,0	3 – 5	9,0 – 15,0	3,0
5,0 – 10,0	0	0	0
Celkem	1085 - 2143	32,4 – 52,6	

Tab. 3- Přehled statistických údajů MVE v rozmezí let 2020 – 2030, [32]

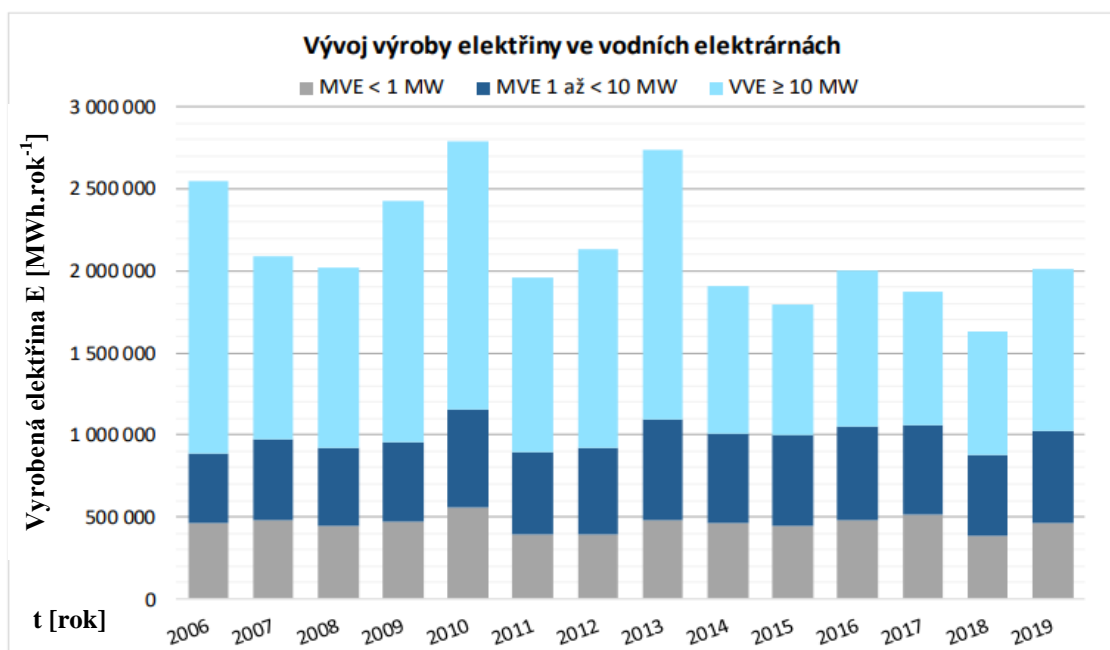
Z obsahu tabulek je patrné, že velký hydroenergetický „boom“ nás v následujících deseti letech nečeká. Je možné, že se celkový počet MVE až o 668 kusů navýší, ale bude se jednat převážně o malá vodní díla s výkonovým rozsahem $0 \div 0,1$ MW, na úkor tohoto trendu zaniknou větší instalace s instalovaným výkonem nad 0,2 MW a jejich počet se nebude do budoucna zvyšovat. Tím pádem přijdeme až o 317,6 MW instalovaného výkonu, a v příštích deseti letech se instalovaný výkon MVE bude pohybovat na hladině 9,5 % \div 15,5 % stávajícího instalovaného výkonu. Současně dojde k poklesu roční vyrobené energie v MVE, která v roce 2019 činila 1 023 025 MWh, tj. 50,95 % z celkové výroby VE, viz Obr. 6²⁷. Od roku 2006 do roku 2013 je patrný největší nárůst výroby právě díky zavedení podpory OZE.

Data pro zpracování získává Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) od Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Z grafu na Obr. 6 je mimo jiné zřejmé, že elektřina vyrobená ve vodních elektrárnách od roku 2014 nepřekročila výrazněji hranici 2 000 000 MWh ročně. Její pokles v měřítku s ostatními OZE lze dále sledovat na Obr. 7²⁸.

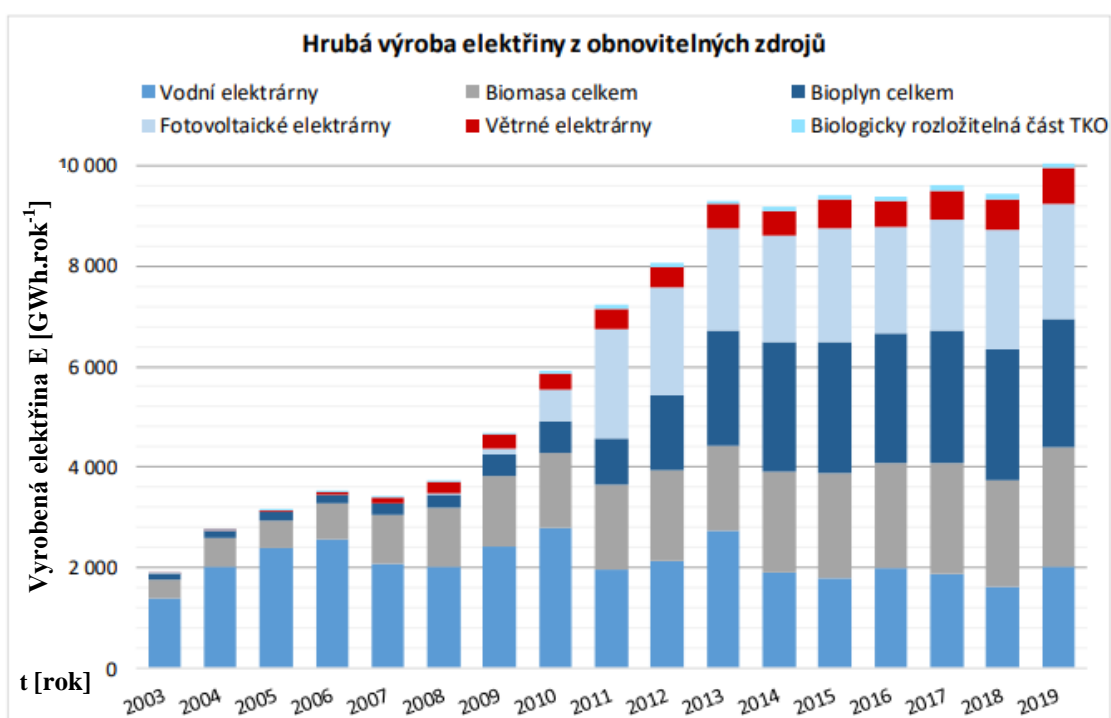
²⁶ ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR: Reálně využitelný potenciál rozvoje MVE pro období 2020 – 2030*. In: Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s. [online]. Praha, 2018, s. 44 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf. Str. 37

²⁷ MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Obnovitelné zdroje energie v roce 2019: Výsledky statistického zjišťování* [online]. In: Praha, 2020, s. 67 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2020/9/Obnovitelne-zdroje-energie-2019_2.pdf. Str. 51

²⁸ MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Obnovitelné zdroje energie v roce 2019: Výsledky statistického zjišťování* [online]. In: Praha, 2020, s. 67 [cit. 2021-03-11]. Dostupné z:



Obr. 6- Vývoj výroby elektřiny v letech 2006 - 2019, [20]



Obr. 7- Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů v letech 2003 - 2019, [20]

Evidentně je dle Obr. 7 možné rozložit podíl na výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů v ČR. Z grafu je také očividné, že výroba elektřiny VE měla v rozmezí let 2003 ÷ 2019 velký potenciál a zastávala nemalé procento celkové výroby elektřiny OZE, ačkoli je výsledná výroba elektřiny v roce 2003 ve VE nejnižší za sledované období.

Tato minimální produkce byla způsobena povodněmi v roce 2002 a následnými opravami vodních děl. Od roku 2011 se začaly do popředí dostávat fotovoltaické elektrárny (díky jejich podpoře a popularitě v ČR od roku 2010) a biomasa, které dosáhly téměř stejné hodnoty vyrobené elektřiny, jako VE. V roce 2013 se zvýšil podíl na výrobě elektřiny v bioplynových stanicích a zmíněné tři zdroje od roku 2014 přebírají prvenství ve výrobě elektřiny z OZE na úkor vodních elektráren. Následně je možné konstatovat, že díky stále většímu podílu OZE na výrobě elektrické energie státu, dochází k tzv. demokratizaci energetiky, čemuž lze rozumět tak, že každý z občanů státu se může zapojit do výroby elektrické energie²⁹.

Je těžké konkrétně stanovit, čím je způsobena snižující se hodnota nově vznikajících MVE a jiných hydroenergetických děl, potažmo snižující se vyrobená energie těmito obnovitelnými zdroji i přesto, že Česká republika disponuje kvalifikovaným personálem i dostatkem společností, které se zabývají technologií vodních strojů. Jistě může být na vině pokles hladin řek a nedostatek srážek, ale závažnější překážkou budou spíše jiné faktory³⁰, jako ekonomická nenávratnost investice, způsobená nestabilním právním prostředím. Například přijetí zákona č. 165/2012 Sb.: *Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů*³¹, který mění pravidla podpor, které dle daných ustanovení nejsou v případě některých OZE realizovatelné. Nedostatek lokalit pro výstavbu nových děl (mnoho potenciálních stavebních ploch se nachází v chráněných krajinných oblastech), riziko negativního ovlivnění prostředí či narušení klidu v rekreačních zónách, nedostatek investic pro modernizaci nebo výměnu strojní části stávající stavby - poslední velké úpravy zejména MVE byly prováděny v 80. letech 20. století, kdy nastal problém s deficitem výkonu v propojených přenosových soustavách, který způsoboval pokles frekvence a tím pádem i špatnou kvalitu přenášené energie a funkčnost celé soustavy, což vedlo k podpoře podnikání s MVE³².

²⁹ KNÁPEK, Jaroslav. *Úvod do ekonomiky energetiky*. ČVUT, Fakulta elektrotechnická. Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5982> (volně přeneseno)

³⁰ ŠTÍPSKÝ, Pavel. *Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR: Reálně využitelný potenciál rozvoje MVE pro období 2020 – 2030*. In: Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s. [online]. Praha, 2018, s. 44 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf. Str. 38

³¹ Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů. Sbírka zákonů. 31. 01. 2012. ISSN 1211-1244

³² KNÁPEK, Jaroslav. *Úvod do ekonomiky energetiky*. ČVUT, Fakulta elektrotechnická. Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5982> (volně přeneseno)

3. VÝBĚR LOKALITY PRO NÁVRH MVE

Parametry, které nejvíce ovlivňují výběr lokality pro stavbu, tj. využitelnost vodního toku, jsou využitelný spád a průtok říčním profilem. Spád je možné definovat jako výškový rozdíl hladin před a za elektrárnou, lze jej dále dělit na hrubý (celkový) spád H_h , který je určen rozdílem hladin při nulovém průtoku vodní elektrárnou (tzv. výšková nivelace) a užitný (čistý) spád H , který započítává hydraulické ztráty a představuje tím skutečně využitelný spád. Průtočné množství v daném profilu, tedy průtok Q , je možné zjistit na stránkách ČHMÚ či správy povodí. Průtok je možné dohledat v podobě dlouhodobého průměrného průtoku dané lokality Q_a , v podobě N – letých či M – denních průtoků (údaj vychází z naměřených dat a určuje minimální průtok po dobu M dní/ N let), nebo jako roční průtokovou závislost³³.

Existuje samozřejmě více faktorů, které ovlivňují výběr místa, například dopad na okolní krajinu a obyvatele, dostupnost, vyvedení výkonu z elektrárny, vzdálenost od přípojky s dostatečnou kapacitou, dodržování objemu sjednaného množství vody, míra naplavenin³⁴.

Pro realizaci návrhu jsem si vybrala lokalitu stávající MVE Vilémov. Která se nachází na levém břehu řeky Jizery asi 250 m nad Havírenským potokem v obci Rokytnice nad Jizerou v Libereckém kraji, viz Obr. 8³⁵. Je třeba podotknout, že dílo bude situováno ve zvláště chráněném území Krkonošského národního parku (KRNAP).

Stavba musí být řešena v souladu s okolím tak, aby nenarušovala krajinný ráz, splňovala požadavky Správy KRNAP a stavebního zákona, č. 183/2006 Sb., *Zákon o územním plánování a stavebním řádu, ve znění pozdějších předpisů*³⁶. Výhodou lokality je odlehlost od zástavby, odpadají tedy možné problémy s blízkými obyvateli. Navrhované vodní dílo bude stát na pozemcích bývalé továrny, ke které byla původně připojena stará elektrárna.

³³PŘÍRODOVĚDNÁ FAKULTA UNIVERSITY KARLOVY. *Hydroenergetika: (Malé vodní elektrárny)* [online]. In: 2003 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/sbv/soubory/t/hydra.pdf> (volně přeneseno)

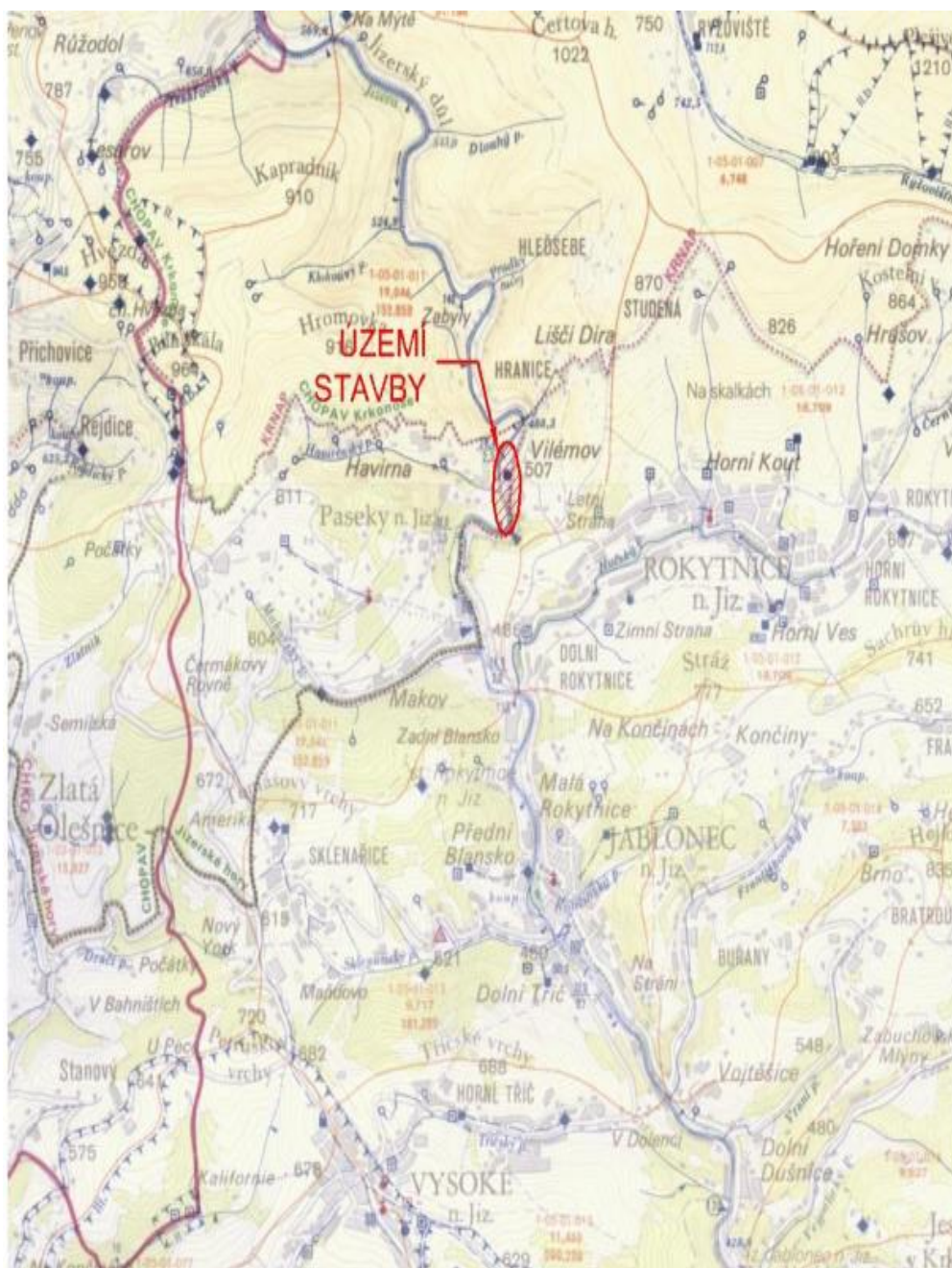
³⁴MORÁVEK, Jan. *Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30288. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Lukáš Radil. Str. 13, 14

³⁵KAHUDA, Marek. *Rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc. Str. 7

³⁶Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Sbírnka zákonů. 10. 11. 2006. ISSN 1211-1244.

Rozpadlé tovární budovy byly zdemolovány a v roce 2016 došlo k výstavbě nové strojovny a rekonstrukci přilehlých objektů stávající elektrárny³⁷.

Jak již bylo zmíněno, nová vodní elektrárna bude situována v údolí řeky Jizery, která dle ČHMÚ (zájmový úsek 138,2 říční km v profilu jezu Vilémov) vykazuje normální vodnost.



Obr. 6- Zájmové území pro MVE Vilémov, [11]

³⁷KONEJL, Marek a KRAML, Karel. Projekt pro stavební povolení stavby MVE Vilémov, Stream s.r.o., Praha, 2016. (volně přeneseno)

3.1 Hydroenergetický potenciál

Hydroenergetický potenciál vodního toku je celková energie odtékající vody, která se nejčastěji udává jako průměrná hodnota za 1 rok. Primární hydroenergetický potenciál je rozptýlen v řekách nebo jiných vodních tocích, sekundární hydroenergetický potenciál se tvoří v přečerpávacích elektrárnách³⁸. Hydroenergetický potenciál je třeba znát pro výběr turbíny a dalších strojních částí elektrárny, popřípadě pro jejich dimenzování a regulaci vodního toku.

Jednoduchý výpočet primárního hydroenergetického potenciálu vychází ze snadné fyzikální úvahy: „*Protéká-li každou sekundu množství Q [$m^3 \cdot s^{-1}$] kapaliny o měrné hmotnosti ρ [$kg \cdot m^{-3}$], výškový rozdíl H [m] ve smyslu zemské tíže, koná každou sekundu práci, čili odevzdá výkon P [W].*³⁹“ Výše odvozený vztah (3.1)⁴⁰ je uveden níže.

$$P_{MVE} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H = \dot{m} \cdot E_c \quad [W] \quad (3.1)$$

Kde E_c [$J \cdot kg^{-1}$] je celková měrná energie vody, která vychází z Bernoulliho rovnice a lze ji rozdělit na tři složky, potenciální (E_h), tlakovou (E_p) a kinetickou (E_k). Jelikož jde o přemístění kapaliny v přítomném okamžiku, odpovídá měrná energie vody výkonu P [W]. E_c [$J \cdot kg^{-1}$] je vyjádřena vztahem (3.2)⁴¹.

$$E_c = g \cdot H + \frac{p}{\rho} + \frac{c^2}{2} = E_h + E_p + E_k \quad [J \cdot kg^{-1}] \quad (3.2)$$

kde:

g ... tíhové zrychlení [$m \cdot s^{-2}$] = 9,81 $m \cdot s^{-2}$,

H ... výška nad srovnávací rovinou [m],

p ... tlak [$N \cdot m^{-2}$],

c ... rychlost [$m \cdot s^{-1}$],

ρ ... měrná hmotnost vody [$kg \cdot m^{-3}$] = 1000 $kg \cdot m^{-3}$.

³⁸MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 21

³⁹MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 21

⁴⁰MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 21

⁴¹MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 131

Pro výpočet hydroenergetického potenciálu mezi dvěma body 1 ÷ 2 lze využít vztah (3.2) a upravit ho do podoby (3.3)⁴².

$$E_{1-2} = g \cdot (H_1 - H_2) + \frac{(p_1 - p_2)}{\rho} + \frac{(c_1^2 - c_2^2)}{2} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3.3)$$

Podstatnou složkou pro výpočet výkonu vodní turbíny je zejména potenciální složka, a proto můžeme přejít ke zjednodušení, které plynule vychází ze vztahů (3.1) a (3.2). Viz vztah (3.4)⁴³.

$$E_{1-2} = g \cdot H \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3.4)$$

Ze vztahu (3.4) plynule vychází vzorec pro výpočet výkonu vodní turbíny, jako (3.5)⁴⁴.

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot E_{1-2} \cdot \eta_t \quad [\text{W}] \quad (3.5)$$

kde:

$\eta_t = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m$... celková účinnost vodní turbíny (0, 8 ÷ 0, 9) [%],

η_v ... objemová účinnost respektující ztrátu průtokového množství [%],

η_h ... hydraulická účinnost respektující hydraulické ztráty [%],

η_m ... mechanická účinnost respektující mechanické ztráty [%].

Teoretický hydroenergetický potenciál lze vypočítat jako integrál potenciálů jednotlivých úseků toku, viz vztah (3.6).⁴⁵ Pro určení průtokového množství se provádějí dlouhodobá hydrometeorologická měření, z nichž se posléze sestaví chronologické čáry průtoků a křivka trvání průtoků. Pro stanovení potenciální energie toku se využívají poměrné roční doby trvání průtoků v hodnotách: $Q_{25\%}$, $Q_{50\%}$ (střední průtok), $Q_{95\%}$ (minimální průtok). Procento udává v kolika případech je daný průtok překročen⁴⁶.

⁴² MASTNÝ, Petr, Jirí DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 131

⁴³ tamtéž

⁴⁴ MASTNÝ, Petr, Jirí DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 132

⁴⁵ tamtéž, str. 131

⁴⁶ SVOBODA, Zbyněk. *Nevyužitý hydropotenciál v ČR a energetické využití vodních zdymadel*. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D. Str. 11

Následuje vztah pro výpočet teoretického hydroenergetického potenciálu (3.6).

$$E_T = g \cdot \int_0^H Q(H) \cdot dH \quad [\text{W}] \quad (3.6)$$

kde:

$Q(H)$... střední objemový průtok elementu toku [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

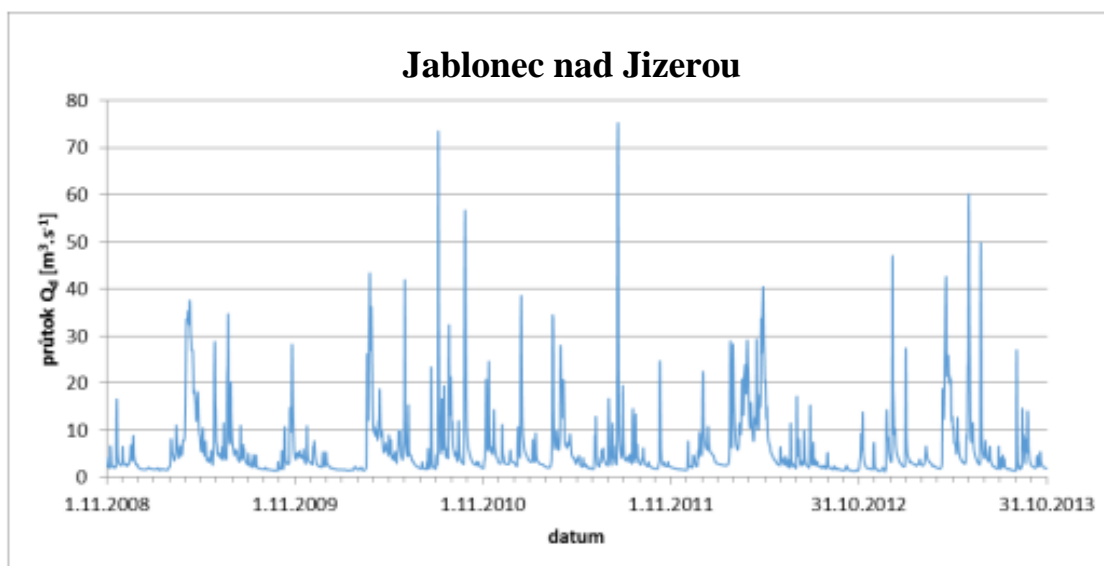
H, dH ... spád mezi začátkem a koncem toku a jeho element [m].

Technicky využitelný potenciál je asi o 50 % menší, než teoreticky využitelný potenciál, při jehož výpočtu neuvažujeme ztráty (třecí, místní, při převodu energie) ani jiné překážky (komunikace, města, další objekty). Teoreticky využitelný potenciál zanedbává i velikost sanačního průtoku z celkového Q . Sanační průtok či hygienický průtok je minimální stálý průtok v místě odběru, který je nutno dodržovat.

3.1.1 Výpočet hydroenergetického potenciálu vybrané lokality

Abychom mohli určit hydroenergetický potenciál, potažmo teoretický výkon elektrárny, musíme zjistit základní hydrologické údaje dané lokality. Potřebné údaje lze získat z ČHMÚ nebo ze stavební dokumentace původní stavby. Řeka Jizera, které náleží jez Vilémov, disponuje „normální“ vodností po celý rok, na Obr. 9⁴⁷ je vynesena závislost průměrných denních průtoků na jednotlivých dnech řeky Jizery (ve spádové oblasti Jablonec nad Jizerou). M – denním průtokem se rozumí počet dní v roce (M), při kterých je překročen/dosažen dlouhodobý průměr průtoku měřeného úseku. V souvislosti s řekou Jizerou můžeme hovořit o normální vodnatosti právě z toho důvodu, že M – denní průtok je překročen/dosažen 184 – 274 dní v roce.

⁴⁷ ČHMÚ. *Kategorie vodnosti toků*. Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/vodnosti/vodnosti.html>



Obr. 9- Průměrné denní průtoky řeky Jizery ve spádové oblasti Jablonec nad Jizerou v letech 2008 - 2013, [5]

Dalšími potřebnými daty pro výpočet jsou⁴⁸:

plocha povodí ... $A = 142,723 \text{ km}^2$,

dlouhodobý průměrný průtok ... $Q_a = 4,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,

provozní čistý spád ... $H = 6,1 \text{ m}$.

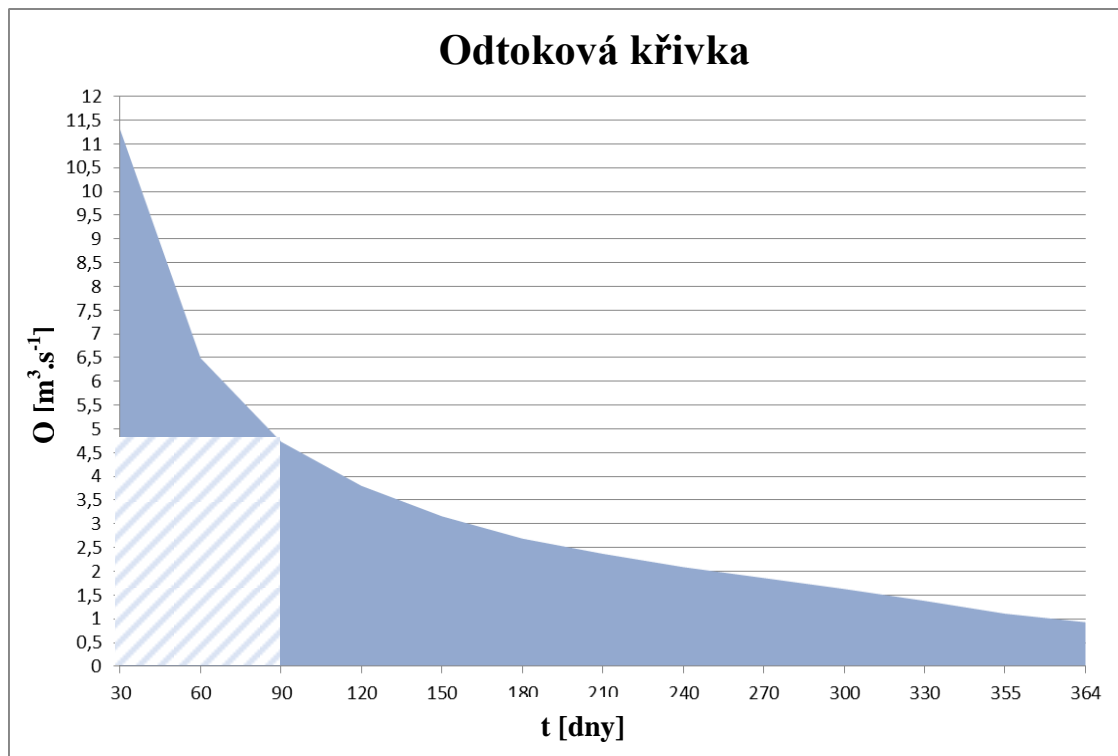
Tabulka M – denních průtoků, profil jez Vilémov (Tab. 4)

M - denní průtoky	
Období t [dny]	Průtok Q [m ³ .s ⁻¹]
30	11,30
60	6,49
90	4,73
120	3,80
150	3,16
180	2,69
210	2,37
240	2,09
270	1,86
300	1,63
330	1,38
335	1,11
364	0,93

Tab. 4- M - denní průtoky, profil jez Vilémov, [14]

⁴⁸ KONEJL, Marek a KRAML, Karel. *Projekt pro územní rozhodnutí MVE Vilémov*. Stream s.r.o., Praha, 2016. Str. 5, 21

Z důvodu lepší přehlednosti byla z Tab. 4 vyhotovena tzv. odtoková křivka, tj. čára překročení denních průtoků, Obr. 10.



Obr. 7- Odtoková křivka

Odtoková křivka je velmi důležitá zejména pro představu při určování optimální hltnosti a provozního průtoku navrhovaného vodního motoru, tak aby přeměna energie probíhala co nejefektivněji po dobu co nejvíce dnů v roce. Šrafovanou plochou je v grafu vyznačen optimální chod turbíny (stav, na který bude turbína dimenzována). Aby bylo možné vypočítat teoretický výkon, potřebujeme průtok. Provozní průtoky se pohybují v rozmezí $(1 \div 4) \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

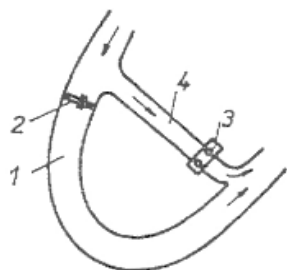
Průměrný průtok $Q_a = 4,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je dosažen/překročen po dobu 90 dní v roce. Q_a lze tedy brát jako Q_{90} . Výpočet teoretického výkonu je proveden níže.

$$P_{MVE} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H = 4,73 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,1 = 283,047 \text{ kW}$$

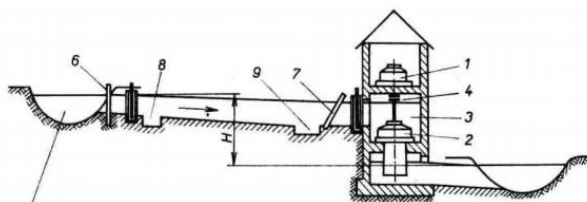
Nesmím opomenout fakt, že teoretický výkon je zhruba o 50 % větší, než technicky využitelný výkon turbínou, který se bude dále měnit dle vztahu (3.5) v závislosti na výběru turbíny, generátoru, transformátoru, převodu a jejich účinnosti.

3.2 Dispoziční řešení elektrárny

Ve svém návrhu jsem se rozhodla vycházet ze stavebního uzpůsobení stávající MVE Vilémov. Kompoziční řešení elektrárny je vybíráno podle několika hledisek (technického, ekologického, ekonomického hlediska a dalších, např. majetkových faktorů). V této práci se budu zabývat malou derivační elektrárnou (princip fungování tohoto typu je zjednodušeně nastíněn na Obr. 11⁴⁹), která s provozním spádem 6,10 m patří mezi nízkotlaké vodní elektrárny, Obr. 12⁵⁰ (výška spádu od 5 do 20 m). Jedná se tedy o průtočnou vodní elektrárnu, jejíž turbínou voda protéká po celý rok a průtok je regulován pomocí jalového přepadu, regulace turbíny nebo uzávěru.



Obr. 9- Derivační elektrárna, 1- koryto, 2- vzdouvací zařízení, 3- strojovna, 4- derivační přivaděč, [28]



Obr. 8- Schéma nízkotlaké vodní elektrárny, 1 – hydrogenerátor, 2 – turbína, 3 – kašna, 4 – převodovka, 5 – koryto řeky, 6 – hrubé česle, 7 – jemné česle, 8 – lapač kamenů, 9 – lapač písku, [28]

⁴⁹STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie vody, větru, biomasy* [online]. 2016. Brno: Podpora přírodovědného a technického vzdělávání na středních školách v Jihomoravském kraji [cit. 2021-03-26]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Impresum.html>

⁵⁰ tamtéž

Na Obr. 13⁵¹ je pro představu ještě předvedena realizace MVE ve Vilémově.



Obr. 10- Situační uspořádání MVE Vilémov, [11]

Jak již bylo zmíněno v úvodní kapitole, elektrárna ve Vilémově prošla v roce 2017 zřetelnou proměnou, jejímž výsledkem je stavba nové jednopodlažní železobetonové strojovny v ose stávajícího podzemního výtokového kanálu. Na objekt dále navazuje tlakový přivaděč, který je umístěn v původním odpadním kanálu a odpadní výtokový kanál. Strojovna je vybavena elektrotechnologickým zázemím, rampou a odnímatelnou střechou. Ve staré strojovně byla zmodernizována česlovna (nový čistící stroj česlí nahradil stávající ruční čištění) a vybudována jalová výpusť pro odklonění a převedení průtoků z náhonu. Česle⁵² zabraňují vnikání tokem unášených předmětů do vtoků. Tvoří je mříž z rovnoběžných česlic z různých materiálů. Původní strojovna současně slouží jako vodní zámek (propojení mezi původním uzavřeným kanálem, který přivádí vodu z nadjezí k původní strojovně a tlakovým přivaděčem k nové strojovně). K další změně došlo i v případě přívodního podzemního kanálu, který je 350 m dlouhý a slouží ke gravitačnímu přivedení vody z nadjezí k vodnímu zámku. Je rozdělen na dvě části, ve vzdálenosti 53,8 m od původní strojovny proti proudu, nedaleko jalového stavidla, je umístěn zrekonstruovaný železobetonový kanál obdélníkového průřezu o úhlopříčce 6,19 m. Zbývající část kanálu, vedoucí ke výtokovému objektu, je řešena betonovým dnem se zděnými stěnami z lomového kamene s obetonováním.

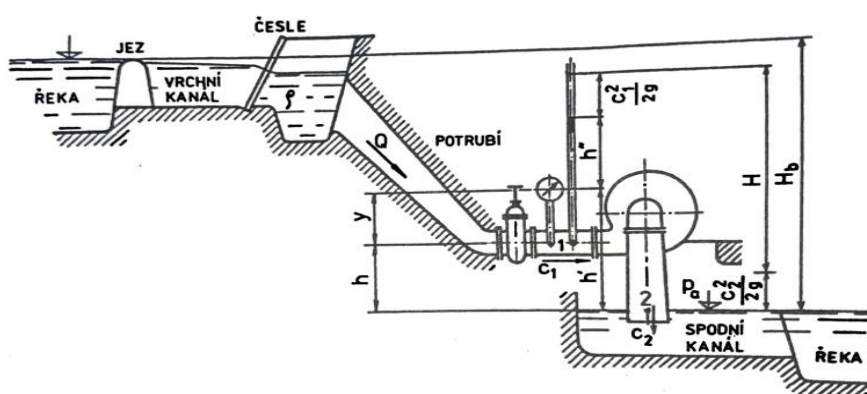
⁵¹ KAHUDA, Marek. *Rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc. Str. 10

⁵² ČSN 75 0120: *Vodní hospodářství - Terminologie hydrotechniky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 166 s. Str. 11

Odvod vody ze strojovny zpět do řeky je zprostředkován odpadním kanálem, jehož rekonstrukce momentálně probíhá⁵³. Na Obr. 14 je pro představu fotografie jezu Vilémov (137,2 říční km). Obecně lze říci, že pokud navrhujeme stavební řešení elektrárny, měli bychom vyhodnotit vtokové objekty, které navazují na vodní tok a zajišťují přítok vody k turbíně s minimálními ztrátami, přiváděcí a odpadní zařízení (tlaková - potrubí/beztlaková - náhon) a výrobní objekty, schéma viz Obr. 15⁵⁴. V úvahu musíme brát fakt, že pracujeme s nevyzpytatelným přírodním živlem, objekt MVE musí být zabezpečen proti nepříznivým účinkům velké vody (zatopení objektu, naplaveniny, podemletí) pomocí upevnění, utěsnění (poklopy) s možností vyčerpání prosáklé vody⁵⁵.



Obr. 11- Jez Vilémov s jalovým přepadem



Obr. 12- Schéma stavebního řešení objektu MVE, [19]

⁵³ KAHUDA, Marek. *Rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc. (volně přeneseno)

⁵⁴ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 36

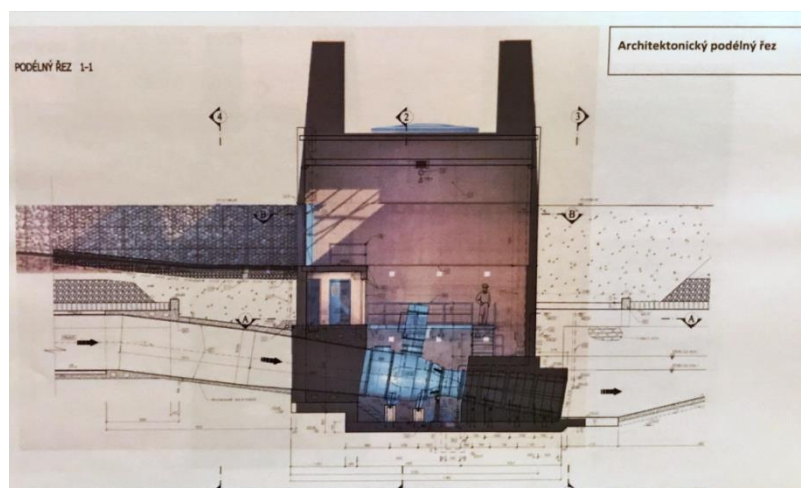
⁵⁵ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 77

4. NÁVRH STROJNÍ ČÁSTI

Nejdůležitějšími částmi výrobního objektu MVE jsou: **turbína**, sestávající ze tří částí (zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu, oběžné kolo, zařízení pro odvod vody od oběžného kola), **generátor** (synchronní/asynchronní/stejnosemý), **transformátor**⁵⁶ a doprovodná zařízení (rozvodna, montážní prostor, ...). Ke hřídeli turbíny je připojen setrvačnick, převodovka a generátor. Ve strojovně nesmí chybět ani regulátor turbíny. Budovu MVE lze obecně rozdělit na dvě části, a to horní a spodní stavbu, viz Obr. 16⁵⁷ (podélný řez budovou současné MVE Vilémov).

V **horní stavbě** se nachází část hydroalternátorů s budiči a regulátory, kontrolní panely, transformátory (včetně transformátoru vlastní spotřeby a zvyšovacích transformátorů), montážní stroje a prostory pro údržbu (dílna, sklad, sociální zařízení). Současně obsahuje zabezpečovací přístroje pro hladký provoz (systémy pro mazání rotujících částí soustrojí, chlazení, kompresory, atd.), rozvaděče napětí, velín s telefonní ústřednou, akumulátorovnu.

Spodní stavba se nachází ještě pod úrovní samotné strojovny, je v ní uloženo soustrojí včetně všech potřebných doplňků. Ve většině případů se jedná o betonovou konstrukci, která musí být navržena tak, aby odolala namáhání (vsakování, vodnímu tlaku, vzlaku) a zároveň byla dostatečně pevná, aby udržela konstrukci horní stavby. Velikost spodní stavby je ovlivněna rozměry vtokového objektu⁵⁸.



Obr. 13- Podélný řez budovou MVE Vilémov, [15]

⁵⁶ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80- 01- 01808-0. Str. 25, 26

⁵⁷ KONEJL, Marek a KRAML, Karel. *Projekt pro stavební povolení stavby MVE Vilémov*, Stream s.r.o., Praha, 2016.

⁵⁸ VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka. Str. 23

4.1 Turbína

Výběr turbíny je velmi důležitý pro efektivní využívání energie vody v dané lokalitě, což lze mimo jiné demonstrovat velikostí plochy pod odtokovou křivkou. Turbíny se řadí mezi primární hydrodynamické motory, v nichž dochází k nepřímé přeměně hydraulické energie na energii mechanickou, která vystupuje ve formě rotační ($P = M_k \cdot \omega$). Z uvedeného plyne, že hlavními parametry turbíny jsou: měrná energie (užitný spád), provozní otáčky a průtok turbínou⁵⁹.

Pro návrh je určující jmenovitý průtok turbínou při jmenovitých otáčkách a jmenovité měrné energii, jelikož turbína v těchto podmínkách vykazuje maximální celkovou účinnost. Naopak hltnost představuje maximální možný průtok turbínou. Jmenovitá měrná energie E_n je dána rozdílem celkové měrné energie kapaliny na vstupu a výstupu stroje při jmenovitých otáčkách a jmenovitém průtoku turbínou, je dána vodohospodářským řešením MVE. Dle způsobu přenosu E_n na oběžné kolo můžeme turbíny dělit na rovnotlaké a přetlakové.

Rozsah použití základních typů turbín viz Příloha č. 1.

Provozní otáčky (jmenovité otáčky n_n) vyplývají z konstrukčního a hydraulického řešení stroje, ale současně závisí i na typu použitého elektrického generátoru (pokud se jedná o přímé spojení turbína – generátor, je nutné volbu otáček podřídít vlastnostem generátoru, pokud bude mezi generátor a turbína připojena převodovka, je volba otáček podřízena pouze konstrukčnímu a hydraulickému řešení). Pro konkrétní typ turbíny jsou provozní n_n otáčky určeny dle vztahu (4.1)⁶⁰.

$$n_n = k \cdot \sqrt{E_n \cdot \eta_t} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (4.1)$$

kde:

k ... součinitel průtoku, je konstanta uváděná v rozsahu 5 ÷ 7 pro malé vodní elektrárny, 8 ÷ 8,5 pro střední a velké její velikost ovlivňuje účinnost soustrojí a technická úroveň použité technologie [-],

E_n ... jmenovitá měrná energie turbíny [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$],

η_t ... celková účinnost turbíny [-].

⁵⁹ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. (volně přeneseno)

⁶⁰ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 123

Nejvyšší možné otáčky se nazývají průběžné otáčky, n_p . Těchto otáček turbína dosahuje v nezátíženém stavu. Musíme však počítat s tím, že při oběžných otáčkách je rotor namáhán velkými odstředivými silami, což se nutně promítne na jeho dynamice, pevnosti a ložiscích. Pokud jde o přímé spojení turbína – synchronní generátor (pro asynchronní generátor jsou synchronní otáčky vyšší o hodnotu skluzu), provozní otáčky se určí se vztahu pro synchronní otáčky generátoru, viz vztah (4.2)⁶¹.

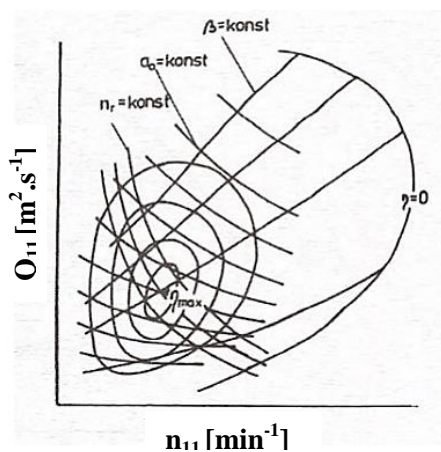
$$n_1 = \frac{f \cdot 60}{p_p} \quad [\text{ot.s}^{-1}] \quad (4.2)$$

kde:

f ... frekvence střídavého proudu [Hz],

p_p ... počet pólových dvojic (u generátorů vodních turbín $p > 3$) [-].

Jelikož jmenovité otáčky turbíny úzce souvisí s konstrukčním řešením stroje, není divu, že souvisí i s určením průměru oběžného kola. Výpočet průměru oběžného kola provedeme na základě účinnostní charakteristiky (Obr. 17)⁶², ve které provedeme zúžení na okolí optimální účinnosti pomocí jednotkových parametrů n_{11} , Q_{11} . Dále dle vztahu (4.3)⁶³ dopočítám průměr.



Obr. 14- Účinnostní charakteristika turbíny, [2]

⁶¹ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80- 01- 01808-0. Str. 39

⁶² BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 117

⁶³ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 124

Vzorec pro výpočet průměru oběžného kola turbíny D:

$$D = \frac{n_{11} \cdot \sqrt{E_n}}{n_n} \quad [\text{m}] \quad (4.3)$$

kde:

n_{11} ... jednotkový parametr mechanických otáček [min^{-1}],

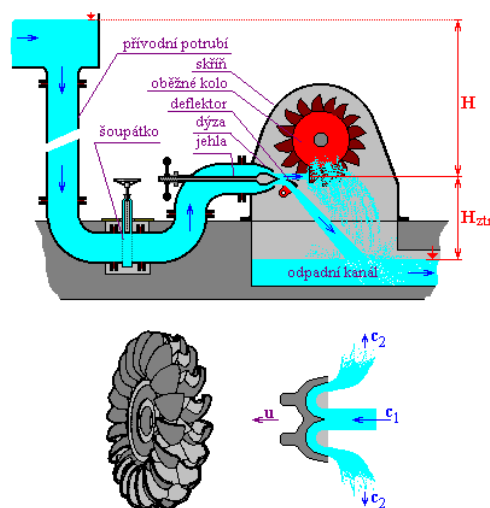
n_n ... provozní otáčky turbíny [min^{-1}],

E_n ... jmenovitá měrná energie turbíny [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$].

4.1.1 Základní typy rovnotlakých turbín

V rovnotlakých (akčních) turbínách dochází k úplné přeměně tlakové měrné energie na kinetickou měrnou energii kapaliny v zařízení pro přívod vody k oběžnému kolu, což na vstupu i výstupu oběžného kola vytvoří stejný tlak. Z rozváděcích zařízení vtéká voda do speciálně zakřivených kanálů, ve kterých jsou působením proudu roztáčené lopatky, voda otáčí oběžným kolem. V kole se mění směr proudu díky silovému působení lopatek na vodu dle zákona akce a reakce. Rovnotlaké turbíny zpravidla ústí bez savky do odpadní trubky.

Peltonova turbína (1880) s tangenciálním vstupem („na lopatky vstupuje voda ve směru tečny ke kružnici se středem na ose rotace kola⁶⁴“). Součástí jsou dvojité lžícové lopatky s břitem uprostřed, který rozdělí vodní paprsek na polovinu. Takto (s účinností 80 ÷ 85 %) se pomocí 18 ÷ 26 kusů lopatek otočí směr vody v oběžném kole. Nejčastěji je konstruována jako horizontální. Regulace probíhá zasouváním jehly do dýzy nebo šoupátkem na přívodním potrubí kruhového průřezu. Peltonova turbína je instalována na malé průtoky s vysokými spády (30 ÷ 200) m, nejlépe vyhovuje horským tokům s malým množstvím vody a velkým tlakem (v ČR není tím pádem hojně využívána). Její výhodou je, že podléhá minimální kavitaci a ložiska se nachází nad vodou, tím pádem nehrozí znečištění toku⁶⁵. Schéma řešení Peltonovy turbíny viz Obr. 18⁶⁶.



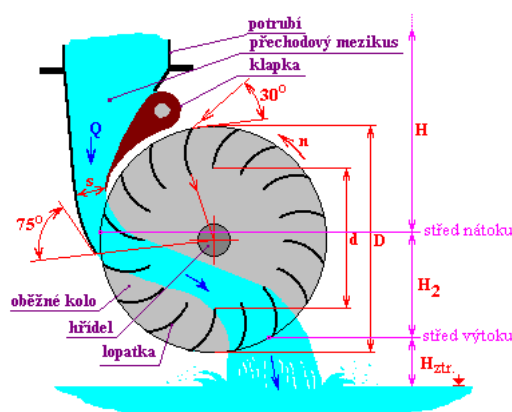
Obr. 15- Schéma řešení Peltonovy turbíny, [1]

⁶⁴ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 51

⁶⁵ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

⁶⁶ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

Bánkiho turbína (1903), radiální s dvojnásobným průtokem kapaliny oběžným kolem a parciálním vstupem (voda vstupuje do oběžného kola dostředivě, vystupuje odstředivě). Voda je přiváděna potrubím kruhového průřezu k mezikusu před turbínou, kde je kruhový průřez změněn na obdélníkový, následuje regulační klapka. Lopatky na oběžném kole jsou vytvořeny z kruhově prohnutých desek, optimální počet je 32 kusů. Turbína je nejčastěji konstruována jako horizontální. Bánkiho turbína je instalována zejména na malých tocích (při splnění podmínky: průměr turbíny je $5 \div 10$ x menší, než spád v rozmezí 2 m až 30 m). Nevýhodou je ztracený spád, tedy rozdíl mezi oběžným kolem a spodní hladinou, který lze částečně kompenzovat savkou. Výhodou je jednoduchá konstrukce, okysličení vody, snadná regulace, schopnost bezproblémového chodu naprázdno, malá náchylnost na nečistoty a odolnost proti abrazi a kavitaci. Účinnost turbíny dosahuje $78 \div 84$ %⁶⁷. Schéma řešení Bánkiho turbíny viz Obr. 19⁶⁸.



Obr. 16- Schéma řešení Bánkiho turbíny, [1]

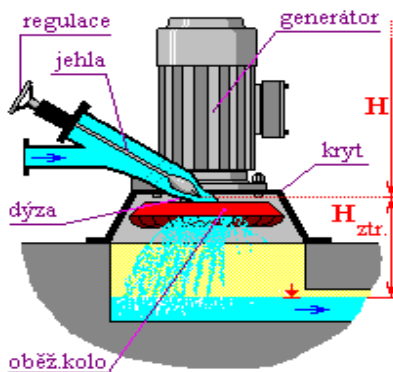
Turgo turbína (1920) s parciálním vstupem. Tento typ turbíny lze zvolit, pokud se rozhodujeme mezi Peltonovou a Francisovou turbínou, ale na rozdíl od Peltonovy turbíny je levnější a konstrukčně jednodušší. Voda je přiváděna potrubím k dýzám, kde je celý spád přetransformován na pohybovou energii. Voda pokračuje k oběžnému kolu, které je tvořeno dvěma prstenci, mezi nimiž jsou lopatky. Díky možnosti kombinace různých počtů dýz lze průtok regulovat s velkou účinností $85 \div 90$ %. Turgo turbína je nejčastěji konstruována jako vertikální.

Velkou výhodou této turbíny jsou vysoké otáčky, tím pádem je možné turbínu umístit přímo na hřídel asynchronního generátoru bez převodovky.

⁶⁷ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

⁶⁸ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

Turbína se staví pro spády od 10 do 300 m, na nižších spádech než 10 m se nepoužívá, jelikož se spádem jí klesají otáčky a bylo by nutné instalovat převod⁶⁹. Schéma řešení Turgo turbíny viz Obr. 20⁷⁰.



Obr. 17- Schéma řešení Turgo turbíny, [1]

4.1.2 Základní typy přetlakových turbín

V přetlakových (reakčních⁷¹) turbínách dochází jen k částečné přeměně tlakové měrné energie v zařízení pro přívod vody na kinetickou energii. Zbývající (větší) část energie se mění v měrnou kinetickou energii v oběžném kole. Voda vtéká z pevných zakřivených rozváděcích kanálů do kanálů oběžných, zakřivených opačně. Charakteristickou součástí přetlakových turbín bývá savka, u rovnotlakových turbín je jejím ekvivalentem odpadní potrubí. Savka se využívá pouze tehdy, je-li za oběžným kolem vytvořený podtlak pomocí vodního sloupce. V závislosti na orientaci osy turbíny používáme přímou nebo kolenovou savku. Její nejdůležitější funkce spočívá ve využití energie (zvýšení efektivity turbíny), která by byla jinak ztracena, další je možnost umístit turbínu téměř v jakékoli výšce nad hladinou. Spojuje odtokovou část turbíny se spodní vodou, je do ní tedy vháněna voda o velké rychlosti z roztočených lopatek oběžného kola.

⁶⁹ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

⁷⁰ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

⁷¹ V kanálech oběžného kola dochází při urychlování proudu vody k reakčnímu působení na oběžné lopatky.

Typický kuželovitý tvar vzduchotěsné plechové (dříve litinové) trubice způsobuje pomalejší proudění kapaliny v širším průřezu kužele, ale i tak je díky setrvačnosti vedena dál. Voda se v tuto chvíli chová jako píst, který za odtékající kapalinou tvoří podtlak, jenž vžene vodu zpět na lopatky, kde může být opakovaně využita. Při návrhu savky u turbín s velkou výtokovou rychlostí je nutné dobře zhodnotit vznikající vnitřní podtlak, který odpovídá výšce savky a má vliv na zvyšující se možnost kavitace⁷². Praktické provedení savky je na Obr. 21⁷³.



Obr. 18- Praktické provedení savky

Francisova turbína (1849) s radiálně axiálním vstupem („oběžným kolem voda proudí nejdříve radiálně a po přiblížení k ose mění směr na přibližně osový“⁷⁴). V minulosti byla nejvíce instalovanou turbínou do MVE. Jejím charakteristickým prvkem je normáloběžné oběžné kolo, které připomíná buben a přispívá k dobré celkové účinnosti této turbíny (90 %). Dalším specifickým je existence kašny, na jejímž dně se nachází turbína se savkou ponořená ve vodě (využití celého spádu). Pro lepší přehlednost jsem se rozhodla Francisovy turbíny rozdělit ještě na dvě podskupiny, a to na vertikální a horizontální⁷⁵.

⁷² VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka. (volně přeneseno)

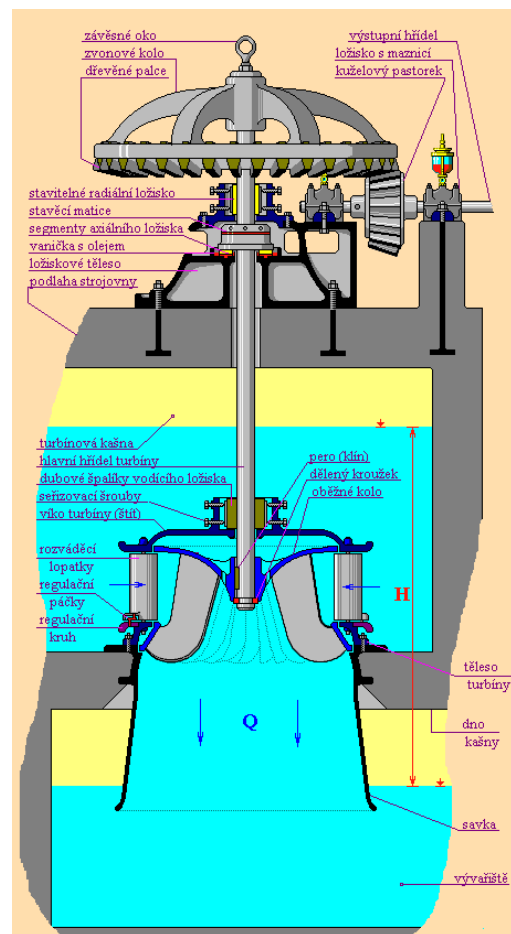
⁷³ Savka. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017, 05. 10. 2017 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Savka>

⁷⁴ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80- 01- 01808-0. Str. 51

⁷⁵ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm> (volně přeneseno)

Vertikální Francisova turbína byla nejčastěji pohonem mlýnů, městských elektráren a průmyslových závodů. Používá se na spádech od 1,5 m do 5 m při středně vodnatých tocích. Díky přímé savce má vyšší účinnost, než její horizontální uspořádání, ale je komplikovanější z hlediska převodu. Turbína je umístěna na dně kašny, je spojena svislým hřídelem se strojovnou. Rozváděcí lopatky jsou uloženy na kluzných pouzdrech, jejich natáčení zajišťují táhla na regulačním kruhu. Do lopatek voda vstupuje z kašny. Kapalina při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola. Schéma řešení vertikální Francisovy turbíny viz Obr. 22⁷⁶.

Horizontální Francisova turbína byla nejčastěji používána v derivačních VE, jako pohon mlýnů a pil. Našla své využití na spádech od 2 m do 8 m při spíše menších průtocích (cca $100 \div 200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). V tomto případě se turbína nenachází na dně kašny, ale v její stěně, čemuž musíme přizpůsobit tvar savky – kolenová savka. Savka může být vedena uvnitř kašny (mokrá) nebo strojovnou (suchá). Turbína je regulována otáčením regulačního kruhu, který ovládá rozváděcí lopatky. Rozváděcí lopatky jsou uloženy na kluzných pouzdrech, jejich natáčení zajišťují táhla na regulačním kruhu, do lopatek voda vstupuje z kašny. Kapalina při průtoku rozváděcími lopatkami získává rychlost a směr potřebný pro vstup do oběžného kola⁷⁷. Schéma řešení horizontální Francisovy turbíny s mokrou savkou viz Obr. 23⁷⁸.

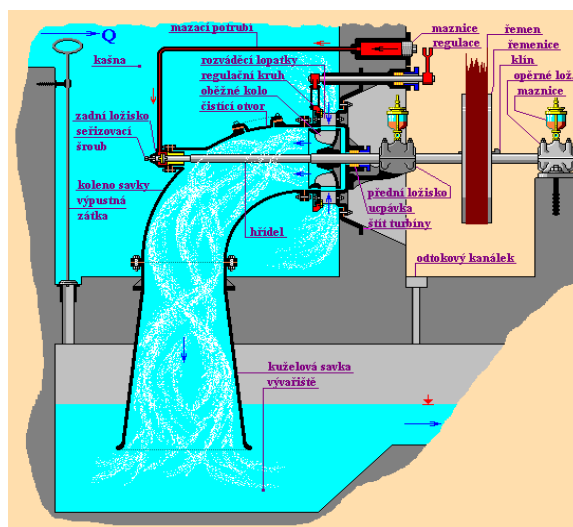


Obr. 19- Schéma řešení vertikální Francisovy turbíny, [1]

⁷⁶ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

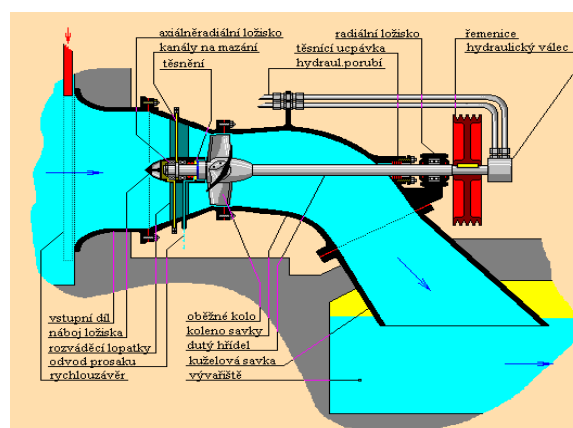
⁷⁷ VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka. (volně přeneseno)

⁷⁸ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>



Obr. 20- Schéma řešení horizontální Francisovy turbíny s mokrou savkou, [1]

Kaplanova turbína (1910), (S – turbína, přezdívána kvůli esovitému tvaru savky) s axiálním průtokem oběžným kolem. Její nejmarkantnější předností je možnost dvojité regulace, aplikace regulovatelného rozvaděče i oběžného kola. Schopnost nastavení ideální vazby mezi otevřením oběžného kola a rozvaděče, zajistí dobré průtokové poměry a zlepši dynamické vlastnosti turbíny. Bohužel má turbína velkou nevýhodu, a to vysokou hodnotu Thomova kavitačního činitele (číselná charakteristika podmínek vzniku kavitace⁷⁹ v určitém místě průtoku). Velká míra kavitace vyžaduje zvýšit investiční náklady na korozivzdorný materiál oběžných lopatek. Momentálně je Kaplanova turbína nejhojněji využívanou na malospádových elektrárnách. Turbína bývá zpravidla řešena jako horizontální. Schéma řešení Kaplanovy turbíny viz Obr. 24⁸⁰.



Obr. 21- Schéma řešení Kaplanovy turbíny, [1]

⁷⁹ Kavítace = složitý jev vzniku a zániku dutin (bublín) v proudící vodě; kavítace vzniká při poklesu tlaku proudící vody na hodnotu tlaku nasycených vodních par odpovídající teplotě vody, viz ČSN 75 0120: *Vodní hospodářství - Terminologie hydrotechniky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 166 s. Str. 40

⁸⁰ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

4.2 Generátor

Generátor zajišťuje přeměnu mechanické energie na energii elektrickou s účinností $70 \div 98 \%$ ⁸¹. Je připojen k místu spotřeby pomocí přenosového a transformačního zařízení. energii není možné efektivně akumulovat, je určena k okamžité spotřebě. V provozu MVE se nejčastěji setkáme s generátory na střídavý proud (synchronní/asynchronní), méně se stejnosměrnými dynamy. Volba generátoru je podřízena provozovateli distribuční sítě, ke které je elektrárna připojena⁸².

4.2.1 Synchronní generátor

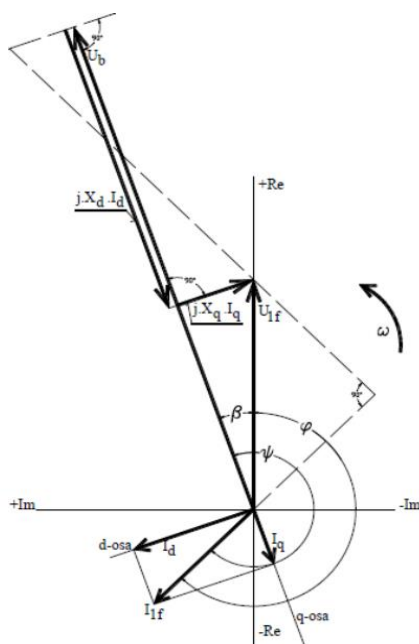
Synchronní generátory se používají spíše u velkých elektráren v provozu do autonomní sítě, jelikož provoz MVE v samostatném chodu není obvyklý. Z této vlastnosti vyplývá výhoda těchto strojů, schopnost chodu při výpadku sítě, dobrá reakce na poruchy v síti a nepotřebují žádná přídavná zařízení. Synchronní generátory se tím pádem používají jako náhradní zdroje. Aplikují se pomaluběžné generátory s vyniklými póly na rotoru. Generátor reguluje napětí a frekvenci (viz vztah (4.2)), napětí je regulováno změnou budícího proudu. Regulace je nutná pro udržení synchronních otáček generátoru, respektive synchronizačního výkonu, který stroj udržuje v synchronismu. Synchronizační výkon se mění se zatížením, v chodu na prázdno je maximální. Na rozdíl od asynchronního generátoru dodává do sítě činný i jalový výkon, mimo jiné je dražší a složitější na údržbu. Činný výkon je dán výkonem turbíny a je spřažen se zátěžným úhlem β , jalový výkon je dán velikostí budícího proudu (zdrojem budícího proudu je stejnosměrný zdroj – budící staniční baterie). Před dodáním do distribuce je nutná regulace na konstantní účiník nebo jalový výkon. Přifázování na síť vyžaduje speciální zařízení, probíhá následovně – generátor v nenabuzeném stavu je připojen k síti v přibližně synchronních otáčkách a posléze nabuzen. Pokud budeme uvažovat chod synchronního alternátoru paralelně s tvrdou sítí, lze činný výkon vypočítat z náhradního schématu a vektorového diagramu synchronního stroje s vyniklými póly (Obr. 25)⁸³ dle vztahu (4.4)⁸⁴.

⁸¹ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 66

⁸² MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 146

⁸³ HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Průručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075). Str. 354

⁸⁴ HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Průručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075). Str. 355



Obr. 22- Vektorový diagram synchronního stroje s vyniklými póly,[10]

$$P = m \cdot U_{1f} \cdot I_{1f} \cdot \cos\varphi = m \cdot \left(\frac{U_{1f} \cdot U_b}{X_d} \cdot \sin\beta + U_{1f}^2 \frac{X_d - X_q}{2X_d X_q} \cdot \sin 2\beta \right) \text{ [W]} \quad (4.4)$$

kde:

m ... počet fází [-],

I_{1f} ... proud jedné fáze [A],

U_{1f} ... napětí jedné fáze [V],

$\cos\varphi$... účinník [-],

U_b ... napětí buzení [V],

X_d ... podélná reaktance [Ω],

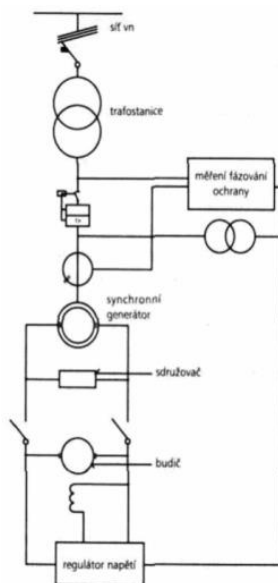
X_q ... příčná reaktance [Ω],

β ... zátěžný úhel [$^\circ$].

Maximum dodávaného činného výkonu nastane, když $\sin\beta = 1$ a současně $X_d = X_q$. Pokud bude zátěžný úhel β příliš velký (zvýšený dodávaný mechanický výkon z turbíny), dojde k prokluzu pólů (stroj vypadne ze synchronismu). Současně je třeba dát pozor na narůstající statorový proud, jehož velikost může zajistit sepnutí ochrany a odpojení stroje od zdroje. Příčinou vypadnutí ze synchronismu je i odbuzování ($U_b < U_{1f}$), kdy dojde k poklesu synchronizačního výkonu, budící proud jde k nule a stroj se tím pádem bude velmi rychle přibližovat k mezi stability⁸⁵.

⁸⁵ ŠLAPÁK, Karel. *Řešení elektročásti malé vodní elektrárny Štětí 2x 3,5MW* [online]. Praha, 2016 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64756/F3-DP-2016-Slapak-Karel-Diplomova%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Petr Kalandra. (volně přeneseno)

Na Obr. 26⁸⁶ je schéma zapojení synchronního generátoru do sítě.



Obr. 23- Schéma zapojení synchronního generátoru do sítě, [10]

4.2.2 Asynchronní generátor

Asynchronní generátory jsou typické pro menší provozy s výkony do 2000 kW, zejména v režimu výroby a dodávky elektrické energie do pevné sítě (v provozu do autonomní sítě se nepoužívají). Dimenzují se výkonově, co nejbližší k maximálnímu výkonu turbíny. Asynchronní generátor vzniká po připojení asynchronního motoru k turbíně. Z hlediska konstrukce se nejčastěji setkáváme s alternátory s kotvou na krátko, či s klecovým vinutím, pro jejich sestavení jsou nedůležitější průběžné otáčky turbíny. Pokud zvýšíme otáčky rotoru nad otáčky magnetického pole, bude rotor dodávat činný výkon do sítě, stejně tak bude odebírat ze sítě jalový výkon pro svou magnetizaci, jelikož směr jalové složky proudu zůstává stejný jako při motorickém chodu⁸⁷. Odběr jalového výkonu ze sítě má za následek zvýšení proudu v síti, což je nutno kompenzovat přidáním zdroje magnetizačního proudu (jakýkoli synchronní stroj nebo statický kondenzátor). Při kompenzaci hrozí nebezpečí překompenzování, což by se projevilo na vzniku přepětí. Nejčastěji je tedy asynchronní generátor provozován paralelně se sítí napájenou synchronními generátory.

⁸⁶ HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Příručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075).

⁸⁷ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 146

Mezi výhody asynchronních generátoru patří možnost přímého připojení k soustavě bez fázování, vysoká provozní spolehlivost, nízké pořizovací náklady, jednoduchost, absence regulátoru napětí a budiče (odbuzovače), podle stavu průtoku ho můžeme odpojit od sítě. Otáčivý moment je závislý na vnitřním výkonu stroje a synchronní úhlové rychlosti⁸⁸, viz (4.5)⁸⁹.

Vztah pro výpočet vnitřního výkonu stroje:

$$P_i = M \cdot \omega_1 \quad [\text{W}] \quad (4.5)$$

kde:

M ... otáčivý moment [Nm],

ω_1 ... synchronní úhlová rychlost [rad.s⁻¹].

Mechanické otáčky asynchronního stroje n jsou potom dány vztahem (4.6)⁹⁰.

$$n = n_1(1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p_p}(1 - s) \quad [\text{s}^{-1}] \quad (4.6)$$

kde:

n_1 ... mechanické otáčky synchronního stroje [s⁻¹],

f ... frekvence střídavého proudu [Hz],

p_p ... počet pólových dvojic [-],

s ... skluz, viz (4.7) [-].

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} \quad [-] \quad (4.7)$$

kde:

n_1 ... mechanické otáčky synchronního stroje [s⁻¹],

n ... mechanické otáčky asynchronního stroje [s⁻¹],

ω_1 ... synchronní úhlová rychlost [rad.s⁻¹],

ω ... asynchronního úhlová rychlosti [rad.s⁻¹].

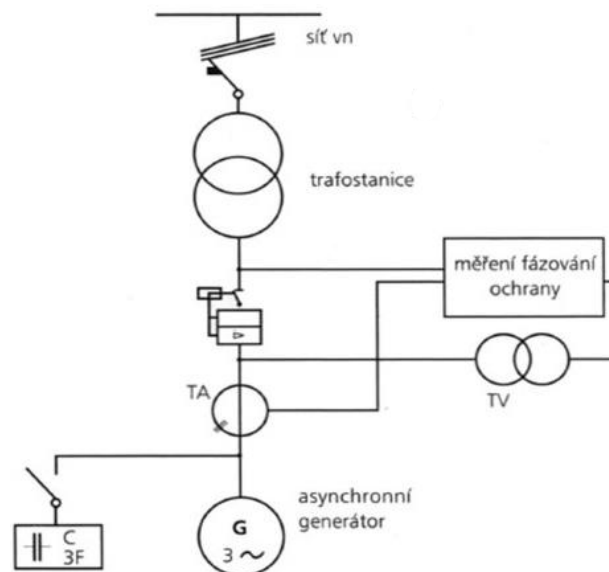
⁸⁸ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 167

⁸⁹ KOBRLE, Pavel a Jiří PAVELKA. *Elektrické pohony a jejich řízení*. 3. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06007-0. (volně přeneseno)

⁹⁰ HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Příručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075). Str. 363

Pro asynchronní generátor platí, že skluz (relativní rychlost rotoru vůči poli statoru) je záporný. Ze vztahu (4.6) navíc plyne, že rychlost můžeme ovlivnit změnou napájecí frekvence pomocí frekvenčního měniče, změnou počtu pólových dvojic (není plynulé, vznikají skoky) nebo změnou skluzu. Obecně je však řízení rychlosti v širokých mezích obtížné.

Na Obr. 27⁹¹ je schematicky znázorněno zapojení asynchronního generátoru do sítě.

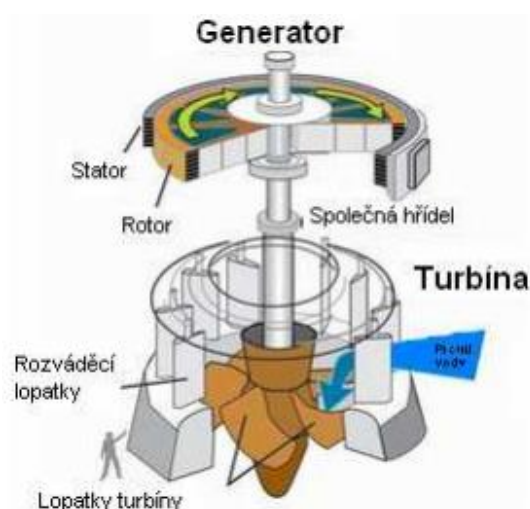


Obr. 24- Schéma zapojení asynchronního generátoru do sítě, [10]

⁹¹ HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Průručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075). Str. 363

4.2.3 Převody

Pro malé vodní elektrárny se nejčastěji ve spojení s turbínou používá asynchronní generátor, který pracuje na vysokých otáčkách (1 500 ot.m⁻¹). Na rozdíl od velkých soustrojí zde nedochází k přímému připojení alternátoru a hřídele turbíny pomocí tuhé/pružné spojky, ale je potřeba zajistit převod ke zrychlení otáček. Výběr vhodného převodu je závislý na finančních možnostech investora, celkovém řešení soustrojí a charakteru provozu. Od převodovky vyžadujeme zejména spolehlivost, dlouhou životnost, vysokou účinnost a malé nároky na údržbu a prostor. Pro lepší představu na Obr. 28 uvádím jednoduché schéma hydrosoustrojí.



Obr. 25- Schéma hydrosoustrojí, [34]

Převod mezi turbínou a generátorem i (přechod z točivého pohybu na mechanickou energii) lze vypočítat ze vztahu (4. 8)⁹²:

$$i = \frac{n_G}{n_T} \quad [-] \quad (4.8)$$

kde:

n_G ... mechanické otáčky generátoru [s⁻¹],

n_T ... mechanické otáčky turbíny [s⁻¹].

⁹² KOBRLÉ, Pavel a Jiří PAVELKA. *Elektrické pohony a jejich řízení*. 3. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06007-0. Str. 12

Řemenový převod⁹³ představuje klasické a nejrozšířenější řešení převodu u VE. Tento typ převodu umožňuje přizpůsobivost konkrétním podmínkám díla. Jmenovitým otáčkám turbíny lze díky řemenicím přizpůsobit otáčky generátoru. Řemeny mohou být klínové (i vícenásobně klínové), ozubené či ploché, se kterými se setkáváme nejčastěji. Pomocí plochých řemenů je možné realizovat převod až do poměru 1:15. Hodnoty účinnosti tohoto typu převodu se pohybují v rozmezí 96 ÷ 98 %⁹⁴.

Ozubená soukolí se obvykle používají v nízkospádových lokalitách. Zuby lze rozdělit na přímé, šikmé a šípové, dále dle materiálu na ocelové a dřevěné. Pomocí ozubených soukolí je možné realizovat maximální převodní poměr 1:10. Účinnost tohoto typu převodu se běžně pohybuje v rozmezí 94 ÷ 97 %, bohužel však dochází k poměrně zřetelnému opotřebením, v těchto případech účinnost klesá na 85%.

Řetězový převod se nejvíce hodí pro soustrojí s krátkými osami hřídelů, jeho aplikace je u MVE zpravidla u speciálních případů (používají se článkové řetězy). Výhodou je úspora místa pro realizaci a schopnost přenosu sil bez skluzu. Pomocí řetězového převodu je možné realizovat maximální převodní poměr 1:15. Účinnost řetězové převodovky je ovlivněna mazáním a počtem zubů, v ideálním případě nabývá hodnoty 98,5%⁹⁵.

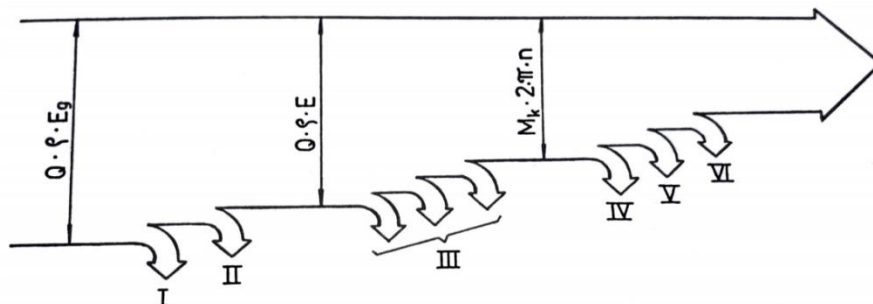
⁹³ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 225

⁹⁴ VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka. (volně přeneseno)

⁹⁵ tamtéž

4.3 Ztráty ve vodní elektrárně

Nejprve bych ráda odkázala na Obr. 29⁹⁶ - Schéma toku energie vodní elektrárnou s vyznačenými ztrátami, tzv. Sankeyův bilanční diagram ztrát.



Obr. 26- Schéma toku energie vodní elektrárnou. I – ztráty v přivaděči, II – na výstupu savky, III – v turbíně, IV – v převodu, V – v generátoru, VI – v transformátoru. [19]

Při přeměně hydraulické energie na energii elektrickou vznikají ztráty, jelikož se jedná o reálnou pracovní látku a reálné stroje. Na počátku je k dispozici celý hydraulický příkon: $P_{MVE} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$ [W], dle schématu se z něj část spotřebuje na hydraulické ztráty v přivaděči a savce. Pro turbínu tedy zbyde tzv. teoretický výkon $P_t < P_{MVE}$. V turbíně následně dochází k přeměně hydraulické energie na energii mechanickou: $P = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$ [W] a platí, že $P < P_t$. Při spojení turbíny a generátoru v MVE je třeba převod, tím pádem i nutnost uvažovat ztráty v převodu. Z uvedené úvahy vyplývá, že elektrický výkon elektrárny je vždy nižší než její hydraulický příkon⁹⁷.

4.3.1 Ztráty v turbíně

Ztráty v turbíně lze dělit na objemové, hydraulické a mechanické.

Objemové ztráty jsou představovány průtokem, který neproteče prostorem oběžného kola (uniká např. těsníci spárami) a nemůže být z tohoto důvodu dále využit. Objemové ztráty η_v jsou určeny objemovou účinností (mírou průsaku), vztah pro výpočet objemové účinnosti (4.9) je následující:

$$\eta_v = \frac{(Q-q)}{Q} \quad [-] \quad (4.9)$$

kde:

q ... nevyužitý průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

Q ... jmenovitý průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

⁹⁶ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80- 01- 01808-0. Str. 41

⁹⁷ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80- 01- 01808-0. (volně přeneseno)

Hydraulické ztráty jsou způsobovány protékáním vazké kapaliny po ploše turbíny a náhlou změnou směru proudění kapaliny do turbíny, popřípadě tzv. ztráty rázem, vznikající při špatném vstupu vody do lopatkové mříže oběžného kola. Tyto ztráty zaujímají největší podíl ztrát v turbíně. Hydraulické ztráty η_h jsou určeny hydraulickou účinností, vztah pro výpočet hydraulické účinnosti (4.10)⁹⁸ je tento:

$$\eta_h = \frac{(E_c - E_z)}{E_c} \quad [-] \quad (4.10)$$

kde:

E_c ... celková měrná energie kapaliny [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$],

E_z ... ztracená měrná energie kapaliny [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$].

Mechanické ztráty jsou způsobovány zejména třením, a to v ucpávce hřídele, v ložiscích, na povrchu oběžného kola třením o vazkou kapalinu. Mechanické ztráty se projevují sníženým výkonem na hřídeli. Jsou určeny mechanickou účinností η_m , vztah pro výpočet mechanické účinnosti (4.11)⁹⁹ je uveden níže:

$$\eta_m = \frac{(P_h - P_z)}{P_h} \quad [-] \quad (4.11)$$

kde:

P_h ... hydraulický výkon, $P_h = P_t \cdot \eta_v \cdot \eta_h$ [W],

P_z ... ztrátový výkon [W].

Dle výše uvedeného je možné sestavit tabulku pro obvykle dosahované účinnosti jednotlivých částí MVE, které jsou snižené o hodnoty ztrát, viz Tab. 5¹⁰⁰.

	Výkon P	
	do 100 [kW]	nad 100 [kW]
	Dosahované účinnosti η [-]	
Turbína	0,65 – 0,85	0,75 – 0,93
Převodovka	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
Celkem	0,50 – 0,70	0,60 – 0,80

Tab. 5- Dosahované účinnosti částí elektrárny, [19]

⁹⁸ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 44

⁹⁹ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 44

¹⁰⁰ tamtéž

4.4 Návrh strojní části MVE Vilémov

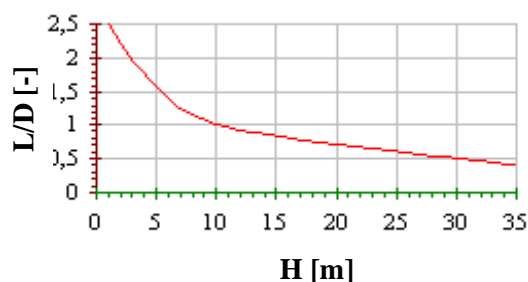
4.4.1 Výběr vhodné turbíny

Dle dostupných dat jsem se rozhodla pro instalaci Bánkiho rovnotlaké, dvoukomorové, horizontální turbíny, kterou lze efektivně použít na spády 2 až 30 m a průtok $0,02 \div 20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Tento typ turbíny je v použití u MVE velmi oblíbený a cenově dostupný. Přehled vstupních dat je v Tab. 6.

Parametr	Hodnota
Provozní čistý spád, H [m]	6,10
Průměrný roční průtok, Q_a [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	4,73
Min. roční průtok, Q_{\min} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	0,75
Max. roční průtok, Q_{\max} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	5,20
Provozní průtoky [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	1,00 \div 4,00
Vstupní úhel vody ¹⁰¹ [°]	15
Vstupní úhel lopatky [°]	30
Výstupní úhel lopatky [°]	90
Počet lopatek [-]	32
Účinnost Bánkiho turbíny [%]	78

Tab. 6- Přehled vstupních dat k výpočtu turbíny

Pro stanovení vhodných rozměrů je důležité zvolit patřičný poměr mezi šířkou oběžného kola L [m] a jeho průměrem D [m]. Poměr L/D , nebo – li součinitel k_{ld} , získáme odečtením z grafu Obr. 30¹⁰².



Obr. 27- Graf k určení součinitele k_{ld} [1]

¹⁰¹ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

¹⁰² tamtéž

Pro spád 6,1 m bude $k_{ld} \sim 1,3$. Dále je třeba vypočítat vstupní rychlost vody c , plochu štěrbinu a , její maximální otevření a_{max} , abychom získali průměr oběžného kola D , případně šířku L . Kde α je součinitel spádu. Vstupní rychlost vody vypočteme ze vztahu (4.12)¹⁰³:

$$c = \alpha \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = 0,98 \cdot \sqrt{19,81 \cdot 6,10} = 10,77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.12)$$

$$a = \frac{Q}{1000 \cdot c} = \frac{4730}{1000 \cdot 10,77} = 0,44 \text{ m}^2 \quad (4.13)$$

$$a_{max} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{\alpha \cdot k_o}{k_{ld}}} = 1000 \cdot \sqrt{\frac{0,44 \cdot 0,3}{1,3}} = 318,65 \text{ mm} \quad (4.14)$$

kde:

k_o ... součinitel ostříku [-],

c ... vstupní rychlost vody [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

α ... plocha štěrbinu [m^2],

a_{max} ... maximální otevření štěrbinu [mm],

H ... provozní spád [m],

Q ... průměrný průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

$$D = \frac{a_{max}}{k_o} = \frac{318,65}{0,3} = 1062,17 \text{ mm} \quad (4.15)$$

$$L = D \cdot k_{ld} = 1062,17 \cdot 1,3 = 1380,82 \text{ mm} \quad (4.16)$$

Kde:

D ... průměr oběžného kola turbíny [mm]

L ... šířka oběžného kola [mm]

k_o ... součinitel ostříku [-],

a_{max} ... maximální otevření štěrbinu [mm],

k_{ld} ... součinitel L/D [-].

Z výše uvedených výpočtů plyne základní konstrukční požadavek takový, že průměr oběžného kola musí být 5 x ÷ 10 x menší než spád, jelikož je průměr oběžného kola téměř 6 x menší, než výška spádu, lze turbínu v této lokalitě bez problému použít.

¹⁰³ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm> (z tohoto zdroje pochází veškeré výpočty z kapitoly 4.4.1.)

Délku oběžné lopatky lze určit jednoduše přičtením 10 mm k šířce oběžného kola ($L_L = 1390,82$ mm).

Jmenovité otáčky turbíny lze mimo jiné vypočítat pomocí vstupní rychlosti vody a průměru oběžného kola, (viz 4.17). Průběžné otáčky, tj. otáčky naprázdno, 1,8 x vyšší, než jmenovité.

Vztah pro výpočet provozních otáček pomocí vstupní rychlosti vody a průměru oběžného kola:

$$n_n = 9898 \cdot \frac{c}{D} = 9898 \cdot \frac{10,77}{1062,17} = 100,36 \text{ min}^{-1} \quad (4.17)$$

kde:

c ... vstupní rychlost vody [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

D ... průměr oběžného kola turbíny [mm].

Výkon turbíny je možné vypočítat ze vztahu (3.5) následovně:

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_t = 1000 \cdot 4,73 \cdot 9,81 \cdot 6,1 \cdot 0,78 = 220,77 \text{ kW}$$

kde:

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

Q ... průměrný průtok [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$],

g ... tíhové zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],

H ... provozní spád [m],

η_t ... celková účinnost turbíny [-].

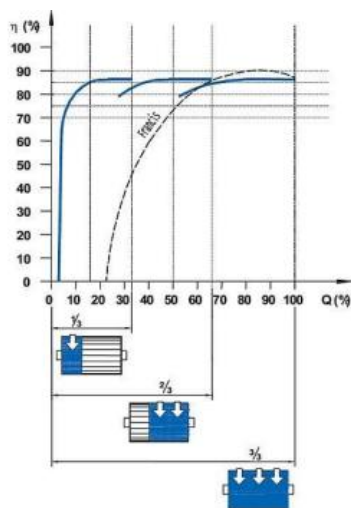
Podrobný výpočet s dalšími parametry je uveden v Příloze č. 2.

4.4.2 Regulace turbíny

Tok řeky Jizery je v oblasti stavby MVE (jez Vilémov) poměrně proměnlivý. Z tohoto důvodu je dobré zvážit možnost dvoukomorové konstrukce turbíny. Užší komora je aktivní pro malé průtoky, širší pro střední průtoky. V případě provozního průtoku prochází voda oběma komorami zároveň. Regulace Bánkiho turbíny je realizována dvěma nezávislými klapkami za pomoci prodlouženého ramene a servomotoru. Hladina vody je odečítána čidly, která se nachází pod sebou. Regulace může být plně automatická eventuálně ovládaná manuálně¹⁰⁴. Automatickou regulaci lze zprostředkovat např. PLC programovatelným automatem M91, Unitronics – M91 – 2 – R6C¹⁰⁵. Regulací je tedy myšleno řízení výkonu v případě vodních motorů připadá v úvahu řízení pomocí průtoku (spád a účinnost uvažujeme konstantní).

Regulaci dvoukomorové turbíny můžeme provést následovně (hodnoty 1/3 a 2/3 maximálního průtoku vychází z Obr. 31¹⁰⁶).

- pro malý průtok – čidla nejsou ponořena, větší komora je uzavřená, průtok je roven 1/3 maximálního průtoku ($Q_{1/3} = 1,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
- pro střední průtok – nižší čidlo je ponořené, menší komora je uzavřená, průtok je roven 2/3 maximálního průtoku ($Q_{2/3} = 3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
- pro provozní průtok – obě čidla jsou ponořena, obě komory otevřené, průtok je $Q_n = 4,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$



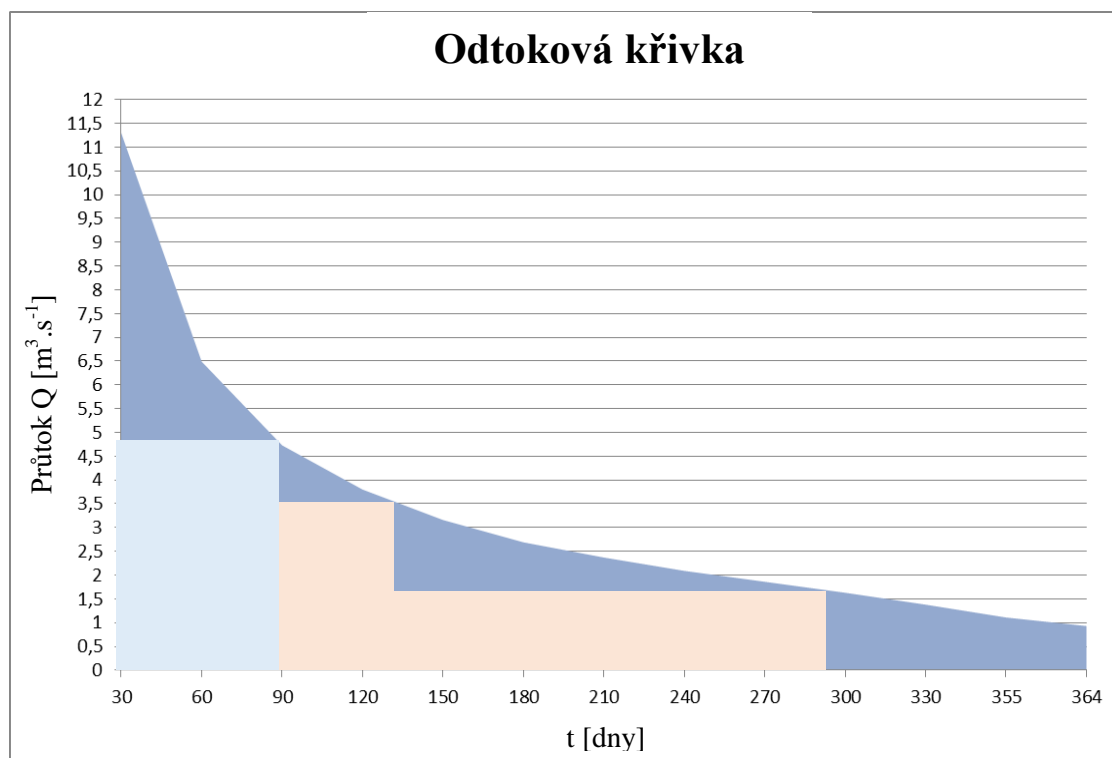
Obr. 28- Průběh účinnosti dvoukomorové turbíny, [34]

¹⁰⁴ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 222

¹⁰⁵ U-M91-2-R6C. *Schmachtl [online]*. [cit. 14. 04. 2021]. <https://www.schmachtl.cz/u-m91-2-r6c>

¹⁰⁶ VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny [online]*. Brno, 2009 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka. Str. 40

Využití průtoku pod odtokovou křivkou se díky aplikaci dvoukomorové turbíny změní, viz Obr. 32.



Obr. 29- Odtoková křivka po regulaci

Z Obr. 32 je patrné, že $Q_{1/3}$ protéká asi 290 dní v roce, $Q_{2/3}$ asi 160 dní v roce. Světle modrou barvou je vytažena oblast, na kterou byla turbína dimenzována, oranžovou barvou je zvýrazněno vylepšené pokrytí odtokové křivky po regulaci. Tímto je zajištěna zvýšená roční výroba, zařízená stálou účinností turbíny i při průtocích $33,33 \div 66,66 \% Q_{\max}$. Navíc je díky dvěma komorám chráněné oběžné kolo před ucpaním¹⁰⁷. Vhodná turbína pro instalaci do MVE Vilémov je v Příloze č. 3, jedná se o dvoukomorovou průtokovou (Bánkiho) turbínu firmy CINK HYDRO ENERGY.

¹⁰⁷ CINK HYDRO ENERGY. Dvoukomorová průtoková turbína [online]. In: [cit. 2021-4-24]. Dostupné z: <https://www.cink-hydro-energy.com/cs/dvoukomorova-prutokova-turbina/>

4.4.3 Výběr vhodného generátoru

Momentálně nejvíce využívaným zdrojem proudu pro MVE je asynchronní generátor, který byl zvolen i pro tento návrh. Asynchronní generátor je spolehlivý, konstrukčně jednoduchý, provozně nenáročný a lze jej snadno přifázovat k síti. Také podstatně usnadní chod celého hydrosoustrojí, protože není třeba jej napětově ani frekvenčně regulovat a poslouží jako regulátor otáček pro turbínu.

Alternátor se snažíme vybírat co nejbližší k průběžným otáčkám turbíny, aby byl převodní poměr co nejnižší. Podobně se snažíme vybírat generátor s blízkým výkonem turbíny. Kdyby byl vybrán generátor s velkou rezervou (např. 20% P_t), zatěžoval by síť zbytečně vysokým jalovým proudem pouze několik dní v roce, což by bylo spíše na škodu, i z důvodu větších ztrát¹⁰⁸. Byl by tzv. předimenzován.

Pro tuto lokalitu a podle vypočtených parametrů turbíny jsem zvolila asynchronní generátor VYBE 2LC355L08¹⁰⁹ (vodní do 10 MW), specifikace viz Tab. 7.

VYBE 2LC355L08	
Parametr	Hodnota
Výkon, P [kW]	250
Frekvence, f [Hz]	50
Otáčky, n [min^{-1}]	740
Napětí, U_G [V]	400/690
Izolační třída	F
Počet pólů	8
Provedení	IM V1 (vertikální)
Účinník, $\cos\varphi$	0,83
Efektivnost, η [%]	94,5
Jmenovitý proud, I_{nG} [A]	360,88

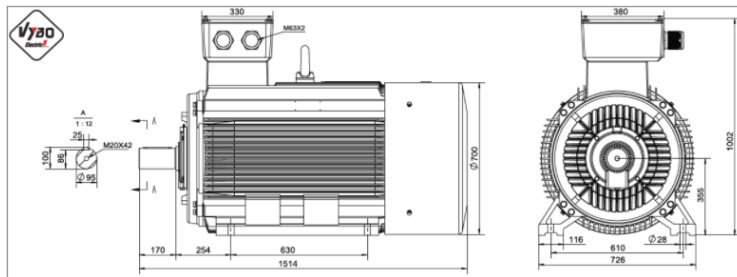
Tab. 7- Vstupní parametry asynchronního generátoru

Otáčky generátoru vypočítáme následovně, (4.18)

$$n_G = (n_1 - n_{\text{štitkové}}) + n_1 = (750 - 740) + 750 = 760 \text{ ot. min}^{-1} \quad (4.18)$$

¹⁰⁸ *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>

¹⁰⁹ ELEKTRO – MOTOR. Elektromotor 200 kW 700 ot 2lc355l08 [online]. [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/obchod/elektromotor-250kw-2lc355l08-740-ot-min-1/>



Obr. 30- Generátor VYBE 2L C355L08 (schéma)

Mimo vstupní parametry je nutné prozkoumat ještě jeho chování při změně zátěže, viz Tab. 8¹¹⁰.

Zátěž [%]	Účinnost η [-]	Účinník $\cos\varphi$ [-]
120	0,925	0,84
100	0,945	0,83
80	0,910	0,78
60	0,870	0,73
40	0,845	0,64
20	0,820	0,5

Tab. 8- Chování generátoru při změně zátěže

Při nižším zatížení klesá účinnost generátoru i účinník. Podobný trend nastane i v případě, kdy zátěž zvýšíme. Následně můžeme vypočítat výkon generátoru pro různé (regulované) průtoky. Účinnost generátoru je určena dle Tab. 8 jako průměrná hodnota mezních hodnot.

$$P_{g1/3} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{\frac{1}{3}} \cdot \eta_t \cdot \eta_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,1 \cdot 1,7 \cdot 0,78 \cdot 0,83 = 65,86 \text{ kW}$$

$$P_{g2/3} = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q_{\frac{2}{3}} \cdot \eta_t \cdot \eta_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,1 \cdot 3,2 \cdot 0,78 \cdot 0,83 = 123,97 \text{ kW}$$

$$P_g = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta_t \cdot \eta_g = 1000 \cdot 9,81 \cdot 6,1 \cdot 4,73 \cdot 0,78 \cdot 0,945 = 183,25 \text{ kW}$$

Je zřejmé, že po připojení generátoru na hřídel se výkon odevzdávající se soustavě sníží v závislosti na účinnosti generátoru, účinnosti turbíny a momentálnímu průtoku.

¹¹⁰ ELEKTRO – MOTOR. Elektromotor 200 kW 700 ot 1lc355l-8. [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: <https://www.elektro-motor.cz/obchod/elektromotor-200kw-750ot-1lc355l-8/>

4.4.4 Převod

V tomto případě volím nejjednodušší a opět nejvíce používanou možnost u MVE, a to řemenovou převodovku. Převodní poměr zjistíme ze vztahu (4.8) následovně.

$$i = \frac{n_G}{n_T} = \frac{760}{100,36} = 7,57$$

Převod mezi turbínou a generátorem bude realizován s převodním poměrem 1:7,57. Účinnost řemenového převodu je 97 %, z čehož vypočítáme přibližnou hodnotu výkonu, který je vyveden z elektrárny.

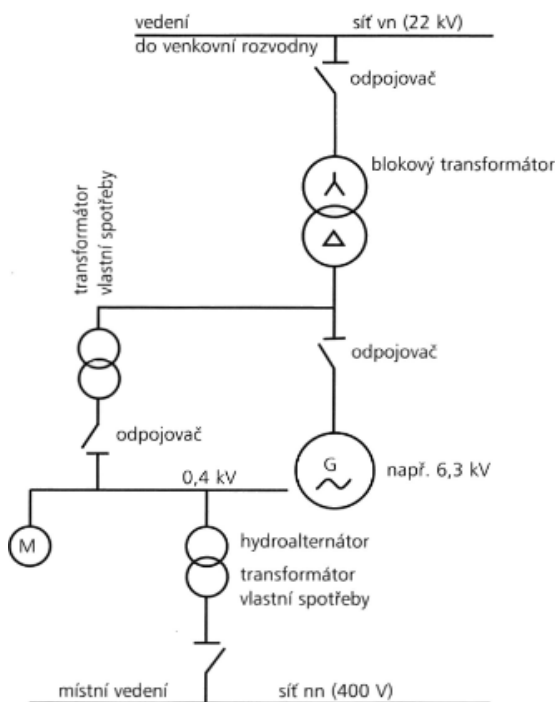
Výpočet vyvedeného výkonu z elektrárny:

$$\begin{aligned} P &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_p = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,73 \cdot 6,1 \cdot 0,78 \cdot 0,945 \cdot 0,97 \\ &= 202,38 \text{ kW} \end{aligned}$$

5. NÁVRH ELEKTRICKÉ ČÁSTI

„Silnoprúdová zařízení jsou v elektrárně určena k přenosu, transformaci, spínání a jištění vyrobené elektrické energie, také k zásobování pohonů a jiných elektrických spotřebičů zahrnutých do vlastní spotřeby MVE¹¹¹.“ Stěžejním prvkem je elektrická přípojka kabelového/venkovního vedení, která slouží k vyvedení výkonu z objektu. Rozlišujeme přípojku na nízká a vysoká napětí. Elektrárnu lze tedy připojit do veřejné rozvodné sítě eventuálně do rozvodného systému průmyslových závodů. Pro připojení je však nutné dodržet podmínky provozování distribuční soustavy. Schéma připojení MVE k síti je na Obr. 34¹¹². Elektrické schéma MVE je jednopólové na společné přípojnici (jednopólové schéma viz Příloha č. 4).

Jak je z Obr. 34 patrné, hlavními prvky elektrického systému jsou: generátor a jeho vývody, rozvodna generátorových vývodů, blokový transformátor, vývody z transformátoru, venkovní rozvodna, transformátor vlastní spotřeby, elektrická zařízení (zdvihy, jeřáb, ...), budiče generátorů a pomocná zařízení (odpojovače, vypínače, jističe, ...).



Obr. 31- Schéma připojení MVE k síti, [17]

¹¹¹ MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 147

¹¹² MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2. Str. 145

Blokový transformátor (vývodový) je trojfázový či jednofázový, pokud je umístěn uvnitř budovy, je zpravidla v suchém provedení. Transformátor je na straně generátoru zapojen do trojúhelníka, díky čemuž se potlačí nulové složky soustavy a vyšší harmonické. Transformátor vlastní spotřeby je také v suchém provedení.

Rozvodna je v případě MVE nejčastěji skříňová – izolovaná/vzduchem zapouzdrěná¹¹³. Připojení alternátorů s přívodními skříněmi rozvaděčů jsou kabelová.

5.1 Vlastní spotřeba MVE

Vlastní spotřeba by měla být pokud možno co nejnižší, zahrnuje spotřebiče technologické (např. čerpadla mazacího oleje) i stavební části MVE s požadavkem na zajištění spolehlivého a operativního chodu elektrárny. U MVE s jmenovitým napětím alternátorů do 400 V, se vlastní spotřeba napájí z rozvaděče, na který je alternátor připojen. Pokud chceme vlastní spotřebu napájet z veřejné sítě, musí být požádáno o povolení PDS. U MVE s jmenovitým napětím jiným než 400 V, se napájení vlastní spotřeby řeší pomocí transformátoru vlastní spotřeby, tzv. odbočkový transformátor. Vlastní spotřeba je za normálního provozu napájena z generátoru, tzv. pracovního zdroje.

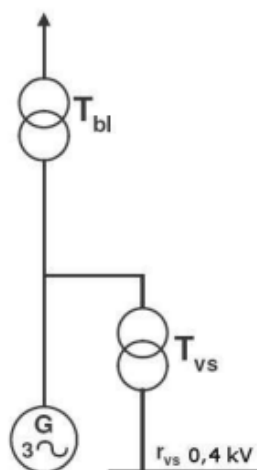
Pokud požadujeme větší zabezpečení a spolehlivost, opatříme elektrárnu záložním, popřípadě nouzovým zdrojem. Záložní zdroj je aktivní v případě poruchy pracovního zdroje a odebírá potřebnou energii ze soustavy. Nouzový zdroj je aktivní v případě poruchy záložního zdroje a není závislý na připojení k veřejné síti, jedná se o dobřehové zdroje pro napájení elektrických ochran, záložních čerpadel mazacího oleje turbosoustrojí, nouzového osvětlení. Pro malé bloky je nouzový zdroj realizován akumulátorovými bateriemi. Soustrojí s asynchronním generátorem se do sítě připojuje vždy pod napětím, z tohoto důvodu je pod napětím i vlastní spotřeba¹¹⁴.

¹¹³ HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Příručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075). (volně přeneseno)

¹¹⁴ ČSN 75 2601: *Malé vodní elektrárny - základní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 28 s. (volně přeneseno)

Na Obr. 35¹¹⁵ je uvedeno schématické zapojení vlastní spotřeby. Blokovaný transformátor T_{bl} upravuje vyrobenou energii na napětíovou hladinu veřejné sítě a je do sítě připojen pomocí výkonového vypínače bloku, transformátor vlastní spotřeby T_{vs} upravuje část vyrobené elektrické energie na energii pro vlastní spotřebu, odpor r_{vs} představuje odpor spotřebičů, které zajišťují spolehlivý chod MVE. Generátor je připojen pomocí generátorového vypínače.

Výkon zdrojů vlastní spotřeby se navrhuje na základě součtového výkonu všech spotřebičů, viz vztah (5.1)¹¹⁶. S podmínkou, že jmenovitý výkon zdroje vlastní spotřeby S_z je větší nebo roven součtovému výkonu spotřebičů S_p . Dále musíme zajistit, aby napětí na svorkách elektromotoru bylo v rozmezí $\pm 5\%$ U_n , pokles napětí při spouštění největšího spotřebiče nesmí klesnout pod 85% U_n , pokles napětí při spouštění skupiny spotřebičů nesmí klesnout pod 65% U_n . Změna frekvence je povolena v rozmezí ± 1 Hz od síťové frekvence (50 Hz).



Obr. 32- Schéma vlastní spotřeby elektrárny, [10]

¹¹⁵ HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Příručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075). Str. 523

Výpočet součtového výkonu spotřebičů (5.1)¹¹⁷

$$S_p = \frac{\sum_i P_{ni}}{\cos\varphi_n} \cdot \beta \quad [\text{W}] \quad (5.1)$$

kde:

P_n ... instalovaný výkon jedné skupiny spotřebičů [W],

$\cos\varphi_n$... účinník skupiny spotřebičů [-],

β ... koeficient náročnosti, viz (5.2) [-].

Vztah pro výpočet koeficientu náročnosti:

$$\beta = \frac{k_v \cdot k_s}{\eta_m \eta_s} \quad [-] \quad (5.2)$$

kde:

k_v ... koeficient využití [-], viz (5.3),

k_s ... koeficient současnosti [-], viz (5.4),

η_m ... střední účinnost spotřebičů při daném užití [-],

η_s ... účinnost napájecí soustavy od místa připojení vlastní spotřeby [-].

Vztah pro výpočet koeficientu využití k_v :

$$k_v = \frac{\sum_i P_{ni}}{\sum_i P_{si}} \quad [-] \quad (5.3)$$

vztah pro výpočet koeficientu současnosti k_s :

$$k_s = \frac{\sum_i P_{si}}{\sum_i P_{ni}} \quad [-] \quad (5.4)$$

kde:

P_s ... jmenovitý výkon současně pracujících spotřebičů v jedné skupině [W],

P_n ... instalovaný výkon jedné skupiny spotřebičů [W].

¹¹⁷ PROCHÁZKA, Radek. Elektroenergetika 1. PowerWiki [online]. [cit. 2021- 03- 07]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika-1-Zakladni%20pojmy%20a%20definice.pdf> (volně přeneseno)

5.2 Podmínky připojení k síti

Licence pro provozování MVE vydává ERÚ a řídí se energetickým zákonem¹¹⁸, stejně tak jako připojení vlastního zdroje do veřejné sítě, které musí být provedeno dle platných zákonů a vyhlášek ERÚ (*Vyhláška č. 8/2016 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích, ve znění pozdějších předpisů*)¹¹⁹. Je důležité poznamenat, že majitel MVE zajišťuje připojení do distribuční sítě na vlastní náklady.

Provozovatel distribuční soustavy si určuje podmínky pro připojení na základě podané místní „*Žádosti o připojení zařízení výrobce k distribuční soustavě.*“ viz Příloha č. 5¹²⁰. Provoz výroby nesmí zhoršit kvalitu elektrické energie v místě připojení.

MVE se asynchronním generátorem je provozována paralelně se sítí (v režimu regulace hladiny) Provozovatele distribuční soustavy (PDS) a je tedy nutné určit vhodné předávací místo s vypínačem pro spolehlivé odpojení MVE od rozvodné sítě. Současně je třeba přešetřit vliv proudových nárazů po zapojení asynchronního generátoru (generátory se připojují v mezích 95 % ÷ 105 % synchronních otáček, aby došlo ke snížení proudu při spínání). Pravidla pro paralelní provoz zdrojů udává ERÚ. Aby nedocházelo k nechtěnému zavlečení zpětného napětí do veřejné sítě, je možné zapojit vyvedení vlastní výroby pouze tehdy, když jsou všechny fáze sítě pod napětím.

Pro spojení vlastní výroby se sítí provozovatele musí být použita spínací zařízení se schopností vypínání zátěže (vypínač, odpínač s pojistkami, úsekový vypínač) se zkratovou ochranou. Spínací zařízení slouží ke galvanickému oddělení ve fázích.

MVE musí být vybaveny zařízením pro snímání okamžitého stavu horní hladiny a zařízením pro snímání spádu u vtoku a výtoku z elektrárny (tzv. vodočty). Elektrárny musí mít mimo jiné instalované elektroměry a řídicí přístroje (pro přepínání tarifů – nejčastěji jednotarifní či dvoutarifní), jejichž počet a umístění je řešeno dle smluvních podmínek PDS. Elektroměry zajišťují odečet činné vyrobené energie, jalové a činné spotřebované energie.

Měření je voleno podle napěťové hladiny a podle výkonu následovně: vysoké napětí (do výkonu transformátoru 630 kVA).

¹¹⁸ Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů (energetický zákon). Sbírnka zákonů. 28. 11. 2000. ISSN 1211-1244.

¹¹⁹ Vyhláška č. 8/2016 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích, ve znění pozdějších předpisů. Sbírnka zákonů. 11. 01. 2016.

¹²⁰ ERÚ. Poze [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/poze>

MVE, které jsou připojovány do rozvodné sítě vysokého napětí, používají třífázové snižovací transformátory (se jmenovitým vstupním napětím 35, 5, 22, 10 nebo 6 kV se jmenovitým výstupním napětím 400/230 V nebo 6,3 kV)¹²¹.

5.2.1 Ochrany

Elektrické ochrany se navrhují podle normy ČSN 33 3051- *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*¹²² a požadavků PDS. Zařízení musí být před uvedením do provozu podrobena výchozí revizi. Výrobnu je třeba opatřit zkratovou ochranou (jističe, zkratové spouštěče jističů na vývodu generátoru), ochranou proti přetížení (nadproudová relé), ochranou před nebezpečným dotykem, ochranou napěťovou a podpěťovou (relé), ochranou proti asymetrii napětí, ochranou proti nesymetrickému zatížení, ochranou sledu fází, a to vše v souladu s předpisy.

Generátory musí být při výpadku napětí sítě schopny opětovného připojení k soustavě, což závisí na preferovaném ovládní elektrárny (automatické/poloautomatické/ruční). Pokud je poruchový stav alternátoru nebezpečný pro chod elektrizační soustavy, je nutno jej odstavit, což má za úkol síťová ochrana. V elektrárně jsou instalovány dva typy síťových ochran, a to napěťová a kmitočtová. Napěťové ochrany musí být trojfázové, frekvenční ochrany jednofázové. Síťové ochrany mají spínací kontakty zapojeny sériově do obvodu spínačů generátoru. Generátory jsou dále vybaveny nadproudovou a zkratovou ochranou, ochranou při fázování (na synchronní otáčky) a zpětnou wattovou kontrolou.

5.3 Návrh vyvedení výkonu z MVE Vilémov

Objekt elektrárny se nachází přímo na trase linky vn (35 kV), připojení bude provedeno transformátorem 35/0,4 kV v transformační stanici provozovatele MVE s odpínačem US_SM_0202 včetně dálkového ovládní, respektive připojovacím vedením. Místo připojení je vzdáleno asi 10 m od budovy elektrárny. Do distribuční soustavy jsou odváděny přebytky z výrobní s rezervovaným příkonem 15 kW. Místním PDS je ČEZ Distribuce, a. s., pro připojení do sítě bude tedy nutné splnit jejich požadavky a odeslat na jejich adresu žádost o připojení¹²³.

¹²¹ ČSN 75 2601: *Malé vodní elektrárny - základní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 28 s. (volně přeneseno)

¹²² ČSN 33 3051: *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1993. (volně přeneseno)

¹²³ KONEJL, Marek a KRAML, Karel. *Projekt pro územní rozhodnutí MVE Vilémov*. Stream s.r.o., Praha, 2016. (volně přeneseno)

Pro přivedení výkonu z elektrárny je zapotřebí přívodní kabel o délce 10 m, který slouží k propojení transformační stanice a rozvaděče, na který je napojen asynchronní generátor. Parametry a typ přívodního kabelu zjistíme z přehledné tabulky (Tab. 9) a výpočtů.

Parametr přívodního kabelu	Značení, jednotky	Hodnota
Délka kabelu	l [m]	10,00
Instalovaný výkon MVE	P [kW]	202,38
Výkon generátoru	P _G [kW]	250,00
Napětí	U [V]	400,00

Tab. 9- Vstupní hodnoty pro výpočet parametrů přívodního kabelu

Postup výpočtu potřebného průřezu vodiče je následující: nejprve je třeba zjistit výpočtový proud (5.5)¹²⁴.

$$I_v = \frac{P_G}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,83} = 434,75 \text{ A} \quad (5.5)$$

Pomocí výpočtového programu SICHR projekce OZE je možné zjistit parametry vodiče dle výpočtového proudu a typu instalace (v tomto případě do země – způsob uložení D za podmínek: vodorovné uložení s měrným tepelným odporem 0,7 K.m.W⁻¹, v trubkách a teplotě půdy 20°C). Jmenovitá zatížitelnost je větší, než proud I_v . Dle programu¹²⁵ vychází nejlépe vodič s měděným jádrem a izolací PVC o průřezu 240 mm². Vzhledem k typu izolace je nejvyšší dovolená provozní teplota 120°C. Těmto parametrům vyhovuje 1 - CYKY 3 x 240 (+ 120) výrobce PRAKAB (katalog viz Příloha č. 6¹²⁶). Kabel bude jištěn pojistkami gG¹²⁷.

¹²⁴ MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektroenergetika 1* [online]. Praha: VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křížka, 2016 [cit. 2021-05-06]. ISBN 978-80-88058-81-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/260/Impresum.html> (volně přeneseno), pro tento výpočet lze mimo jiné použít vztahy z kapitoly 5.1

¹²⁵ OEZ. Výpočtový program SICHR [online]. [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.oez.cz/sluzby/vypoctovy-program-sichr>

¹²⁶ PRAKAB. *Produkty: Silové kabely* [online]. [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.prakab.cz/cz/produkty/#Produktove-skupiny>

¹²⁷ MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektroenergetika 1* [online]. Praha: VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křížka, 2016 [cit. 2021-05-06]. ISBN 978-80-88058-81-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/260/Impresum.html> (volně přeneseno)

Na Obr. 36 a Obr. 37 je provedení místa připojení MVE k soustavě.



Obr. 33- Transformační stanice 35/0,4 kV



Obr. 34- Vzdálenost TR stanice od strojovny

5.3.1 Kompenzace jalového výkonu

V návrhu strojní části jsem se rozhodla do MVE instalovat asynchronní generátor, který ze sítě odebírá jalovou induktivní složku. PDS vyžaduje, aby generátor dodával do sítě činný výkon v rozmezí induktivního účinníku $\cos\varphi = 0,95 \div 1$ (dodávka jalového výkonu induktivního charakteru, pokud je $\cos\varphi = 1$, je do sítě dodáván pouze činný výkon) a kapacitního účinníku $\cos\varphi = 0,95 \div 1$ (chod generátoru v podbuzeném stavu)¹²⁸. Kompenzace je provedena pomocí kompenzační baterie. Pro výpočet vycházíme z parametrů zvoleného generátoru. Zdánlivý výkon generátoru vypočítáme dle (5.6). Jalový výkon generátoru vypočítáme dle vztahu (5.7)¹²⁹.

$$S_G = \frac{P_G}{\cos\varphi} = \frac{250 \cdot 10^3}{0,83} = 301,2 \text{ kVA} \quad (5.6)$$

$$Q_G = \sqrt{S_G^2 - P_G^2} = P_G \cdot \operatorname{tg}\varphi = 168,0 \text{ kVAr} \quad (5.7)$$

¹²⁸ KONEJL, Marek a KRAML, Karel. *Projekt pro územní rozhodnutí MVE Vilémov*. Stream s.r.o., Praha, 2016. Str. 24

¹²⁹ BEŠTA, M. *Kompenzace účinníku* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T2.2-Kompenzace-%C3%BA%C4%8Din%C3%ADku.pdf>

Generátor chceme kompenzovat na hodnotu danou PDS, tedy na $\cos\varphi = 0,95$, výkon sítě vypočítáme dle vztahu (5.8).

$$Q_{sít} = P_G \cdot tg\varphi_2 = 250 \cdot tg(18,19^\circ) = 82,0 \text{ kVAr} \quad (5.8)$$

Abychom dostali výsledný jalový výkon, který je třeba kompenzovat, vypočteme rozdíl jalového výkonu generátoru a jalového výkonu sítě následovně:

$$Q_{kom} = Q_G - Q_{sít} = 168,0 - 82,0 = 86,0 \text{ kVAr}$$

Z výpočtu plyne, že je třeba kompenzovat jalový výkon 86 kVAr pomocí 7 kompenzačních kondenzátorů CSADG 1 – 0,4/12,5 kVAr 400 V výrobce ZEZ SILKO¹³⁰

Pro dosažení potřebné kompenzace budou kondenzátory spojeny paralelně a jištěny pojistkami s pomalou vypínací charakteristikou. Baterie bývají umístěny v kompenzačním rozvaděči, pomocí stykačů jsou zařazovány do obvodu dle potřeby. Navíc bychom se měli vyhnout chodu motoru naprázdno, tedy provozu, který způsobuje zhoršení účinníku. Na Obr. 37¹³¹ je provedení kompenzačních baterii firmy ZEZ SILKO, jejichž kondenzátory odpovídají standardům a aktuálním trendům, na Obr. 38¹³² je provedení stykače jedné baterie.



Obr. 35- Kompenzační baterie ZEZ SILKO



Obr. 36- Kompenzační stykač

¹³⁰ E1. Kompenzační kondenzátor CSADG 1-0,4/12,5 kVAr 400 V [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.e1.cz/produkt/1147318-kompenzacni-kondenzator-csadg-1-0-4-12-5kvar-400v?t=popis>

¹³¹ E1. Kompenzační kondenzátor CSADG 1-0,4/12,5 kVAr 400 V [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.e1.cz/produkt/1147318-kompenzacni-kondenzator-csadg-1-0-4-12-5kvar-400v?t=popis>

¹³² E1. Kompenzační stykač 30 kVAr BFK3800A230 [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.e1.cz/produkt/1199777-stykac-kompenzacni-30kvar-bfk3800a230?t=popis>

6. STÁVAJÍCÍ MVE VILÉMOV

Na úvod této kapitoly je uvedeno několik fotografií stávající MVE Vilémov (Obr. 40 ÷ Obr. 44). Zastavěná plocha MVE činí 182 m².



Obr. 39- Strojovna MVE Vilémov



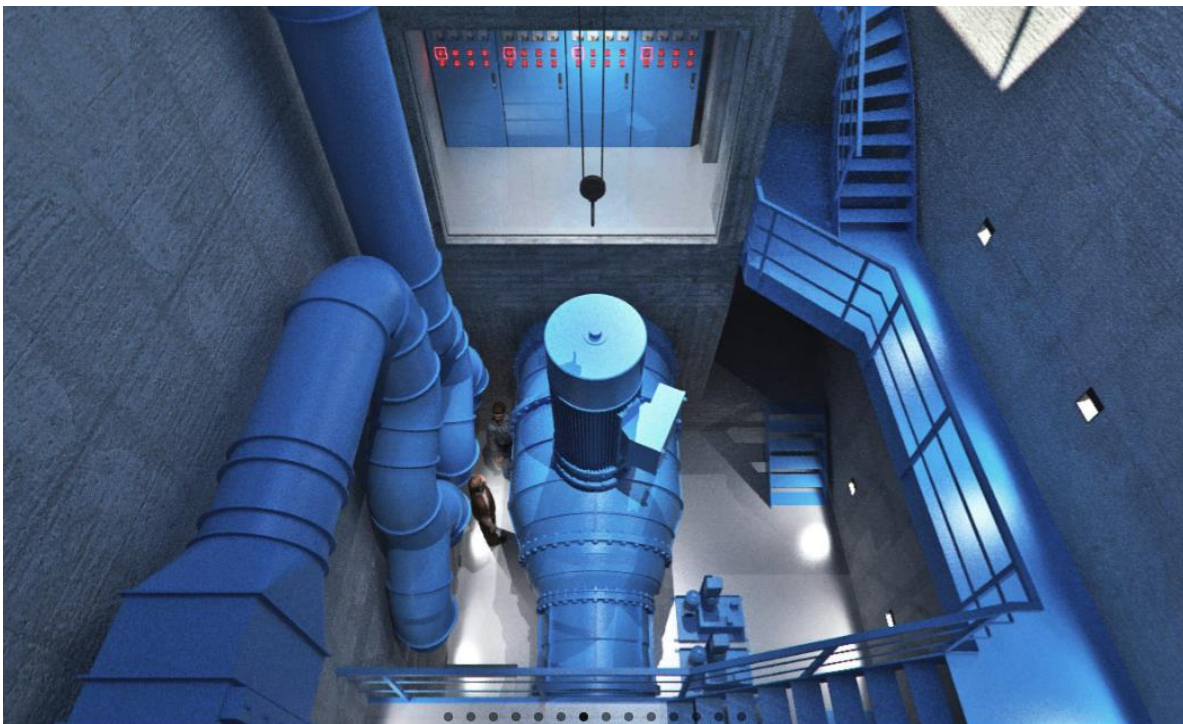
Obr. 37- Odpadní kanál MVE Vilémov



Obr. 38- Česlovna s jalovou přepustí na jezu Vilémov



Obr. 41- Mechanismus k regulaci průtoku MVE Vilémov – regulační uzávěr

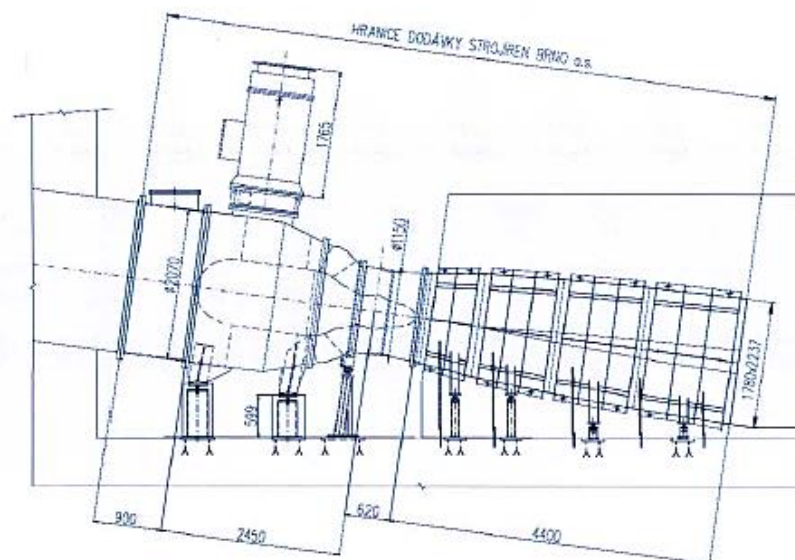


Obr. 40- Náhled do strojovny MVE Vilémov (návrh HERODESIGN)

MVE Vilémov je vybavena Kaplanovou turbínou následujících parametrů viz Tab. 10¹³³. Hltnost turbíny je na rozdíl od mnou zvolené Bánkiho turbíny $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na Obr. 45¹³⁴ je zakázkový výkres Kaplanovy turbíny ve spolupráci se společností Strojírny Brno, a.s., kde byla zakázka vyhotovena.

Parametry Kaplanovy turbíny	Hodnoty
Průměr oběžného kola, D [mm]	1150
Provozní průtoky, Q [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	1,0 ÷ 4,0
Maximální průtok, Q _{max} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	7,2
Mínimální průtok, Q _{min} [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]	1,0
Provozní čistý spád, H [m]	5,5 ÷ 8,0
Provozní spád, H [m]	6, 1
Otáčky, n _n [min^{-1}]	326
Max. výkon na výstupu, P _t [kW]	372
Uspořádání	Horizontální
Sanační výška [m]	1,3

Tab. 10- Parametry původní (Kaplanovy) turbíny, [6]



Technická specifikace SOD č. 910/2016

7

Obr. 42- Projekční výkres Kaplanovy turbíny

¹³³ ČÍPA, Jiří. *MVE Vilémov: Dodávka strojní technologie MVE*. Kuřim: Strojírny Brno, 2016.

¹³⁴ tamtéž

Dále je stávající objekt vybaven vertikálním přírubovým asynchronním generátorem SIEMENS Typ – 1LA8 403-8AB64-Z s parametry viz Tab. 11¹³⁵. Převod na hřídeli je uskutečněn pravoúhlými kuželovými ozubenými koly s cyklopaloidním ozubením přes pružnou spojku s brzdovým kotoučem.

Parametry generátoru	Hodnoty
Typ	Asynchronní
Otáčky, n_n [min^{-1}]	758
Max. činný výkon, P_G [kW]	355
Uspořádání	Vertikální
Napětí, U [V]	400
Izolace tř.	F
Využití tř.	B
Hmotnost, m [kg]	2800
Účíník, $\cos\varphi$ [-]	0,82

Tab. 11- Parametry původního generátoru SIEMENS, [6]

Celá technologie je vybavena snímači pro automatický provoz soustrojí. „Regulace je provedena pomocí regulačního agregátu (svařovaná ocelová nádrž na olej). Na víku nádrže je umístěn hydrogenerátor s pojišťovacím ventilem a nástavbou obsahující elektromagnetické ventily a škrťací ventily pro ovládání oběžného kola, proporcionální ventil pro ovládání, ventil pro ovládání brzd, havarijní ventil, snímač hladiny a teploty oleje. Součástí je i dusíkový akumulátor, který při jakémkoliv poruchovém stavu po odpojení přívodu elektrické energie do havarijního ventilu, uzavírá servomotor a tím uzavře proudění vody přes turbínu¹³⁶.“

Vyvedení výkonu je provedeno stejně, jako v mém návrhu – pomocí transformační stanice dle normy ČSN 75 2601: *Malé vodní elektrárny – základní požadavky*.¹³⁷

¹³⁵ ČÍPA, Jiří. *MVE Vilémov: Dodávka strojní technologie MVE*. Kuřim: Strojírny Brno, 2016.

¹³⁶ ČÍPA, Jiří. *MVE Vilémov: Dodávka strojní technologie MVE*. Kuřim: Strojírny Brno, 2016. Str. 5

¹³⁷ ČSN 75 2601: *Malé vodní elektrárny - základní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 28 s.

7. TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

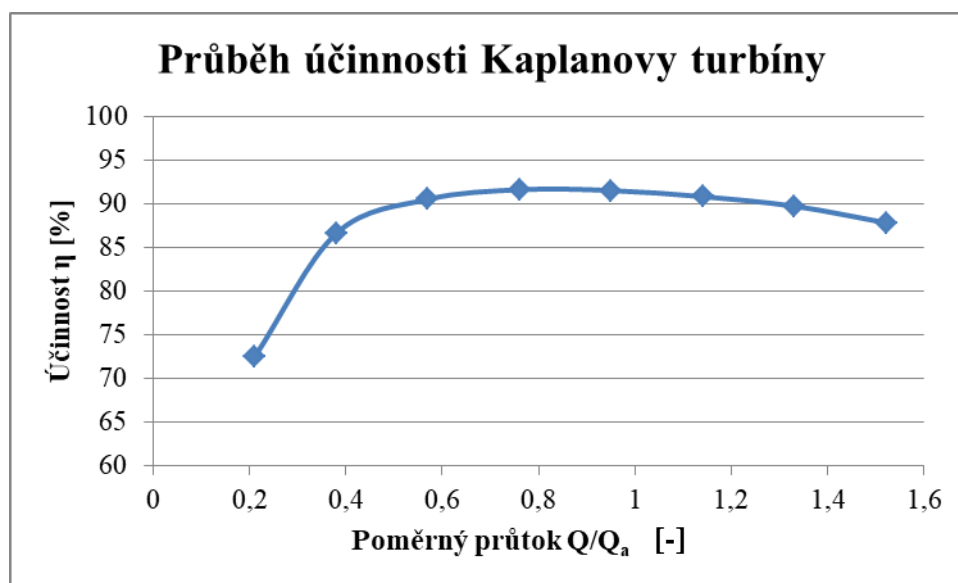
Z toho důvodu, že jsem v mém návrhu MVE ponechala původní stavební část, včetně budov, derivačního i odpadního kanálu, jalového přepadu, regulačního uzávěru a transformační stanice, budou rozdíly mezi původní a nově navrženou elektrárnou patrné zejména na strojním vybavení objektu. Pro lepší zřetelnost zavádím značení: MVE1 pro původní elektrárnu, MVE2 pro nově navržené řešení.

7.1 Turbíny

V MVE1 je instalována přetlaková Kaplanova turbína, v MVE2 je dvoukomorová Bánkiho turbína. Obě turbíny jsou provozovány v horizontální pozici a jsou si rozměrově podobné (průměr oběžného kola Kaplanovy turbíny je 1 150 mm, průměr oběžného kola Bánkiho turbíny je 1 062,7 mm), z toho důvodu je možné turbíny zaměnit bez stavebního zásahu do objektu strojovny MVE1.

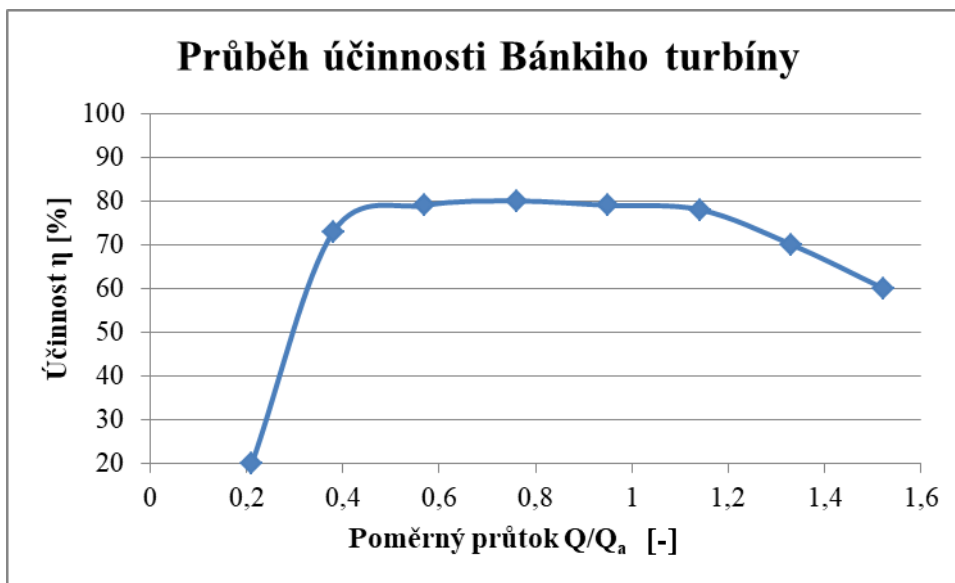
7.1.1 Zhodnocení účinnosti turbín

Kaplanova turbíny dle literatury¹³⁸ (za provozních podmínek) dosahuje účinnosti až 90 %, zatímco Bánkiho turbína dosahuje účinnosti 78 %. Hlavním rozdílem je však změna účinnosti v závislosti na změně průtoku. Na Obr. 46 je průběh účinnosti Kaplanovy turbíny, na Obr. 47 je průběh účinnosti Bánkiho turbíny.



Obr. 43- Průběh účinnosti Kaplanovy turbíny, [6]

¹³⁸ MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0. Str. 53



Obr. 44- Průběh účinnosti neregulované Bánkiho turbíny, [2]

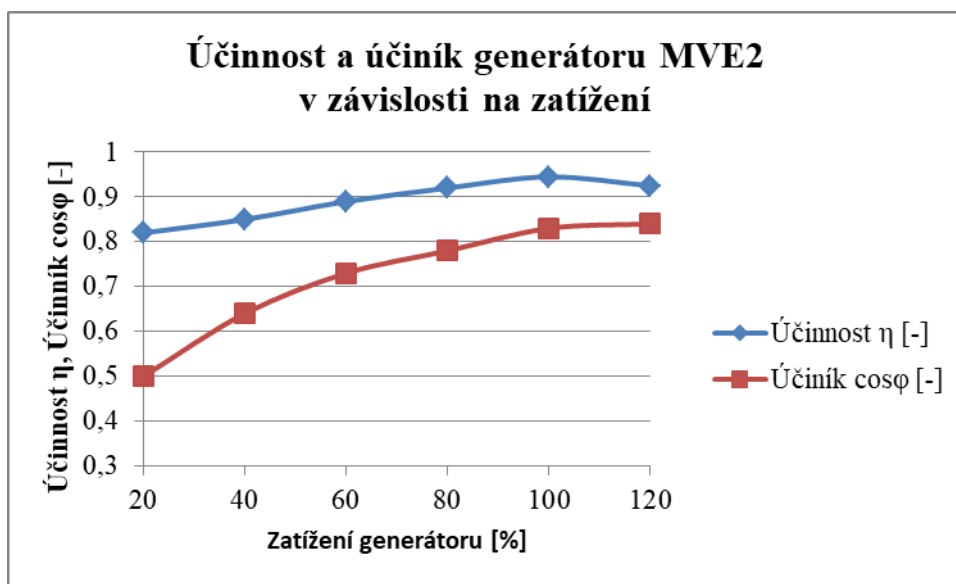
Průtoky v obou grafech jsou pro lepší názornost uvedeny v poměrných jednotkách (ku jmenovitému průtoku $Q_a = 4,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Z uvedených grafů je evidentní, že Kaplanova turbína na změnu průtoku reaguje lépe, než Bánkiho, u které lze zaznamenat velký pokles účinnosti u malých ($20 \% Q_a$) i velkých ($130 \div 160 \% Q_a$) průtocích. Tato charakteristika Bánkiho turbíny indikuje efektivní využití při konstantních průtocích, jelikož velké změny vedou ke strmému snížení účinnosti, z tohoto důvodu je třeba turbínu regulovat (podobně jako v kapitole 4.4.2). Naopak Kaplanova turbína má menší výkyvy účinnosti, a to zejména při menších průtocích. Na první pohled je vidět, že rozdíl účinností při jmenovitého a minimálního průtoku je u MVE1 18 %, u MVE2 58 %. Pokud budeme uvažovat regulaci Bánkiho turbíny, pak lze tvrdit, že křivka bude téměř plochá a účinnost v závislosti na průtoku neměnná¹³⁹.

Na účinnost turbíny mají vliv i měrné otáčky. U přetlakových turbín s vyššími měrnými otáčkami se vlivem zvětšování hodnoty průtoku zvyšuje relativní rychlost vody v průtočných kanálech a tím i hydraulické ztráty stroje. To vede ke zvětšování strmosti účinnostních křivek, z tohoto důvodu je u Kaplanovy turbíny využíváno dvojité regulace (natáčením rozváděcích i oběžných lopat).

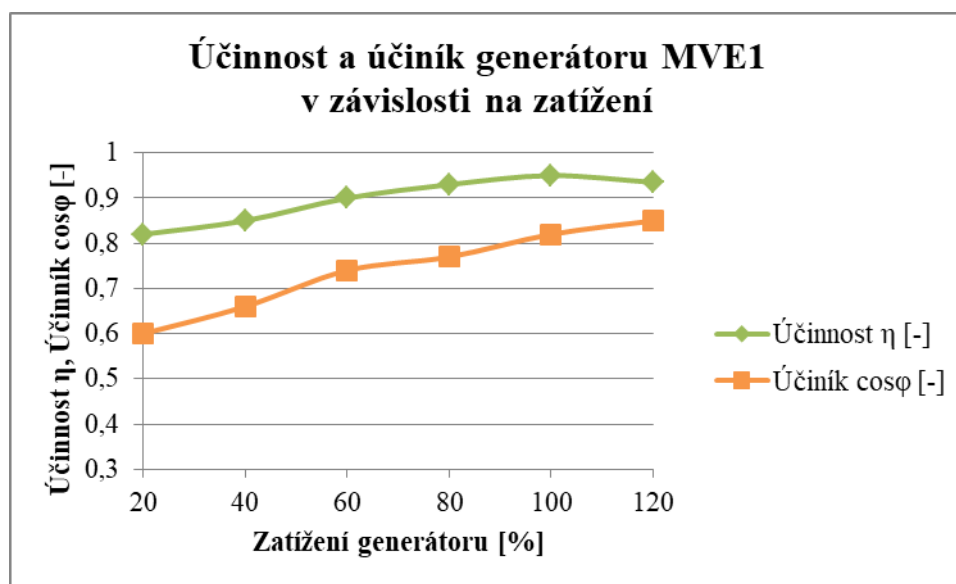
¹³⁹ BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 158

7.2 Generátory

V MVE1 i MVE2 je instalován asynchronní generátor. V případě MVE2 s výkonem 250 kW a účínkem $\cos\varphi = 0,83$, MVE1 je vybavena generátorem s výkonem 355 kW a účínkem $\cos\varphi = 0,82$. Z odlišných účínků plynou i jiné parametry kompenzace jalového výkonu. V MVE2 je pro kompenzaci použito 7 kompenzačních baterii (každá 12,5 kVAr) firmy ZAZ SILKO, v MVE1 je pro kompenzaci použito 10 kompenzačních baterii (každá 12,5 kVAr). Na Obr. 48 je závislost účínku a účinnosti na zatížení generátoru v MVE2, na Obr. 49 obdobně pro generátor v MVE1.



Obr. 46- Účinnost a účiník generátoru MVE2 v závislosti na zatížení, viz Tab. 8



Obr. 45- Účinnost a účiník generátoru MVE1 v závislosti na zatížení, [6]

Generátor MVE1 má o 0,05 % lepší účinnost, než generátor MVE2, tedy 95%. Závislost účinnosti na velikosti zátěže má pro oba generátory téměř totožný charakter. Rozdílný je v tomto případě účinník, který je v generátoru MVE1 o 0,01 nižší, ale v závislosti na klesajícím zatížení se chová lépe, než účinník generátoru MVE2, a to tak, že jeho pokles od jmenovité hodnoty je při 20% (minimálním zatížení) 0,21, zatímco v případě MVE2 jde o pokles 0,33. Dle požadavků PDS je vyžadován účinník v rozmezí $0,85 \div 0,95$. V případě dlouhodobého minimálního průtoku by byl generátor MVE1 vhodnější, ale díky „normálnímu“¹⁴⁰ průtoku řeky Jizery je minima dosahováno jen zřídka, proto jako vhodnější volím generátor MVE2, který vyžaduje menší kompenzaci a zároveň je jeho účinník blíže k požadované hodnotě PDS.

7.3 Výkon

Výkon MVE1 i MVE2 je závislý na momentálním průtoku i účinnosti soustrojí. Výkon v závislosti na účinnosti a průtoku MVE1 je uveden v Tab. 12, pro MVE2 v Tab. 13.

Výkon v závislosti na průtoku (MVE1) [kW]				
Průtok Q	Spád H	Účinnost turbíny η	Výkon turbíny P_t	Výkon generátoru P_G
[m ³ .s ⁻¹]	[m]	[%]	[kW]	[kW]
7,2	6,1	87,8	378,3	355,8
6,3	6,1	89,7	338,2	318,0
5,4	6,1	90,8	293,4	276,0
4,5	6,1	91,5	246,4	231,7
3,6	6,1	91,6	197,3	185,6
2,7	6,1	90,5	146,2	137,5
1,8	6,1	86,6	93,3	87,7
1,0	6,1	72,5	43,4	40,8

Tab. 12- Výkon MVE1, [6]

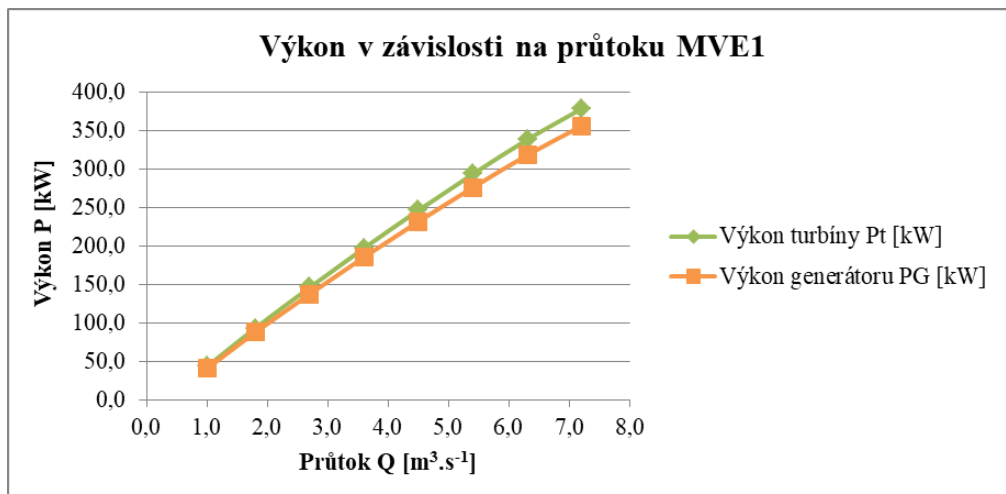
Účinnost generátoru MVE1 je uvažována 95 % a účinnosti převodovky 99 %. Účinnost generátoru MVE2 je 94,5 % a účinnost řemenové převodovky 97 %. Současně je třeba u Bánkiho turbíny uvažovat maximální průtok $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z důvodu navržené regulace. Výkon turbíny a generátoru byl počítán dle vztahu (3.5).

¹⁴⁰ ČHMÚ. Kategorie vodnosti toků. Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/vodnosti/vodnosti.html>

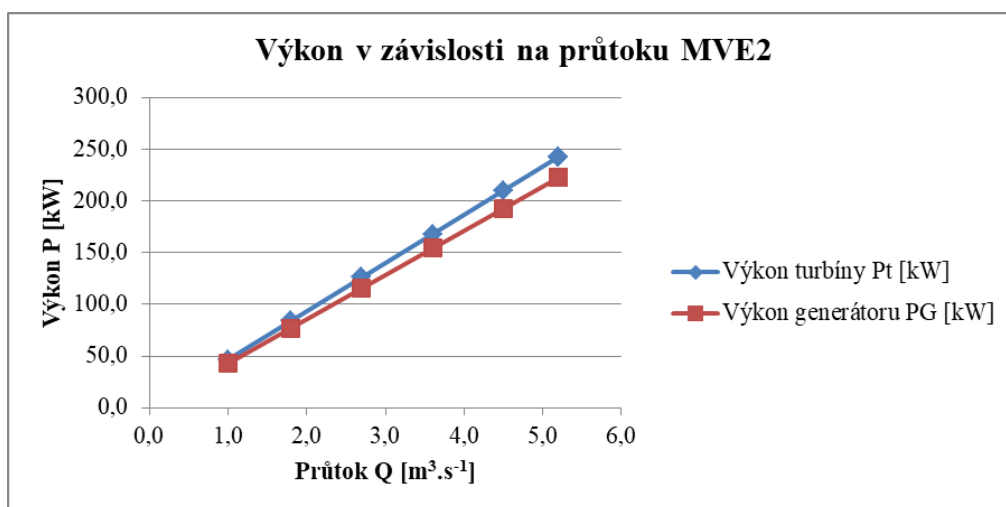
Výkon v závislosti na průtoku (MVE2) [kW]				
Průtok Q	Spád H	Účinnost turbíny η	Výkon turbíny P_t	Výkon generátoru P_G
[m ³ .s ⁻¹]	[m]	[%]	[kW]	[kW]
5,2	6,1	78,0	242,7	222,5
5,2	6,1	78,0	242,7	222,5
5,2	6,1	78,0	242,7	222,5
4,5	6,1	78,0	210,0	192,5
3,6	6,1	78,0	168,0	154,0
2,7	6,1	78,0	126,0	115,5
1,8	6,1	78,0	84,0	77,0
1,0	6,1	78,0	46,7	42,8

Tab. 13- Výkon MVE2

Pro lepší představu uvádím ještě grafickou závislosti: Obr. 50, 51.



Obr. 47- Výkon v závislosti na průtoku MVE1



Obr. 48- Výkon v závislosti na průtoku MVE2

Z grafů výkonů elektráren v závislosti na průtoku (Obr. 50,51) je zřejmé, že elektrárna MVE1 s Kaplanovou turbínou je výkonnější, než MVE2 s Bánkiho turbínou. Ačkoli jsou v obou případech uvažovány stejné průměrné roční průtoky dle naměřené tabulky M – denních průtoků na jezu Vilémov, tak je výkon na výstupu původní elektrárny vyšší. S vyšším výkonem jde ruku v ruce i větší hodnota dodané energie do sítě. Tento výsledek je způsoben zejména lepší účinností turbíny, generátoru i převodovky v MVE1. Dalším vlivným faktorem je skutečnost, že turbína MVE2 je navržena s dvoukomorovou regulací a vzhledem k ročním průtokům bylo k uskutečnění regulace třeba zohlednit nižší maximální průtok, tedy $5,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na místo $7,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Rozdíl maximálního výkonu MVE1 a MVE2 činí 133,3 kW, což lze například využít k provozu: 144 hodin sledování plazmové televize či vyrobení 11 108 ks toastů v toastovači¹⁴¹. V Tab. 14 je dále uvedeno, jakých výkonů by MVE2 dosahovala bez regulace.

Výkon v závislosti na průtoku bez regulace (MVE2) [kW]				
Průtok Q	Spád H	Účinnost turbíny η	Výkon turbíny P_t	Výkon generátoru P_G
$[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	[m]	[%]	[kW]	[kW]
7,2	6,1	60,0	258,5	237,0
6,3	6,1	70,0	263,9	241,9
5,4	6,1	76,0	245,6	225,1
4,5	6,1	78,0	210,0	192,5
3,6	6,1	78,0	168,0	154,0
2,7	6,1	77,0	124,4	114,0
1,8	6,1	71,0	76,5	70,1
1,0	6,1	20,0	12,0	11,0

Tab. 14- Výkon MVE2 bez regulace

Hodnoty účinnosti byly odečteny z Obr. 47, takže jsou pouze orientační, ale i přesto je zřejmé, že turbína v extrémních průtocích přichází o poměrně velkou část své účinnosti. Z Tab. 14 zatím nelze jasně určit, zda – li je regulace efektivnější, to zjistíme až po výpočtu celkové vyrobené energie.

¹⁴¹ŠŤASTNÁ, Lucie. *Kolik wattů spotřebují Vaše spotřebiče? SVP SOLAR* [online]. 24. 1. 2020 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.solar-eshop.cz/clanky/kolik-wattu-spotrebuji-vase-spotrebice/>

8. INVESTIČNÍ ROZHODOVÁNÍ

Ze všeho nejdříve je třeba zjistit množství vyrobené energie za rok, následně pomocí provozních a investičních nákladů, popřípadě ročního peněžního toku a čistého zisku zjistit výnosnost investice a její dobu návratnosti. Pro hodnocení efektivnosti investic budu používat ekonomická kritéria, a to čistou současnou hodnotu (NPV) a vnitřní výnosové procento (IRR).

8.1 Roční výroba elektřiny z MVE

Roční výrobu lze zjistit pomocí vypočtených výkonů v závislosti na průtoku z kapitoly 7.3 a pomocí odtokové křivky (Obr. 10) dle vztahu (8.1)¹⁴².

$$E_{Brutto} = \sum_{t=0}^T E = \sum_{t=0}^T P_G \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (8.1)$$

Kde:

T ... počet dní provozu MVE v roce [dní],

t ... počet provozních hodiny [hod].

Abychom získali elektřinu netto (množství vyrobené energie, kterou lze prodat = čisté vyrobené množství energie), je třeba od vyrobené elektrické energie brutto (celkové množství vyrobené elektrické energie) odečíst vlastní spotřebu (pro tento případ tzv. tára), kterou lze orientačně získat například z *Roční zprávy o provozu ES ČR 2019*¹⁴³. Procentuální zastoupení vlastní spotřeby na vyrobené energii v MVE lze vypočítat dle vztahu (8.2)¹⁴⁴. Vztah pro výpočet zastoupení vlastní spotřeby na vyrobené energii:

$$e = \frac{\text{vlastní spotřeba MVE (ERÚ)}}{\text{brutto výroba elektřiny (ERÚ)}} = \frac{6673,5}{561637,5} = 0,012 = 1,2 [\%] \quad (8.2)$$

Vztah pro výpočet velikosti vlastní spotřeby MVE (8.3):

$$E_{vl} = e \cdot E_{Brutto} \quad [\text{kWh}] \quad (8.3)$$

Následně jsou v Tab. 15, 16, 17 vypočteny hodnoty E_{Brutto} a E_{Netto} .

¹⁴² BEDNÁŘ, Josef. Malé vodní elektrárny 2: Turbíny. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 106

¹⁴³ ERÚ. POZE [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/poze>

¹⁴⁴ BEDNÁŘ, Josef. Malé vodní elektrárny 2: Turbíny. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 106

Celková roční výroba (MVE1) [kWh]				
Průtok Q	Počet dní v roce Q _x	Počet provozních hodin t	Výkon P _G	Roční výroba energie E _{Brutto}
[m ³ .s ⁻¹]	[dní]	[hod]	[kW]	[kWh]
7,2	30,0	720,0	355,8	256 176,00
6,3	62,0	768,0	318,0	244 244,00
5,4	83,0	504,0	276,0	139 104,00
4,5	95,0	192,0	231,7	44 486,40
3,6	125,0	720,0	185,6	133 632,00
2,7	155,0	720,0	137,5	99 000,00
1,8	280,0	3 000,0	87,7	263 100,00
1,0	320,0	960,0	40,8	39 168,00
Celkem		7 680,0	-	1 241 133,60
E_{v1}				14 893,60
E_{Netto}				1 226 240,00

Tab. 15- Roční výroba MVE1

Celková roční výroba (MVE2) [kWh]				
Průtok Q	Počet dní v roce Q _x	Počet provozních hodin t	Výkon P _G	Roční výroba energie E _{Brutto}
[m ³ .s ⁻¹]	[dní]	[hod]	[kW]	[kWh]
5,2	85,0	2040,0	222,5	453 868,98
5,2	-	-	222,5	-
5,2	-	-	222,5	-
4,5	95,0	240,0	192,5	46 208,38
3,6	125,0	720,0	154,0	110 900,11
2,7	155,0	720,0	115,5	83 175,08
1,8	280,0	3 000,0	77,0	231 041,90
1,0	320,0	960,0	42,8	41 074,12
Celkem		7 680,0	-	966 268,57
E_{v1}				11 595,22
E_{Netto}				954 673,35

Tab. 16- Roční výroba MVE2

Celková roční výroba (MVE2) bez regulace [kWh]				
Průtok Q	Počet dní v roce Q _x	Počet provozních hodin t	Výkon P _G	Roční výroba energie E _{Brutto}
[m ³ .s ⁻¹]	[dní]	[hod]	[kW]	[kWh]
7,2	30,0	720,0	237,0	170 615,56
6,3	62,0	768,0	241,9	185 781,38
5,4	83,0	504,0	225,1	113 459,35
4,5	95,0	288,0	192,5	55 450,06
3,6	125,0	720,0	154,0	110 900,11
2,7	155,0	720,0	114,0	82 108,74
1,8	280,0	3 000,0	70,1	210 307,37
1,0	320,0	960,0	11,0	10 531,82
Celkem		7 680,0	-	939 154,39
E_{v1}				11 269,85
E_{Netto}				927 884,53

Tab. 17- Roční výroba MVE2 bez regulace

Z uvedených tabulek je očividné, že nejvíce energie vyrobí MVE1, a to 1 226,24 MWh.rok⁻¹, MVE2 vyrobí 954,673 MWh.rok⁻¹ a MVE2 bez regulace 927,884 MWh.rok⁻¹, tedy o 26,79 MWh méně, než s regulací (v dalších výpočtech bude tedy uvažována pouze MVE2 s regulací). Ve všech případech je MVE v provozu 320 dní v roce, zbylých 46 (45) dní je elektrárna mimo provoz pro provádění revizí či z důvodu zachování minimálního stanoveného (sanačního) průtoku, který je v této lokalitě 0,75 m³.s⁻¹ (jedná se například o „suché“ letní dny).

8.1.1 Podpora OZE

Od 01. 01. 2013 je operátor trhu (OTE) zodpovědný za evidenci výrobních zdrojů s nárokem na podporu a za výplatu podpory formou zelených bonusů výrobcům elektřiny a tepla, kteří mají nárok na podporu dle Zákona č. 165/2012 Sb., *o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů*¹⁴⁵. Vykupujícím vyrobené energie je obchodník s elektrickou energií (E.ON, ČEZ Prodej, s.r.o., Pražská energetika, a.s.) nebo je vybrán Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO).

Lze získat formu podpory v podobě zelených bonusů či výkupní ceny, tyto podpory nelze kombinovat. Pokud chceme odebírat podporu, je nutné se registrovat u OTE a dodávaná energie musí být v souladu s energetickým zákonem. V případech výkupních cen má vykupující povinnost energii od výrobce z OZE vykoupit veškerý objem elektřiny, který je naměřen v předávacím místě za aktuální stanovenou výkupní cenu.

Zelený bonus je vyplácen OTE, ale výrobce si musí najít svého odběratele a sjednat si s ním cenu. Většinou není veškerá vyrobená energie předána do sítě, ale část z ní je využita pro vlastní spotřebu. Zelené bonusy jsou zpravidla výnosnější, ale přinášejí větší riziko prodeje vyrobené elektřiny. Výše ročního zeleného bonusu je pro každý druh podporovaného zdroje obnovitelné energie každoročně upravována a zveřejněna v aktuálním cenovém rozhodnutí Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Výše podpory v Kč za kWh je dána dle data uvedení do provozu¹⁴⁶. Cenové rozhodnutí č. 7/2020: *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu pro stanovení podpor pro podporované zdroje energie* lze nalézt v Tab. 18¹⁴⁷

¹⁴⁵ Zákona č. 165/2012 Sb., *o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů*. Sbírka zákonů. 31. 01. 2012. ISSN 1211-1244.

¹⁴⁶ ENERGIE ČS. Subjekty vstupující do systému podpory podle zákona č. 165/2012 Sb. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.energie-cs.cz/cs/vyrobci/informace/podpora-oze> (volně přeneseno)

¹⁴⁷ ERÚ. Cenové rozhodnutí č. 7/2020 ze dne 30. září 2020 [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/poze/cenovarovhodnuti>

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování		Dvoutarifní pásmo provozování	
		od (včetně)	do (včetně)	Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]	
						VT	NT
a	b	c	j	k	n	o	
100	Malá vodní elektrárna ve stávajících lokalitách	-	31.12.2004	2 284	1 442	1 658	1 322
101		1.1.2005	31.12.2013	2 927	2 085	2 398	1 912
102		1.1.2014	31.12.2014	2 870	2 028	-	-
103		1.1.2015	31.12.2015	2 814	1 972	-	-
104		1.1.2016	31.12.2016	2 759	1 917	-	-
105		1.1.2017	31.12.2017	2 396	1 554	-	-
106		1.1.2018	31.12.2018	2 349	1 507	-	-
107		1.1.2019	31.12.2019	2 303	1 461	-	-
108		1.1.2020	31.12.2020	2 258	1 416	-	-
109		1.1.2021	31.12.2021	2 214	1 372	-	-
110	Rekonstruovaná malá vodní elektrárna	-	31.12.2013	2 927	2 085	2 398	1 912
111		1.1.2014	31.12.2014	2 870	2 028	-	-
112		1.1.2015	31.12.2015	2 814	1 972	-	-
113		1.1.2016	31.12.2016	2 759	1 917	-	-
114		1.1.2017	31.12.2017	2 396	1 554	-	-
115		1.1.2018	31.12.2018	2 349	1 507	-	-
116		1.1.2019	31.12.2019	2 303	1 461	-	-
117		1.1.2020	31.12.2020	2 258	1 416	-	-
118	1.1.2021	31.12.2021	2 214	1 372	-	-	
120	Malá vodní elektrárna v nových lokalitách	1.1.2006	31.12.2007	3 253	2 411	2 772	2 211
121		1.1.2008	31.12.2009	3 443	2 600	-	-
122		1.1.2010	31.12.2010	3 741	2 899	-	-
123		1.1.2011	31.12.2011	3 658	2 816	-	-
124		1.1.2012	31.12.2012	3 812	2 970	-	-
125		1.1.2013	31.12.2013	3 785	2 943	-	-
126		1.1.2014	31.12.2014	3 711	2 869	-	-
127		1.1.2015	31.12.2015	3 638	2 796	-	-
128		1.1.2016	31.12.2016	3 388	2 546	-	-
129		1.1.2017	31.12.2017	2 967	2 125	-	-
130		1.1.2018	31.12.2018	2 909	2 067	-	-
131		1.1.2019	31.12.2019	2 852	2 010	-	-
132		1.1.2020	31.12.2020	2 796	1 954	-	-
133		1.1.2021	31.12.2021	2 741	1 899	-	-

Tab. 18- Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro MVE, [9]

MVE1 byla uvedena do provozu v roce 2017. Předpokládaný rok uvedení do provozu MVE2 je rok 2021. Z uvedené charakteristiky podpory jsou lepší zelené bonusy, které umožňují využít část vyrobené energie pro vlastní spotřebu. Z Tab. 18 je tedy možné zjistit cenu zelených bonusů: 1 MWh elektrické energie MVE1 lze na základě zelených bonusů „prodat“ za 1 507 Kč dle ceny rekonstrukce v roce 2018, 1 MWh elektrické energie MVE2 lze na základě zelených bonusů „prodat“ za 1 899 Kč. Pro názornost bude uvažována jednotná cena za 1 MWh, a to 1 899 Kč.

8.2 Rozpočet

Náklady MVE budou dále rozděleny na investiční a provozní. Investiční náklady zahrnují náklady na projektovou dokumentaci, na technologická zařízení (turbína, generátor, převodovka, elektrické části), na výstavbu a příjezdovou cestu (stavební náklady budou pro obě instalace uvažovány stejné, jelikož budeme vycházet z již vybudované strojovny apod., budeme tedy uvažovat jen výměnu vybavení), investice do pozemku, náklady na vybudování přípojky a elektrické rozvodny. Do provozních nákladů lze zahrnout servisní poplatky, mzdy, zabezpečení objektu MVE, pojištění, vlastní spotřebu [Kč.kWh⁻¹] a případně i režijní náklady k zajištění nenadálých změn.

8.2.1 Investiční náklady

Položky MVE1 ¹⁴⁸	Cena bez DPH [Kč]
Česlovna, úprava jezu, rybí přechod	7 751 002,80
Stavební práce + materiál	4 809 980,00
Kaplanova turbína + příslušenství	1 424 000,00
Olejevý transformátor	960 000,00
Management + design	890 000,00
Skříňový rozvaděč + ochrany + elektroměry	890 000,00
Olejevý regulátor	480 000,00
Přípojení výroby k distribuční soustavě	256 000,00
Asynchronní generátor SIEMENS	124 000,00
Převodovka	20 000,00
Elektrovybavení (vypínače, zásuvky, rámečky, ...)	11 229,80
Celkem	17 616 212,60

Tab. 19- Investiční náklady MVE1

¹⁴⁸ KONEJL, Marek a KRAML, Karel. *Projekt pro stavební povolení stavby MVE Vilémov*, Stream s.r.o., Praha, 2016.

Položky MVE2 ¹⁴⁹	Cena bez DPH [Kč]
Česlovna, úprava jezu, rybí přechod	7 751 002,80
Stavební práce + materiál	4 809 980,00
Management + design	890 000,00
Skříňový rozvaděč + ochrany + elektroměry	890 000,00
Bánkiho turbína + příslušenství	450 000,00
Připojení výroby k distribuční soustavě	240 000,00
Asynchronní generátor VYBE 2L C355L08	58 000,00
Elektrovybavení (vypínače, zásuvky, rámečky, ...)	11 229,80
Řemenová převodovka	9 280,00
Servopohon k regulaci	5 000,00
Celkem	15 114 492,60

Tab. 20- Investiční náklady MVE2

8.2.2 Roční provozní náklady

Roční provozní náklady by měly činit zhruba 1 ÷ 3 % investičních nákladů¹⁵⁰.

Položky MVE1	Cena bez DPH [Kč]
Projekční činnost – studie výroby (1x za měsíc) = mzda	120 000,00
Data ČHMÚ – průtokové řady (1x za měsíc)	86 640,00
Revize (1x za měsíc)	9 190,00
Mazivo	5 000,00
Režijní náklady	100 000,00
Pojištění MVE	150 000,00
Celkem	553 330,00

Tab. 21- Roční provozní náklady MVE1

¹⁴⁹ BEDNÁŘ, Josef. Malé vodní elektrárny 2: Turbíny. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989. Str. 136

¹⁵⁰ tamtéž

Položky MVE2	Cena bez DPH [Kč]
Projekční činnost – studie výroby (1x za měsíc) = mzda	120 000,00
Data ČHMÚ – průtokové řady (1x za měsíc)	86 640,00
Revize (1x za měsíc)	9 190,00
Mazivo	4 000,00
Režijní náklady	80 000,00
Pojištění MVE	100 000,00
Celkem	482 330,00

Tab. 22- Roční provozní náklady MVE2

Roční provozní obou elektráren se pohybují kolem 3 % investičních nákladů, což je stále v mezi, ale i tak je nutno si uvědomit, že jsou provozní náklady na jeden rok poměrně vysoké. U MVE2 jsou provozní náklady nižší z důvodu menší spotřeby maziva, režijních nákladů a pojištění, což je způsobené nižší výrobou a výkonem.

8.2.3 Přehled vstupních parametrů MVE1 a MVE2

Tato kapitola je shrnutím dosavadních ekonomických poznatků z důvodu lepší přehlednosti výpočtů a názornější reprezentaci závěrečného vyhodnocení efektivity možných řešení MVE ve Vilémově, konkrétně MVE1 (Tab. 23) a MVE2 (Tab. 24).

Parametr MVE1	Značka	Hodnota
Investiční náklady	K_i [Kč]	17 616 212,60
Provozní náklady	N_i [Kč]	553 330,00
Energie vyrobená za rok	E_{Netto} [MWh]	1 226,24
Zelený bonus	ZB [Kč.MWh ⁻¹]	1 899,00
Cena odběratele (E.ON)	EON [Kč.MWh ⁻¹]	1 368,00
Životnost	T_z [rok]	30 ¹⁵¹
Daň z příjmu	d [%]	19,00 ¹⁵²
Požadovaná roční míra výnosnosti	i [%]	7,00
Průměrná roční inflace	i_i [%]	3,20

Tab. 23- Přehled vstupních parametrů MVE1

Parametr MVE2	Značka	Hodnota
Investiční náklady	K_i [Kč]	15 114 492,60
Provozní náklady	N_i [Kč]	482 330,00
Energie vyrobená za rok	E_{Netto} [MWh]	954,67
Zelený bonus	ZB [Kč.MWh ⁻¹]	1 899,00
Cena odběratele (E.ON) ¹⁵³	EON [Kč.MWh ⁻¹]	1 368,00
Životnost	T_z [rok]	30
Daň z příjmu	d [%]	19,00
Požadovaná roční míra výnosnosti	i [%]	7,00
Průměrná roční inflace	i_i [%]	3,20

Tab. 24- Přehled vstupních parametrů MVE2

¹⁵¹ Doba životnosti 30 let je stanovena formou prováděcí vyhlášky ERÚ, je to doba, po kterou mohou provozovatelé MVE pobírat podporu v podobě výkupní ceny či zelených bonusů. Doba 15 let je doba, která by pomocí podpor měla zabezpečit návratnost nominální hodnoty počáteční investice.

¹⁵² Dnem kolaudace je provozovatel oproštěn od odvádění daně z příjmu na dobu 5 let, následný, 6. rok, podléhá zisk 19% dani pro rok 2021.

¹⁵³ KRAML, Karel a FRÝDL, Ivo. *Studie proveditelnosti MVE Vilémov*, Stream s.r.o., Praha, 2014. Str. 19

Průměrná roční míra inflace i_i v roce 2020 činila 3,2% (data Českého statistického úřadu)¹⁵⁴.

Dle vstupních parametrů MVE1 je možné jednoduše vypočítat, že provozní náklady na 1 MWh vyrobené energie činí 452,3 Kč bez DPH.

Dle vstupních parametrů MVE2 je možné jednoduše vypočítat, že provozní náklady na 1 MWh vyrobené energie činí 505,2 Kč bez DPH.

Roční tržby v 1. roce lze následně vypočítat ze vzorce (8.1)¹⁵⁵.

$$T_1 = E_{Netto} \cdot ZB + E_{Netto} \cdot EON \quad [\text{Kč}] \quad (8.1)$$

Výpočet roční tržby T_1 z provozu MVE1:

$$\begin{aligned} \mathbf{MVE1: } T_1 &= E_{Netto} \cdot ZB + E_{Netto} \cdot EON = 1226,24 \cdot 1899 + 1226,24 \cdot 1368 \\ &= \mathbf{4\ 006\ 126,0\ Kč \cdot rok^{-1}} \end{aligned}$$

Výpočet roční tržby T_1 z provozu MVE2:

$$\begin{aligned} \mathbf{MVE2: } T_1 &= E_{Netto} \cdot ZB + E_{Netto} \cdot EON = 954,67 \cdot 1899 + 954,67 \cdot 1368 \\ &= \mathbf{3\ 118\ 906,9\ Kč \cdot rok^{-1}} \end{aligned}$$

¹⁵⁴ ČSÚ. Míra inflace [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace

¹⁵⁵ PROCHÁZKA, Radek. Elektroenergetika 1. *PowerWiki* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika-1-Zakladni%20pojmy%20a%20definice.pdf>

8.3 Vyhodnocení investice

8.3.1 Odpisy

Roční účetní odpisy¹⁵⁶ udávají opotřebení majetku, jejich cílem je rozdělit investiční náklady na dobu životnosti majetku, tedy na dobu 15 let v tomto případě (jelikož 15 let je garantovanou dobou návratnosti dle Zákona č. 165/2012 Sb., *o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů*)¹⁵⁷.

Roční odpis lze vypočítat ze vztahu (8.2)¹⁵⁸.

$$N_o = \frac{K_i}{s} \quad [\text{Kč.rok}^{-1}] \quad (8.2)$$

kde:

s ... délka účetního odpisového období [rok],

K_i ... investiční náklady [Kč].

Pomocí odpisů lze následně vypočítat celkové roční náklady jako (8.3).

$$N_c = N_i \cdot i_i + N_o \quad [\text{Kč.rok}^{-1}] \quad (8.3)$$

8.3.2 Zisk

Zisk lze obecně rozdělit na hrubý a čistý. Hrubý zisk je část, ze které se počítají daně, čistý zisk je již po zdanění. Hrubý zisk vypočteme ze vztahu (8.4)¹⁵⁹.

$$Z_h = T_i - N_c \quad [\text{Kč.rok}^{-1}] \quad (8.4)$$

kde:

T_i ... roční tržba v i – tém roce [Kč.rok⁻¹],

N_c ... celkové roční náklady [Kč.rok⁻¹].

¹⁵⁶ Pro účely daní se kalkulují daňové odpisy. Do ročního daňového přiznání se musí uvést rozdíl mezi účetními a daňovými odpisy. Pro daňové odpisy jsou stanoveny sazby dle zákona o dani z příjmu. S účetními odpisy počítám z důvodu výpočtu návratnosti.

¹⁵⁷ Zákon č. 165/2012 Sb., *o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů*. Sbírka zákonů. 31. 01. 2012. ISSN 1211-1244.

¹⁵⁸ KNÁPEK, Jaroslav. *Úvod do ekonomiky energetiky*. ČVUT, Fakulta elektrotechnická. Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. [cit. 2021- 03- 18]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5982>

¹⁵⁹ tamtéž

Čistý zisk ze vztahu (8.5).

$$Z_{\check{c}} = Z_h - Z_h \cdot d \quad [\text{Kč}] \quad (8.5)$$

kde:

Z_h ... hrubý roční zisk [$\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$],

d ... daň z příjmu, $d = 19 \%$ [%].

Peněžní příjem P_j je potom dán součtem čistého zisku a účetního odpisu.

Veškeré výpočty z kapitoly 8.3 jsou uvedeny v Příloze č. 7 pro MVE1 a Příloze č. 8 pro MVE2.

8.3.4 Čistá současná hodnota (NPV)

Čistá současná hodnota (NPV) udává míru výnosnosti investice. Požadujeme, aby $NPV > 0$, v tomto případě jsou diskontované příjmy větší, než investiční náklady a investice je tím pádem výnosná. Pokud se rozhodujeme mezi několika investicemi, vybereme tu, jejíž NPV je vyšší. Hodnotu NPV lze vypočítat ze vztahu níže¹⁶⁰.

$$NPV = \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+i)^j} - K_i \quad [\text{Kč}] \quad (8.6)$$

kde:

n ... doba životnosti [rok],

P_j ... roční peněžní příjem [$\text{Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$],

K_i ... investiční náklady [Kč].

NPV bylo spočítání pomocí finanční funkce (Excel) „SOUČHODNOTA“.

NPV1 = 18 917 509 Kč

NPV2 = 12 417 745 Kč

¹⁶⁰ KNÁPEK, Jaroslav. *Úvod do ekonomiky energetiky*. ČVUT, Fakulta elektrotechnická. Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. [cit. 2021- 03- 18]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5982>

NPV je v obou případech kladné, z toho lze usuzovat, že je investice výnosná s předpokládanou roční mírou výnosnosti (7 %). Celkový součet peněžních příjmů za dobu životnosti v případě NPV > 0 zabezpečí úhradu vložených prostředků. NPV navíc udává, kolik peněz realizace investice investorovi přinese, v případě MVE1 můžeme tedy očekávat přínos 18 917 509 Kč, v případě MVE2 výnos 12 417 745 Kč za dobu životnosti projektu.

8.3.5 Vnitřní výnosové procento (IRR)

Vnitřní výnosové procento je dalším z kritérií pro vyhodnocení efektivity investice. Od IRR požadujeme, aby bylo kladné a vyšší než požadovaná míra výnosnosti. Jedná se o výnosovou sazbu, při níž jsou celkové diskontované příjmy rovné pořizovacím nákladům, jinak řečeno se číselně jedná o výnosovou sazbu, kdy se NPV rovná 0. Vztah (8.7)¹⁶¹ pro výpočet IRR:

$$\sum_{j=1}^n \frac{P_j}{(1+IRR)^j} = K_i \quad [\%] \quad (8.7)$$

kde:

P_j ... roční peněžní příjem [Kč.rok⁻¹],

K_i ... investiční náklady [Kč].

Vnitřní výnosové procento bylo spočítáno pomocí finanční funkce (Excel) „MÍRAVÝNOSNOSTI“

IRR1 = 10 %

IRR2 = 8 %

V obou případech je opět investice přijatelná, jelikož je IRR větší než diskontní sazba i . IRR udává výnos, tj. kolik procent investice po dobu své životnosti vynese. V případě MVE1 je IRR 10 %, lze tedy očekávat návratnost kapitálu i výnos dalších 10 %, podobně v případě MVE2 a IRR 8 %. Pomocí IRR však na rozdíl od NPV nelze určit zisk vytvořený projektem.

¹⁶¹ KNÁPEK, Jaroslav. *Úvod do ekonomiky energetiky*. ČVUT, Fakulta elektrotechnická. Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. [cit. 2021- 03- 18]. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5982>

8.3.6 Prostá doba návratnosti

Prostou dobu návratnosti lze určit ze vztahu (8.8). Udává, do kdy bude investice splacena z peněžních příjmů. Pokud je doba návratnosti investice vyšší, než doba životnosti, investice bude s největší pravděpodobností hodnocena jako nevýnosná.

Prostou dobu návratnosti vypočítáme ze vztahu:

$$T_n = \frac{K_i}{P_j} \quad [\text{rok}] \quad (8.8)$$

kde:

P_j ... roční peněžní příjem [Kč.rok⁻¹],

K_i ... investiční náklady [Kč].

Prostá doba návratnosti MVE1 (pokud počítáme s peněžním tokem v 1. roce) je 5,1 let, prostá doba návratnosti MVE2 (pokud počítáme s peněžním tokem v 1. roce) je 5,7 roku.

8.3.7 Závěrečné ekonomické zhodnocení

Cílem této kapitoly bylo vyhodnotit výnosnost dvou různých investic na základě ekonomických kritérií. Projekt bude realizován z vlastního kapitálu. Životnost obou instalací byla uvažována 30 let (15 let pro odpisy), je pochopitelné, že strojní část životnosti 30 let nedosahuje a zhruba za 10 let bude nutné zařízení obměnit, pro jednoduchost však byla životnost uvažována pro všechny části stejná. Investiční náklady MVE1 i MVE2 jsou v porovnání s investičními náklady jiných projektů vcelku vysoké, a to 17 616 212,60 Kč (MVE1), 15 114 492,60 Kč (MVE2). Největší část investice tvoří stavební úpravy a instalace, samotná zařízení se pohybují okolo 23 % (MVE1) a 11 % (MVE2) vstupní investice. Provozní náklady obou instalací jsou velmi podobné, jelikož zahrnují stejné položky – zejména mzdu 1 zaměstnance, revize, odečty a pojištění. Vyrobena elektrická energie je vyplácena OTE v rámci zelených bonusů a přebytky jsou vyváděny do distribuční sítě 35 kV. E.ON je smluveným odběratelem vyrobené elektrické energie od provozovatele MVE. Roční tržba MVE1 se pohybuje kolem 4 006 126 Kč, MVE2 kolem 3 118 907 Kč. Tržní rozdíl instalací činí 887 219 Kč (samozřejmě se může v průběhu životnosti měnit v závislosti na podmínkách trhu, legislativy a přírody).

Dle vybraných kritérií vychází lépe MVE1 (z pohledu NPV, IRR a prosté doby návratnosti). Každopádně jsou obě uvažované elektrárny výnosné s předpokládanou mírou výnosnosti 7 % a dobou návratnosti menší než 15 let.

Ač to možná vypadá nepravděpodobně, z mého pohledu se i přes to jeví výhodněji MVE2. Když pomineme stavební část nákladů a budeme uvažovat jen změnu vnitřní instalace, je rozdíl pořizovacích nákladů 2 389 134,8 Kč, což je 2,7 x více, než tržní rozdíl výroby. Dalším důvodem pro toto rozhodnutí je fakt, že strojní část je podstatně levnější, a přesto dosahuje poměrně blízkého výkonu MVE1. Tudíž je rozhodujícím z jakého pohledu na investici hledíme. Pokud disponujeme vysokým kapitálem a chceme investovat do kvalitních, „značkových“ strojů s odpovídajícím ročním výnosem, pak je ideální variantou MVE1. Pokud jsme spíše zastánci zlaté střední cesty, chceme na investičních nákladech spíše ušetřit i za cenu nižšího ročního obrátu, pak je doporučeno zvolit MVE2. V další studii by bylo ještě příhodné vyhodnotit, jak se změní cena při kombinaci různých tarifů či výkupní ceny.

9. ZÁVĚR

V mé bakalářské práci jsem se zabývala návrhem malé vodní elektrárny ve Vilémově na řece Jizeře. Návrhu předchází několik ucelených teoretických kapitol, které čtenáře uvádí do problematiky. Následuje posouzení původní a nově navržené instalace a jejich technickoekonomické zhodnocení. Zajímavostí, která plyne z teoretické části práce, je fakt, že hydroenergetický potenciál České republiky je využit jen z 26 %, ale i přesto je budování MVE spíše na ústupu. Hlavním problémem při pořizování nových či rekonstrukci starých vodních děl, je zejména legislativa a stále se měnící systém podpor, který ovšem není všem instalacím pozitivně nakloněn.

Dle závěrečných zhodnocení jsem vyvodila, že pro vybranou lokalitu je vhodná Kaplanova (MVE1) i Bánkiho (MVE2) turbína, obě provedení jsou schopna efektivního provozu. Provoz MVE1 je výnosnější s větší automatizací, za cenu větších investičních a provozních nákladů, zatímco chod MVE2 není tak výnosný, ale provozovatel při pořízení takovéto elektrárny ušetří, zejména díky nižší ceně zařízení i provozním nákladům. Investorovi by v této lokalitě byla přesto doporučena investice do MVE1 s Kaplanovou turbínou. Toto provedení je reprezentováno roční tržbou 4 006 126 Kč.rok⁻¹ a 1 226 240 kWh.rok⁻¹ vyrobené elektrické energie. Zatímco roční tržba MVE2 (s Bánkiho turbínou) je 3 118 907 Kč.rok⁻¹ a množství vyrobené elektřiny je o 271 567 kWh.rok⁻¹ nižší než konkurence. Tedy i z pohledu NPV, které je pro MVE1 o 6 499 764 Kč vyšší než pro MVE2, a pro ekonomické rozhodování klíčové, je investičně výhodnější projekt s Kaplanovou turbínou, tedy MVE1.

V obou alternativách je instalován asynchronní generátor včetně kompenzačních baterií, přívodního kabelu a převodovky. Připojení k distribuční síti bude provedeno dle pravidel PDS pomocí transformační stanice - olejového transformátoru 35/0,4 kV. Ve výsledku je poměrně zajímavé to, jak se projeví provedení dvoukomorové Bánkiho turbíny. Výkon je po provedení regulace snížen, ale díky jeho ročnímu trvání a dimenzování turbíny na nižší průtoky, se výroba naopak zvýší, a to o 26,79 MWh (41 785 Kč.rok⁻¹), což není vzhledem ke složitějšímu procesu výroby dvoukomorové turbíny rozdíl, který bych očekávala. Proto by bylo do budoucna lepší uvažovat o jiné regulaci, respektive turbínu dimenzovat na vyšší průtok (hltnost), než 5,2 m³.s⁻¹ či změnit polohu snímacích čidel a komory plnit v jiném poměru než 1/3.

Současně práce obsahuje obecný postup, který lze použít při návrhu MVE, zejména například při sestavování „Studie proveditelnosti“ včetně výpočtu výkonu a odhadu roční vyrobené energie, popřípadě zisku z provozu a návratnosti.

V práci jsou tedy obsaženy všechny části dle oficiálního zadání, včetně významu malých vodních elektráren v elektrizační soustavě, postupu a samotného návrhu MVE a technickoekonomického posouzení obnovy MVE ve Vilémově.

Při psaní bakalářské práce jsem si rozšířila obzory v oboru malých vodních elektráren, respektive obnovitelných zdrojů. Potvrdila se mi má domněnka ohledně jejich budoucího postavení v energetickém mixu, zejména díky ekologičnosti, nízkým palivovým nákladům a dotacím, které by z pohledu státu mohly být účinnější. Mimo jiné bylo obohacující se hlouběji ponořit do problematiky návrhu a posouzení efektivnosti při porovnání dvou možných řešení v jedné lokalitě. Z tohoto důvodu mi přijde zajímavé se v tomto oboru (OZE) dále pohybovat a přesunout se i do míst, kde není výroba energie z obnovitelných zdrojů rozšířená a dala by se zde účinně využívat, což nemusí nutně zahrnovat jen Českou republiku a Evropu. V dalším studiu bych tedy ráda pokračovala v podobném duchu a využila poznatky nabyté touto prací k vytvoření studie například v některé z rozvojových zemí.

Seznam použité literatury

- [1] *Abeceda malých vodních pohonů: Malá voda* [online]. Energetika.cz [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>
- [2] BEDNÁŘ, Josef. *Malé vodní elektrárny 2: Turbíny*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1989.
- [3] BEŠTA, M. *Kompenzace účinníku* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T2.2-Kompenzace-%C3%BA%C4%8Din%C3%ADku.pdf>
- [4] ČEZ, Skupina. *Malá vodní elektrárna Čeňkova pila. SKUPNA ČEZ* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/vodni-elektramy/ceska-republika/cenkova-pila-58167>
- [5] ČHMÚ. *Kategorie vodnosti toků. Český hydrometeorologický ústav: Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/vodnosti/vodnosti.html>
- [6] ČÍPA, Jiří. *MVE Vilémov: Dodávka strojní technologie MVE*. Kuřim: Strojírny Brno, 2016.
- [7] ČSN 75 0120: *Vodní hospodářství - Terminologie hydrotechniky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 166 s.
- [8] ČSN 75 2601: *Malé vodní elektrárny - základní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 28 s.
- [9] ERÚ. POZE [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/poze>
- [10] HEŘMAN, Josef a kolektiv. *Průručka silnoproudé elektrotechniky*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. DT 621.3.027.3 (075).
- [11] KAHUDA, Marek. *Rekonstrukce odpadního kanálu MVE Vilémov*. Praha, 2018. Bakalářská práce. České vysoké učení technické, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. Ladislav Satrapa, CSc.

- [12] KNÁPEK, Jaroslav. *Úvod do ekonomiky energetiky*. ČVUT, Fakulta elektrotechnická. Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd [online]. [cit. 2021- 03- 18].
Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=5982>
- [13] KOBRLE, Pavel a Jiří PAVELKA. *Elektrické pohony a jejich řízení*. 3. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06007-0.
- [14] KONEJL, Marek a KRAML, Karel. *Projekt pro územní rozhodnutí MVE Vilémov*. Stream s.r.o., Praha, 2016.
- [15] KONEJL, Marek a KRAML, Karel. *Projekt pro stavební povolení stavby MVE Vilémov*, Stream s.r.o., Praha, 2016.
- [16] KOREL, Jan. *Projektování a měření přídavného uzemnění vedení VVN a ZVN*. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
- [17] KRAML, Karel a FRÝDL, Ivo. *Studie proveditelnosti MVE Vilémov*, Stream s.r.o., Praha, 2014.
- [18] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a Tomáš PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [19] MELICHAR, Jan, Jan VOJTEK a Jaroslav BLÁHA. *Malé vodní turbíny: Konstrukce a provoz*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01808-0.
- [20] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *Obnovitelné zdroje energie v roce 2019: Výsledky statistického zjišťování* [online]. In: Praha, 2020, s. 67 [cit. 2021-03-11].
Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2020/9/Obnovitelne-zdroje-energie-2019_2.pdf

- [21] MORÁVEK, Jan. *Návrh rekonstrukce malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2010 [cit. 2021-03-15].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30288. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Lukáš Radil.
- [22] MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektroenergetika 1* [online]. Praha: VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křížíka, 2016 [cit. 2021-5-6]. ISBN 978-80-88058-81-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/260/Impresum.html>
- [23] O vodní energetice. *SKUPNA ČEZ* [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/voda/informace-o-vodni-energetice>
- [24] PAŽOUT, František. *Malé vodní elektrárny 1: Ekonomika, předpisy. 2*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p. ISBN 80-03-00192-7.
- [25] PROCHÁZKA, Radek. *Elektroenergetika 1. PowerWiki* [online]. [cit. 2021-03-07].
Dostupné z: <http://www.powerwiki.cz/attach/EN1Podklady/Elektroenergetika-1-Zakladni%20pojmy%20a%20definice.pdf>
- [26] PŘÍRODOVĚDNÁ FAKULTA UNIVERSITY KARLOVY. *Hydroenergetika: (Malé vodní elektrárny)* [online]. Praha, 2003 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://web.natur.cuni.cz/sbv/soubory/t/hydra.pdf>
- [27] SALABA, Tadeáš. *Zdroje elektrické energie*. Informační portál energetické gramotnosti [online]. Praha, 2018, 08. 10. 2018 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/zdroje-elektricke-energie>
- [28] STUDENÍK, Jiří a Michal SVITAVSKÝ. *Energie vody, větru, biomasy* [online]. 2016. Brno: Podpora přírodovědného a technického vzdělávání na středních školách v Jihomoravském kraji [cit. 2021-03-26]. ISBN 978-80-88058-08-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/Impresum.html>

- [29] SVOBODA, Zbyněk. *Nevyužitý hydropotenciál v ČR a energetické využití vodních zdymadel*. Praha, 2020. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.
- [30] ŠLAPÁK, Karel. *Řešení elektročásti malé vodní elektrárny Štětí 2x 3,5MW* [online]. Praha, 2016 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/64756/F3-DP-2016-Slapak-Karel-Diplomova%20prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Petr Kalandra.
- [31] ŠTÍPSKÝ, Pavel. Hydroenergetika v současném energetickém mixu ČR. *Energetika: Odborný časopis pro elektrárství, teplárství a užití energie* [online]. 2020, 2020, 70(5), 3 [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: www.casopisenergetika.cz
- [32] ŠTÍPSKÝ, Pavel. Malé vodní elektrárny (MVE) v ČR: Reálně využitelný potenciál rozvoje MVE pro období 2020 – 2030. In: *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s.* [online]. Praha, 2018, s. 44 [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: http://www.spvez.cz/files/MVE_v_%C4%8CR.pdf
- [33] Vyhláška č. 8/2016 Sb., *o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích*. Sbírka zákonů. 11. 01. 2016.
- [34] VYSOUDIL, Martin. *Návrh malé vodní elektrárny* [online]. Brno, 2009 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18464. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Belatka.
- [35] Zákon č. 165/2012 Sb., *o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů*. Sbírka zákonů. 31. 01. 2012. ISSN 1211-1244.

- [36] Zákon č. 183/2006 Sb., *o územním plánování a stavebním řádu, ve znění pozdějších předpisů (stavební zákon)*. Sbírka zákonů. 10. 11. 2006. ISSN 1211-1244.
- [37] Zákon č. 458/2000 Sb., *o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (energetický zákon)*. Sbírka zákonů. 28. 11. 2000. ISSN 1211-1244.

Seznam obrázků

Obr. 1- Vodní kolo s vertikální hřídelí, [8].....	2
Obr. 2- Závislost výkonu a spádu na průtoku, [17]	4
Obr. 3- Znázornění rozdělení objemu akumulární nádrže, [17].....	5
Obr. 4- Krytí DDZ různými typy zdrojů elektrické energie, [27]	5
Obr. 5- MVE Čeňkova pila (v provozu od roku 1912), [1]	7
Obr. 6- Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů v letech 2003 - 2019, [20]	11
Obr. 7- Vývoj výroby elektřiny v letech 2006 - 2019, [20].....	11
Obr. 8- Zájmové území pro MVE Vilémov, [11]	14
Obr. 10- Odtoková křivka	19
Obr. 12- Schéma nízkotlaké vodní elektrárny, 1 – hydrogenerátor, 2 – turbína, 3 – kašna, 4 – převodovka, 5 – koryto řeky, 6 – hrubé česle, 7 – jemné česle, 8 – lapač kamenů, 9 – lapač písku, [28]	20
Obr. 11- Derivační elektrárna, 1- koryto, 2- vzdouvací zařízení, 3- strojovna, 4- derivační přivaděč, [28]	20
Obr. 13- Situační uspořádání MVE Vilémov, [11].....	21
Obr. 14- Jez Vilémov s jalovým přepadem	22
Obr. 15- Schéma stavebního řešení objektu MVE, [19].....	22
Obr. 16- Podélný řez budovou MVE Vilémov, [15]	23
Obr. 17- Účinnostní charakteristika turbíny, [2].....	25
Obr. 18- Schéma řešení Peltonovy turbíny, [1]	27
Obr. 19- Schéma řešení Bánkiho turbíny, [1]	28
Obr. 20- Schéma řešení Turgo turbíny, [1].....	29
Obr. 21- Praktické provedení savky.....	30
Obr. 22- Schéma řešení vertikální Francisovy turbíny, [1]	31
Obr. 23- Schéma řešení horizontální Francisovy turbíny s mokrou savkou, [1]	32
Obr. 24- Schéma řešení Kaplanovy turbíny, [1]	32
Obr. 25- Vektorový diagram synchronního stroje s vyniklými póly,[10]	34
Obr. 26- Schéma zapojení synchronního generátoru do sítě, [10].....	35
Obr. 27- Schéma zapojení asynchronního generátoru do sítě, [10].....	37
Obr. 28- Schéma hydrosoustrojí, [34].....	38
Obr. 29- Schéma toku energie vodní elektrárnou. I – ztráty v přivaděči, II – na výstupu savky, III – v turbíně, IV – v převodu, V – v generátoru, VI – v transformátoru. [19]	40
Obr. 30- Graf k určení součinitele k_{fd} , [1].....	42
Obr. 31- Průběh účinnosti dvoukomorové turbíny, [34].....	45

Obr. 32- Odtoková křivka po regulaci	46
Obr. 33- Generátor VYBE 2L C355L08 (schéma).....	48
Obr. 34- Schéma připojení MVE k síti, [17]	50
Obr. 35- Schéma vlastní spotřeby elektrárny, [10].....	52
Obr. 36- Transformační stanice 35/0,4 kV	57
Obr. 37- Vzdálenost TR stanice od strojovny.....	57
Obr. 38- Kompenzační baterie ZEZ SILKO.....	58
Obr. 39- Kompenzační stykač	58
Obr. 40- Odpadní kanál MVE Vilémov.....	59
Obr. 41- Česlovna s jalovou přepustí na jezu Vilémov	59
Obr. 42- Strojovna MVE Vilémov	59
Obr. 43- Náhled do strojovny MVE Vilémov (návrh HERODESIGN).....	60
Obr. 44- Mechanismus k regulaci průtoku MVE Vilémov – regulační uzávěr.....	60
Obr. 45- Projekční výkres Kaplanovy turbíny.....	61
Obr. 46- Průběh účinnosti Kaplanovy turbíny, [6]	63
Obr. 47- Průběh účinnosti neregulované Bánkiho turbíny, [2].....	64
Obr. 48- Účinnost a účinník generátoru MVE1 v závislosti na zatížení, [6].....	65
Obr. 49- Účinnost a účinník generátoru MVE2 v závislosti na zatížení, viz Tab. 8	65
Obr. 50- Výkon v závislosti na průtoku MVE1	67
Obr. 51- Výkon v závislosti na průtoku MVE2.....	67

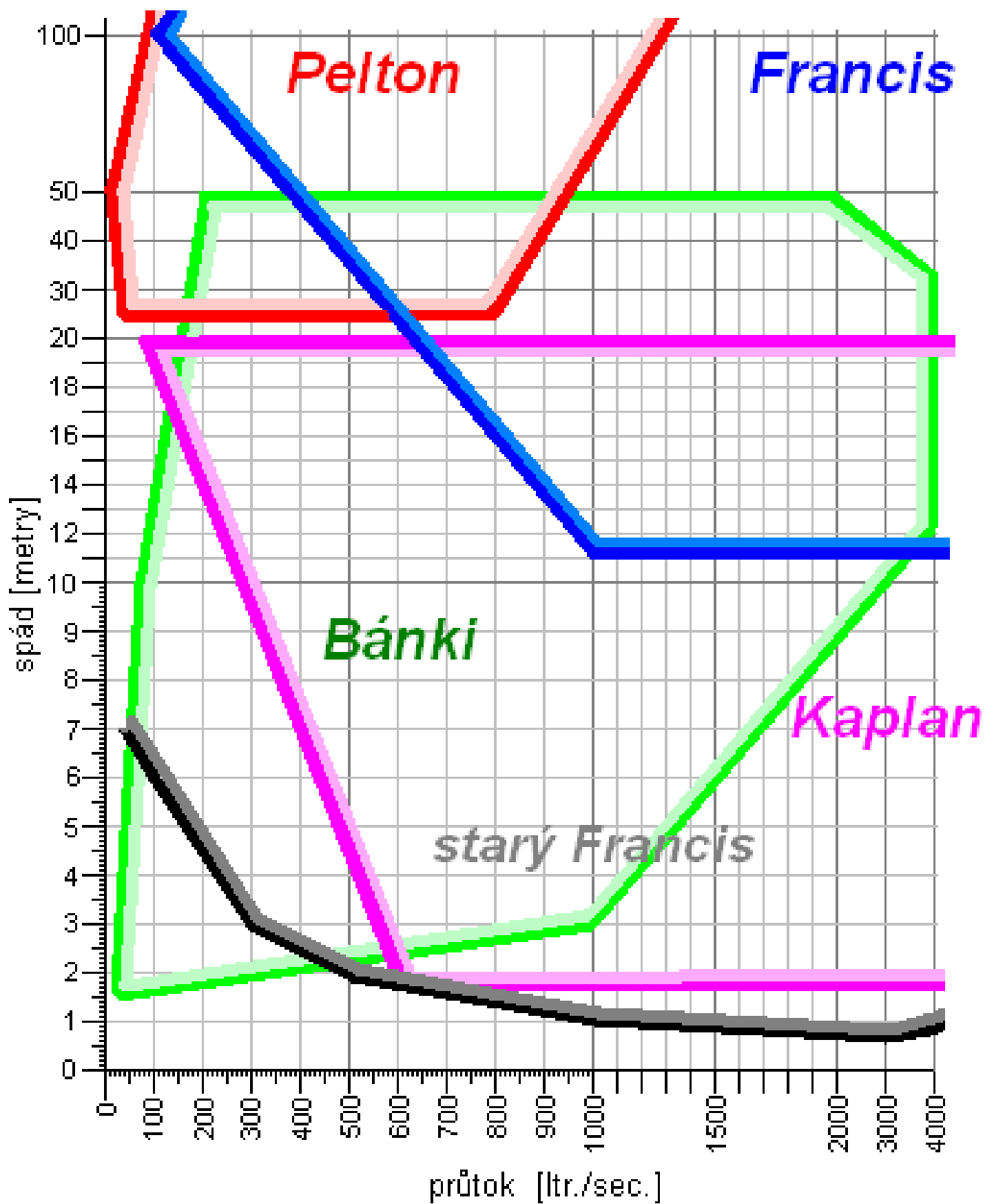
Seznam tabulek

Tab. 1- Relativní měrné investiční a výrobní náklady různých typů elektráren, [2]	7
Tab. 2- Přehled ročních statistických údajů MVE za rok 2017, [32]	9
Tab. 3- Přehled statistických údajů MVE v rozmezí let 2020 – 2030, [32]	10
Tab. 4- M - denní průtoky, profil jez Vilémov, [14].....	18
Tab. 5- Dosahované účinnosti částí elektrárny, [19]	41
Tab. 6- Přehled vstupních dat k výpočtu turbíny	42
Tab. 7- Vstupní parametry asynchronního generátoru	47
Tab. 8- Chování generátoru při změně zátěže	48
Tab. 9- Vstupní hodnoty pro výpočet parametrů přívodního kabelu.....	56
Tab. 10- Parametry původní (Kaplanovy) turbíny, [6]	61
Tab. 11- Parametry původního generátoru SIEMENS, [6].....	62
Tab. 12- Výkon MVE1, [6].....	66
Tab. 13- Výkon MVE2	67
Tab. 14- Výkon MVE2 bez regulace	68
Tab. 15- Roční výroba MVE1	70
Tab. 16- Roční výroba MVE2	70
Tab. 17- Roční výroba MVE2 bez regulace	70
Tab. 18- Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro MVE, [9].....	72
Tab. 19- Investiční náklady MVE1	73
Tab. 20- Investiční náklady MVE2.....	74
Tab. 21- Roční provozní náklady MVE1	74
Tab. 22- Roční provozní náklady MVE2.....	75
Tab. 23- Přehled vstupních parametrů MVE1	76
Tab. 24- Přehled vstupních parametrů MVE2	76

Seznam příloh

- Příloha č. 1 – Rozsah použití základních druhů turbín. [19]
- Příloha č. 2 – Výpočet parametrů Bánkiho turbíny (Excel). [1]
- Příloha č. 3 – Dvoukomorová turbína CINK HYDRO ENERGY.
- Příloha č. 4 – Jednopolové elektrické schéma (ProfiCad).
- Příloha č. 5 - Žádost o připojení zařízení výrobce k distribuční soustavě (2 listy).
- Příloha č. 6 – Katalog kabelů společnosti PRAKAB (2 listy).
- Příloha č. 7 – Ekonomické výpočty MVE1(Excel).
- Příloha č. 8 – Ekonomické výpočty MVE2 (Excel).

PŘÍLOHOVÁ ČÁST



Výpočet Bánkiho turbíny: jako soubor pro Microsoft Excel v.5 a vyšší vytvořil Laika V. r.2001

autor neodpovídá za škody vzniklé nesprávným použitím výpočtu a nevhodnou konstrukcí

Zadání:

čistý spád "H1":

6,1

 [metry]
 hltnost "Q":

4730

 [litr./sec.]

Upřesnění:

poměr "L/D": 1,3 0,4...2,5
poměr L/D může být max. 1
 součinitel ostříku "k-ostř.":

0,3

 0,05...0,3
 tloušťka lopatky "tl.":

5

 [mm]

Výsledky:

výkon:

220,78

 [kW]
 jmenovité otáčky turbíny "n":

101

 [ot./min.]
 průběžné otáčky:

181

 [ot./min.]
 průměr oběžného kola "D":

1060

 [mm]
průměr je vůči spádu v povolených mezích
 vnitřní průměr "d2":

700

 [mm]
 délka štěrbin "L":

1380

 [mm]
délka lopatky:

1390

 [mm]
 otevření štěrbin "s":

318

 [mm]
 trubka na výrobu lopatky "DN":

341

 [mm]
 přibližný průměr hřídele "dh":

250

 [mm]

Předpoklady:

vstupní úhel vody:

15

 [stup.]
 vstupní úhel lopatky:

30

 [stup.]
 výstupní úhel lopatky:

90

 [stup.]
 počet lopatek:

32

 [ks]
 účinnost:

78

 [%]

Mezivýpočty:

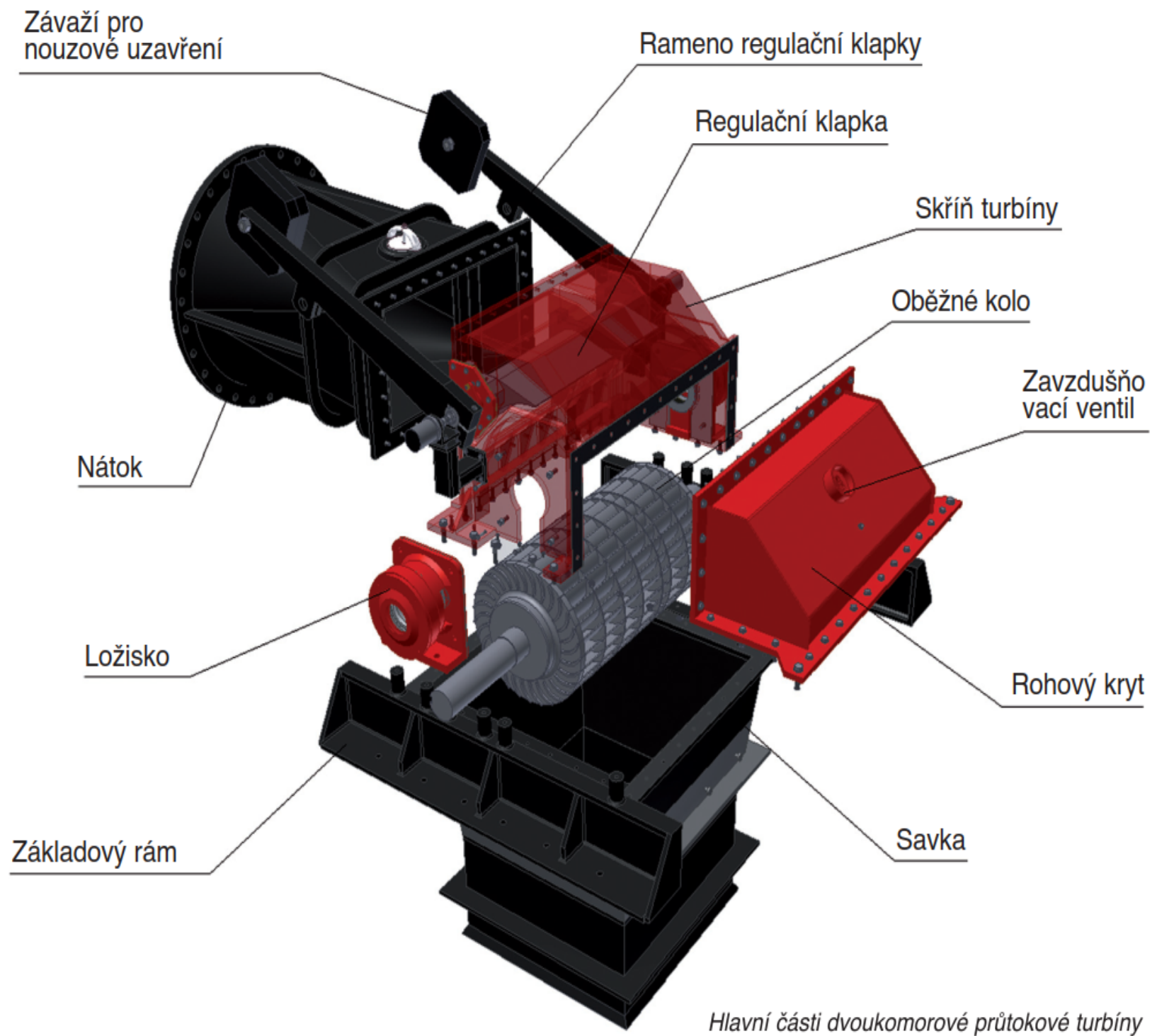
vstupní rychlost vody "c1":

10,8

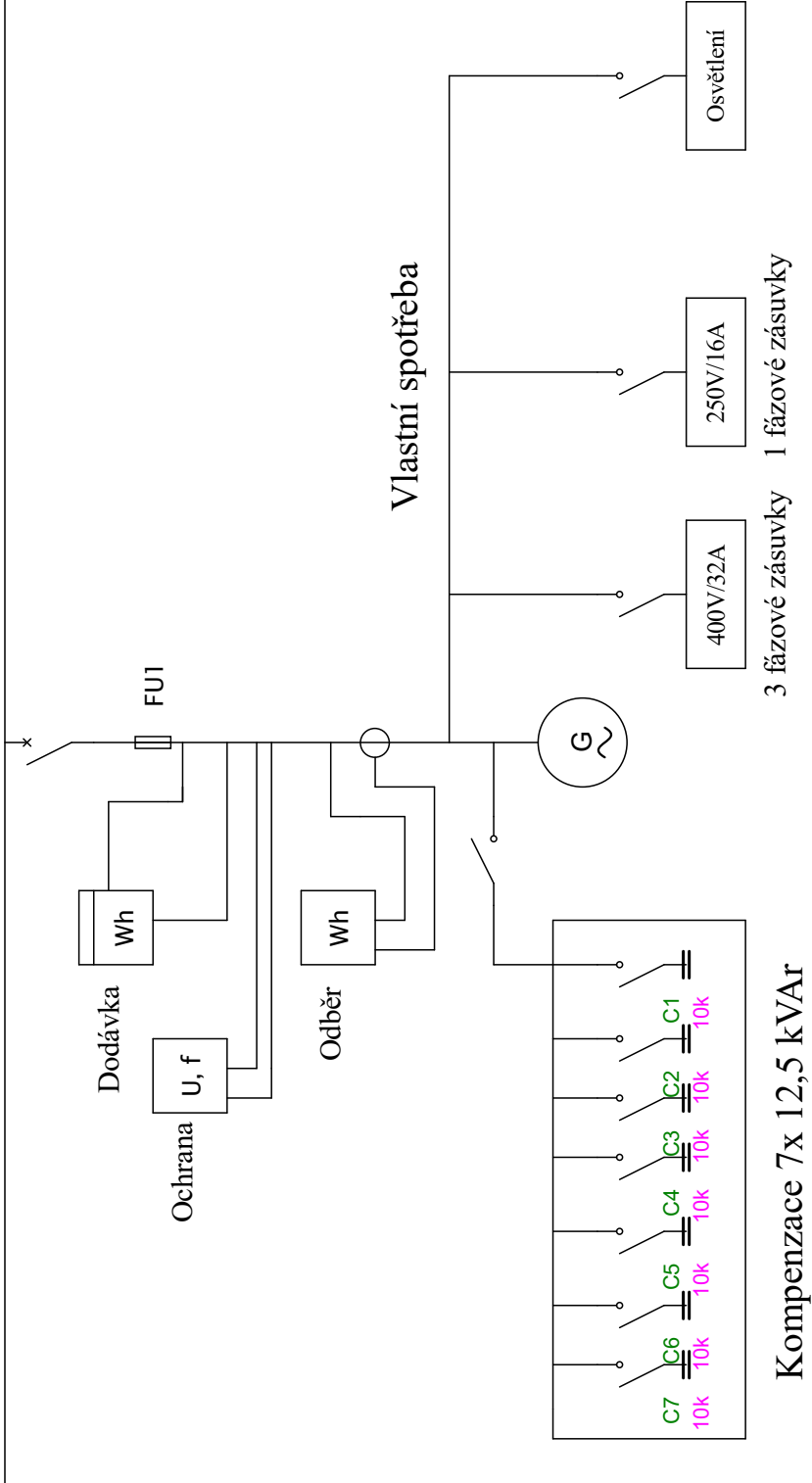
 [m/sec.]
 plocha štěrbin "a":

0,4391

 [m2]



35 kV Distribuční síť



 **PŘIPOJENÍ NOVÉ VÝROBNY¹⁾** VE STÁVAJÍCÍM ODBĚRNÉM MÍSTĚ BEZ VAZBY NA ODBĚRNÉ MÍSTO **ZMĚNA PARAMETRŮ VÝROBNY¹⁾** ZMĚNA REZ. PŘÍKONU/VÝKONU ZMĚNA ZPŮSOBU PŘIPOJENÍ REKONSTRUKCE **ZMĚNA ŽÁDOSTI č. 412¹⁾** PRÁVA SMLUVNÍ ÚDAJE REZ. PŘÍKON/VÝKON MÍSTA PŘIPOJENÍ **JINÝ DŮVOD****PŘIPOJENÍ K NAPĚŤOVÉ HLADINĚ** VN VVN**PROVOZOVATEL DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY (dále jen PDS)****ČEZ Distribuce, a.s.**

Děčín, Děčín IV – Podmokly, Teplická 874/8, PSČ 405 02 | IČ 24729035 | DIČ CZ24729035 | zapsána v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Ústí nad Labem, sp. zn. B 2145 | licence na distribuci elektřiny č. 121015583 | registrační číslo u OTE: 715 | info@cezdistribuce.cz | www.cezdistribuce.cz

D**ŽADATEL**

LICENCE NA VÝROBU ELEKTŘINY Č.:

REGISTRACE OTE Č.:

JMÉNO A PŘÍJMENÍ / OBCHODNÍ FIRMA

ZÁKAZNICKÉ ČÍSLO²⁾

DATUM NAROZENÍ

IČ

DIČ CZ

ADRESA TRVALÉHO BYDLIŠTĚ / SÍDLA SPOLEČNOSTI / MÍSTA PODNIKÁNÍ

ULICE / OSADA

Č. P. / Č. O.³⁾

PSČ

OBEC

MÍSTNÍ ČÁST

PŘEDMĚT PODNIKÁNÍ

ZAPSANÁ V OR / ŽR VEDENÉM

SP. ZN.

ZASTOUPENÁ

TELEFON

FAX

E-MAIL

OSOBA OPRÁVNĚNÁ PRO TECHNICKÉ ZÁLEŽITOSTI

JMÉNO A PŘÍJMENÍ

TITUL

TELEFON

FAX

E-MAIL

ADRESA PRO ZASÍLÁNÍ KORESPONDENCE (vyplnit v případě odlišnosti od adresy / sídla společnosti)

JMÉNO, PŘÍJMENÍ, TITUL / OBCHODNÍ FIRMA / NÁZEV

ULICE

Č. P. / Č. O.³⁾

PSČ

OBEC

MÍSTNÍ ČÁST

SPECIFIKACE VÝROBNY (PŘEDÁVACÍHO MÍSTA)

ČÍSLO PŘEDÁVACÍHO MÍSTA

ADRESA PŘEDÁVACÍHO (POPŘ. ODBĚRNÉHO) MÍSTA

NÁZEV VÝROBNY

ULICE / OSADA

Č. P. / Č. O.³⁾

PSČ

OBEC

MÍSTNÍ ČÁST

KATASTRÁLNÍ ÚZEMÍ

Č. PARCELNÍ

DALŠÍ ÚDAJESTÁVAJÍCÍ INSTALOVANÝ VÝKON VÝROBNY⁴⁾

kW

POŽADOVANÝ INSTALOVANÝ VÝKON VÝROBNY⁴⁾

kW

STÁVAJÍCÍ REZERVOVANÝ VÝKON PRO VÝROBU⁴⁾

kW

POŽADOVANÝ REZERVOVANÝ VÝKON PRO VÝROBU⁴⁾

kW

STÁVAJÍCÍ REZERVOVANÝ PŘÍKON PRO SPOTŘEBU⁴⁾

kW

POŽADOVANÝ REZERVOVANÝ PŘÍKON PRO SPOTŘEBU⁴⁾

kW

POŽADAVEK NA ZVÝŠENOU SPOLEHLIVOST DODÁVKY⁵⁾ ANO NE

DRUH VÝROBNY

 FVE NA OBJEKTU FVE VOLNĚ STOJÍCÍ BIOPLYNOVÁ BIOMASA-SPALOVÁNÍ PARNÍ PAROPLYNOVÁ GEOTERMÁLNÍ VODNÍ VĚTRNÁ PLYNOVÁ A SPALOVACÍ OSTATNÍ/KOMBINOVANÁ JINÁ:

ZPŮSOB PROVOZU VÝROBNY

 PŘEBYTKY DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY OSTROVNÍ PROVOZ CELÁ VÝROBA DO DSPOŽADOVANÝ TERMÍN PŘIPOJENÍ⁶⁾ OD

DO

NEJVYŠŠÍ NAPĚŤOVÁ HLADINA VÝROBNÍHO ZAŘÍZENÍ

kV

DRUH KOMPENZACE⁷⁾ CENTRÁLNÍ SKUPINOVÁ INDIVIDUÁLNÍ JINÁ

VÝKON

kVar

Příloha č. 5 - Žádost o připojení zařízení výrobce k distribuční soustavě.

HARMONOGRAM PŘÍPRAVY VÝSTAVBY VÝROBNY (pro výroby s instalovaným výkonem nad 0,5 MW)

TERMÍN ZÍSKÁNÍ INTEGROVANÉHO POVOLENÍ	TERMÍN EIA
TERMÍN ZÍSKÁNÍ ÚZEMNÍHO ROZHODNUTÍ	TERMÍN ZÍSKÁNÍ STAVEBNÍHO POVOLENÍ
TERMÍN ZAHÁJENÍ ZKUŠEBNÍHO PROVOZU	TERMÍN PŘIHOJENÍ K DS

DOPLŇUJÍCÍ POZNÁMKY ŽADATELE PRO PDS

VYSVĚTLIVKY

- 1) Hodící se označte křížkem. Volbu „jiný důvod“ upřesněte.
 - 2) Pokud jste již odběratelem nebo dodavatelem elektřiny PDS, vyplňte Vaše zákaznické číslo.
 - 3) Č.p./č.or. – napište číslo, které uvádíte např. pro doručení pošty. U nových staveb uveďte číslo katastru a doložte snímek katastrální mapy s vyznačeným pozemkem a s vyznačeným místem stavby tak, aby bylo možné určit umístění výroby.
 - 4) Instalovaný výkon výroby – celkový součet instalovaného výkonu výroby elektřiny připojovaného do jednoho předávacího místa distribuční soustavy.
Rezervovaný výkon pro výrobu – smluvní hodnota maximálního výkonu výroby elektřiny dodávaného do předávacího místa distribuční soustavy (hodnota výkonu snižená o příkon pro vlastní spotřebu na výrobu elektřiny nebo na výrobu elektřiny a tepla).
Rezervovaný příkon pro spotřebu – smluvní hodnota maximálního příkonu spotřeby odebíraného z předávacího místa distribuční soustavy VN nebo VVN v době výpadku výroby nebo její nízké výroby.
 - 5) Označte, zda požadujete kvalitu dodávky nad standard určený vyhláškou ERÚ a Pravidly provozování distribučních soustav. V takovém případě hradíte náklady spojené s realizací tohoto speciálního požadavku.
 - 6) Uveďte Vámi předpokládaný termín zahájení výroby elektřiny. U prozatímního zařízení uveďte i termín, do kdy bude toto prozatímní zařízení provozováno.
 - 7) Doplňte druh kompenzace a její výkon.
-

UPOZORNĚNÍ PRO ŽADATELE

- a) Žádost o připojení bude zpracována v souladu s ustanoveními pro připojení výroby k zařízení distribuční soustavy PDS podle zákona číslo 458/2000 Sb., v platném znění, energetický zákon (dále jen EZ), a prováděcích vyhlášek v platném znění.
 - b) Ve smyslu příslušných právních předpisů Vám bude stanovena výše podílu na nákladech spojených s připojením a se zajištěním požadovaného příkonu a výkonu.
 - c) Osobní údaje subjektu údajů jsou zpracovávány v souladu s příslušnými aktuálně platnými a účinnými právními předpisy České republiky a Evropské unie. Bližší informace týkající se zpracování osobních údajů a právních předpisů, na jejichž základě je zpracování prováděno, jsou dostupné na stránkách www.cezdistribuce.cz/gdpr nebo je společnost ČEZ Distribuce, a. s., subjektu údajů na požádání poskytne.
 - d) PDS je oprávněn od žadatele požadovat doplnění žádosti.
-

POVINNÉ PŘÍLOHY

- VÝPIS Z OBCHODNÍHO REJSTŘÍKU, ŽIVNOSTENSKÝ LIST NEBO JINÝ DOKLAD
 - KATASTRÁLNÍ MAPA S VYZNAČENÍM POZEMKU NEBO VÝROBNY
 - SOUHLAS VLASTNÍKŮ DOTČENÝCH NEMOVITOSTÍ S UMÍSTĚNÍM VÝROBNY (není-li žadatel vlastníkem nemovitostí)
 - DOTAZNÍK PRO VLASTNÍ VÝROBNU (samostatně pro každý typ výrobního zařízení)
 - VÝPIS Z KATASTRU NEMOVITOSTÍ
-

PROHLÁŠENÍ ŽADATELE

Žadatel prohlašuje, že všechny údaje této žádosti, jakož i všechny přílohy k této žádosti jsou správné a pravdivé, a že si je vědom všech důsledků, pokud by toto prohlášení bylo nesprávné nebo nepravdivé.

ZA ŽADATELE

V _____ DNE _____

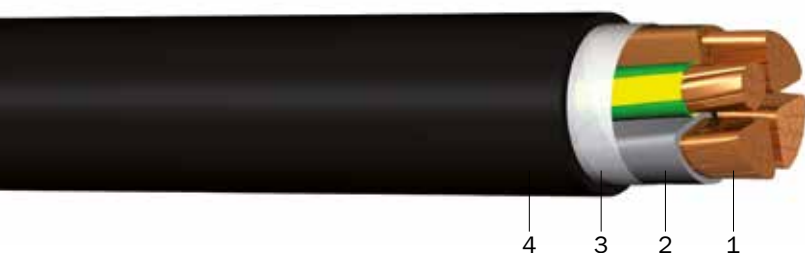
JMÉNO, PŘÍJMENÍ, FUNKCE

PODPIS (RAZÍTKO)

1-CYKY

Zemní kabely s PVC izolací a PVC pláštěm

KONSTRUKCE



- 1 | Cu jádro (RE, RM, SM)
- 2 | Izolace (PVC), žily jsou stočené do duše kabelu
- 3 | Obal (páskovaný nebo extrudovaný obal)
- 4 | Plášť (PVC černý, odolný proti UV záření)

POUŽITÍ

Kabely jsou určeny pro rozvod elektrické energie v pevném uložení do země, kabelových kanálů a ve vnějším prostředí.

TECHNICKÁ DATA



Technická specifikace:
TP PRAKAB 01/03



Jmenovité napětí:
0,6/1 kV



Zkušební napětí:
4 kV/50 Hz



Rozsah teplot:
při pokládce: min. -5 °C
při provozu: -50 °C až +70 °C
vodiče: max. +70 °C
při zkratce: max. +160 °C/5 sec



Poloměr ohybu (min.):
15 x Ø kabelu



Značení žil:
ČSN 33 0166 ed. 2



Požární charakteristika:
samozhášivost:
ČSN EN 60332-1-2



Certifikát:
EZÚ ČR, EAC (RU, BY, KZ, AM, KG)

Počet žil x průřez jádra [mm ²]	Maximální odpor jádra [Ω/km]	Proudová zatížitelnost v zemi [A]	Proudová zatížitelnost na vzduchu [A]	Informativní průměr kabelu [mm]	Informativní hmotnost [kg/km]	Obvyklé balení [m]
1-CYKY						
4 x 25 RM	0,752	132	105	23,8	1360	B 1000
5 x 25 RM	0,752	92	73	26,1	1740	B 1000
3 x 35 + 25 RM/RM	0,537/0,752	159	129	26,2	1780	B 1000
4 x 35 RM	0,537	159	129	26,2	1810	B 1000
5 x 35 RM	0,537	110	89	28,8	2240	B 1000
3 x 50 + 35 SM/RM	0,387/0,537	188	157	30,4	2060	B 1000
4 x 50 RM	0,387	188	157	31,3	2590	B 1000
4 x 50 SM	0,387	188	157	30,4	2360	B 1000
3 x 70 + 50 SM/RM	0,268/0,387	232	199	34,9	2800	B 1000
4 x 70 RM	0,268	232	199	35,8	3510	B 1000
4 x 70 SM	0,268	232	199	34,9	3140	B 1000
5 x 70 RM	0,268	164	140	39,9	4160	B 1000
3 x 95 + 50 SM/RM	0,198/0,387	280	246	39,3	3600	B 1000
3 x 95 + 70 SM/RM	0,198/0,268	280	246	39,3	3940	B 1000



PRAKAB PRAŽSKÁ KABELOVNA

1-CYKY

Počet žil x průřez jádra [mm ²]	Maximální odpor jádra [Ω/km]	Proudová zatížitelnost v zemi [A]	Proudová zatížitelnost na vzduchu [A]	Informativní průměr kabelu [mm]	Informativní hmotnost [kg/km]	Obvyklé balení [m]
1-CYKY						
4 x 95 RM	0,198	280	246	41,3	4730	B 1000
4 x 95 SM	0,198	280	246	39,3	4210	B 1000
3 x 120 + 50 SM/RM	0,157/0,387	318	285	43,0	4270	B 500
3 x 120 + 70 SM/RM	0,157/0,268	318	285	43,0	4430	B 500
4 x 120 SM	0,157	318	285	43,0	5250	B 500
3 x 150 + 70 SM/RM	0,124/0,268	359	326	46,8	5350	B 500
4 x 150 SM	0,124	359	326	46,8	6620	B 500
3 x 185 + 95 SM/RM	0,102/0,198	406	374	49,8	6780	B 500
4 x 185 SM	0,102	406	374	49,8	8030	B 500
3 x 240 + 120 SM/RM	0,078/0,157	473	445	56,4	8570	B 500
4 x 240 SM	0,078	473	445	56,4	9690	B 500

Technické změny vyhrazeny. Číselné údaje jsou bez záruky.

Rok	Roční tržby T [Kč.rok ⁻¹]	Roční provozní náklady N _i [Kč.rok ⁻¹]	Odpisy N _o [Kč.rok ⁻¹]	Hrubý zisk Z _h [Kč.rok ⁻¹]	Daň d [%]	Čistý zisk Z _č [Kč.rok ⁻¹]	Paněžní příjem P _j [Kč]
1	4006126,00	553330,00	1174414,17	2278381,83	0,00	2278381,83	3452796,00
2	4006126,00	571036,56	1174414,17	2260675,27	0,00	2260675,27	3435089,44
3	4006126,00	589309,73	1174414,17	2242402,10	0,00	2242402,10	3416816,27
4	4006126,00	608167,64	1174414,17	2223544,19	0,00	2223544,19	3397958,36
5	4006126,00	627629,01	1174414,17	2204082,82	0,00	2204082,82	3378496,99
6	4006126,00	647713,13	1174414,17	2183998,69	414959,75	1769038,94	2943453,11
7	4006126,00	668439,95	1174414,17	2163271,87	411021,66	1752250,22	2926664,39
8	4006126,00	689830,03	1174414,17	2141881,79	406957,54	1734924,25	2909338,43
9	4006126,00	711904,59	1174414,17	2119807,23	402763,37	1717043,86	2891458,03
10	4006126,00	734685,54	1174414,17	2097026,29	398434,99	1698591,29	2873005,46
11	4006126,00	758195,48	1174414,17	2073516,35	393968,11	1679548,24	2853962,42
12	4006126,00	782457,73	1174414,17	2049254,09	389358,28	1659895,82	2834309,99
13	4006126,00	807496,38	1174414,17	2024215,45	384600,93	1639614,51	2814028,68
14	4006126,00	833336,27	1174414,17	1998375,56	379691,36	1618684,20	2793098,38
15	4006126,00	860003,03	1174414,17	1971708,80	374624,67	1597084,13	2771498,30
16	4006126,00	887523,12	0,00	3118602,88	592534,55	2526068,33	2526068,33
17	4006126,00	915923,86	0,00	3090202,14	587138,41	2503063,73	2503063,73
18	4006126,00	945233,43	0,00	3060892,57	581569,59	2479322,98	2479322,98
19	4006126,00	975480,90	0,00	3030645,10	575822,57	2454822,53	2454822,53
20	4006126,00	1006696,28	0,00	2999429,72	569891,65	3569321,36	3569321,36
21	4006126,00	1038910,57	0,00	2967215,43	563770,93	2403444,50	2403444,50
22	4006126,00	1072155,70	0,00	2933970,30	557454,36	2376515,94	2376515,94
23	4006126,00	1106464,69	0,00	2899661,31	550935,65	2348725,66	2348725,66
24	4006126,00	1141871,56	0,00	2864254,44	544208,34	2320046,10	2320046,10
25	4006126,00	1178411,45	0,00	2827714,55	537265,77	2290448,79	2290448,79
26	4006126,00	1216120,61	0,00	2790005,39	530101,02	2259904,36	2259904,36
27	4006126,00	1255036,47	0,00	2751089,53	522707,01	2228382,52	2228382,52
28	4006126,00	1295197,64	0,00	2710928,36	515076,39	2195851,97	2195851,97
29	4006126,00	1336643,96	0,00	2669482,04	507201,59	2162280,45	2162280,45
30	4006126,00	1379416,57	0,00	2626709,43	499074,79	2127634,64	2127634,64

Rok	Roční tržby T [Kč.rok ⁻¹]	Roční provozní náklady Ni [Kč.rok ⁻¹]	Odpisy No [Kč.rok ⁻¹]	Hrubý zisk Zh [Kč.rok ⁻¹]	Daň d [%]	Čistý zisk Zč [Kč.rok ⁻¹]	Peněžní tok P _j [Kč]
1	3118906,90	482330,00	1007632,84	1628944,06	0,00	1628944,06	2636576,90
2	3118906,90	497764,56	1007632,84	1613509,50	0,00	1613509,50	2621142,34
3	3118906,90	513693,03	1007632,84	1597581,03	0,00	1597581,03	2605213,87
4	3118906,90	530131,20	1007632,84	1581142,86	0,00	1581142,86	2588775,70
5	3118906,90	547095,40	1007632,84	1564178,66	0,00	1564178,66	2571811,50
6	3118906,90	564602,45	1007632,84	1546671,61	293867,61	1252804,00	2260436,84
7	3118906,90	582669,73	1007632,84	1528604,33	290434,82	1238169,51	2245802,35
8	3118906,90	601315,16	1007632,84	1509958,90	286892,19	1223066,71	2230699,55
9	3118906,90	620557,25	1007632,84	1490716,81	283236,19	1207480,62	2215113,46
10	3118906,90	640415,08	1007632,84	1470858,98	279463,21	1191395,77	2199028,61
11	3118906,90	660908,36	1007632,84	1450365,70	275569,48	1174796,21	2182429,05
12	3118906,90	682057,43	1007632,84	1429216,63	271551,16	1157665,47	2165298,31
13	3118906,90	703883,27	1007632,84	1407390,79	267404,25	1139986,54	2147619,38
14	3118906,90	726407,53	1007632,84	1384866,53	263124,64	1121741,89	2129374,73
15	3118906,90	749652,58	1007632,84	1361621,48	258708,08	1102913,40	2110546,24
16	3118906,90	773641,46	0,00	2345265,44	445600,43	1899665,01	1899665,01
17	3118906,90	798397,98	0,00	2320508,92	440896,69	1879612,22	1879612,22
18	3118906,90	823946,72	0,00	2294960,18	436042,43	1858917,75	1858917,75
19	3118906,90	850313,01	0,00	2268593,89	431032,84	1837561,05	1837561,05
20	3118906,90	877523,03	0,00	2241383,87	425862,94	1815520,93	1815520,93
21	3118906,90	905603,77	0,00	2213303,13	420527,60	1792775,54	1792775,54
22	3118906,90	934583,09	0,00	2184323,81	415021,52	1769302,29	1769302,29
23	3118906,90	964489,75	0,00	2154417,15	409339,26	1745077,89	1745077,89
24	3118906,90	995353,42	0,00	2123553,48	403475,16	1720078,32	1720078,32
25	3118906,90	1027204,73	0,00	2091702,17	397423,41	1694278,76	1694278,76
26	3118906,90	1060075,28	0,00	2058831,62	391178,01	1667653,61	1667653,61
27	3118906,90	1093997,69	0,00	2024909,21	384732,75	1640176,46	1640176,46
28	3118906,90	1129005,62	0,00	1989901,28	378081,24	1611820,04	1611820,04
29	3118906,90	1165133,79	0,00	1953773,11	371216,89	1582556,22	1582556,22
30	3118906,90	1202418,08	0,00	1916488,82	364132,88	1552355,95	1552355,95