



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

**Projekt malé vodní elektrárny
Project of Small Hydro Power plant**

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Bouček

David Chramosta

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Chramosta David**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Projekt malé vodní elektrárny

Pokyny pro vypracování:

1. Popis technických řešení MVE.
2. Podmínky pro povolení stavby, legislativa.
3. Technický návrh elektro části MVE i s připojením k distribuční soustavě.
4. Vyhodnocení variant ekonomické efektivity projektu.

Seznam odborné literatury:

1. Kislíngrová a kol.: Manažerské finance, C.H. Beck, 2007.
2. Mastný a kol.: Obnovitelné zdroje elektrické energie ČVUT. FEL a MPO, 2011.
3. Holata M.: Malé vodní elektrárny. Academia, 2002.
4. Gabriel P. a kol.: Malé vodní elektrárny. ČVUT, 1998, 2002.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Stanislav Bouček

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma projekt malé vodní elektrárny vypracoval samostatně a použil jsem pouze legální software a podklady, které jsou uvedené na konci práce.

Nemám žádný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon)

V Praze dne 20. 5. 2015

David Chramosta

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Stanislavu Boučkovi za podnětné a přínosné informace ohledně elektro návrhu MVE a panu Doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi CSc. za rady k ekonomické části práce. Speciální poděkování směřuji své rodině za morální podporu ve studiu i v životě.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou malé vodní elektrárny a jejím elektro návrhem, včetně připojení na distribuční soustavu. Součástí práce jsou také dva návrhy využití hlnosti turbín a jejich zhodnocení na základě ekonomických kritérií.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, EIA, čistá současná hodnota, návratnost investice

Abstract

This bachelor's thesis deals with the issue of the small hydro power plant and its electrical concept, including the connection to the electric power distribution system. The work also contains concepts of using an absorption capacity of turbines and their assessment, based on economic criterias.

Key words

Small Hydro Power plant, EIA, Net Present Value, Return on investment

Obsah

Prohlášení	3
Poděkování	4
Anotace	5
Klíčová slova.....	5
Abstract.....	6
Key words	6
Obsah	7
Seznam zkratk a symbolů.....	9
Úvod	11
1 Teoretická část	12
1.1 Obecně o energii vody	12
1.2 Rozdělení hydroelektráren	13
1.2.1 Dle instalovaného výkonu	13
1.2.2 Dle konstrukce.....	13
1.2.3 Dle spádu.....	14
1.3 Malá vodní elektrárna	14
1.4 Části MVE.....	16
1.4.1 Elektrotechnická zařízení.....	16
1.4.2 Stavební část.....	22
1.4.3 Strojní část.....	24
2 Elektrický návrh MVE.....	26
2.1 Elektrická zařízení.....	26
2.2 Návrh jednopólového schéma MVE	26
2.2.1 Zapojení A.....	27
2.2.2 Zapojení B	28
2.2.3 Zapojení C.....	29

2.3	Zkratové proudy	29
2.3.1	Výpočet zkratových proudů.....	30
2.3.2	Zkratové reaktance prvků	32
2.3.3	Nárazový zkratový proud	37
2.3.4	Oteplovací proud	37
2.3.5	Minimální průřez vodiče	38
2.4	Volba výkonových vypínačů.....	38
2.5	Pojistky.....	39
3	Vyhodnocení lokality MVE	40
3.1	Ekonomická výhodnost.....	40
3.2	Vliv na životní prostředí.....	40
3.3	Legislativa	41
3.3.1	EIA.....	42
3.4	Výpočet využitelného výkonu.....	44
3.5	Projekt A – můj návrh	47
3.6	Čistá současná hodnota (ČSH, NPV).....	55
3.7	Vnitřní výnosové procento (IRR).....	56
3.8	Doba návratnosti	56
3.9	Návratnost investice (ROI)	57
3.10	Projekt B.....	58
3.11	Porovnání variant.....	61
	Závěr	63
	Použitá literatura	65
	Seznam obrázků	68
	Seznam tabulek	68
	Seznam příloh.....	69
	Přílohy	70

Seznam zkratek a symbolů

MVE	Malá vodní elektrárna	
ERÚ	Energetický regulační úřad	
OZE	Obnovitelné zdroje energie	
POZE	Podporované obnovitelné zdroje energie	
Cos φ	účiník	(-)
p	Převod transformátorů	
Q	Jalový výkon	(VAr)
ω	Úhlová rychlost	(rad/s)
MIT	Massachusetts Institute of Technology	
PLC	Programovatelný logický automat	
DCS	Distribuovaný řídicí systém	
ES	Elektrizační soustava	
i''_{k0}	Počáteční rázový 3fázový zkratový proud	(A)
$i''_{k0}^{(2)}$	Počáteční rázový 2fázový zkratový proud	(A)
$i''_{k0}^{(1)}$	Počáteční rázový 1fázový zkratový proud	(A)
S''_{k0}	Počáteční rázový zkratový výkon	(VA)
I_v	Vztažný proud	(A)
x_{celk}	Celková reaktance	(Ω)
S_v	Vztažný výkon	(VA)
U_v	Vztažené napětí	(V)
x''_d	Rázová reaktance generátoru	(%)
x_g	Reaktance generátoru	(Ω)
x_T	Reaktance transformátoru	(Ω)
x_v	Reaktance vedení	(Ω/km)
l	Délka vedení	(km)
x_s	Reaktance soustavy	(Ω)

u_k	Napětí transformátoru nakrátko	(%)
S_{ks}''	Rázový zkratový výkon soustavy	(VA)
S_n	Jmenovitý zdánlivý výkon	(VA)
U_n	Jmenovité napětí	(V)
I_p	Nárazový zkratový proud	(A)
I_{ke}	Ekvivalentní oteplovací proud	(A)
t_k	Doba trvání zkratu	(s)
κ	Součinitel nárazového zkratového proudu	(-)
k_e	Činitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu	(-)
S_{min}	Minimální průřez vodiče	(mm ²)
R_{Gf}	Fiktivní rezistance	(Ω)
g	Gravitační konstanta	(m·s ⁻²)
Q	Průměrný průtok vody	(m ³ ·s ⁻¹)
H	Spád při průměrném průtoku vody	(m)
K	Konstanta respektující gravitační konstantu a celkovou účinnost	(-)
μ_c	Celková účinnost	(-)
P	Dosažitelný výkon	(kW)
MZP	Minimální zůstatkový průtok	
E	Elektrická energie	(kWh)
i	Úrok	(%)
n	Počet období	(roky)
D_z	Daňový základ	(%)
Q_d	Denní průtok	(m ³ ·s ⁻¹)
V	Objem	(m ³)

Úvod

Problematika čisté energie z přírodních zdrojů zaujímá čím dál větší pozornost u odborné veřejnosti, a to jak ve světě, tak i v České republice. Je to zapříčiněné rychlým vyčerpáváním zásob ropy, uhlí a zemního plynu. Jako další příčinu, můžeme také považovat velké znečišťování ovzduší tepelnými elektrárnami.

Jaderné elektrárny se mohou zdát jako velice perspektivní, avšak existuje mnoho odpůrců této technologie, kteří tvrdí, že je velice nebezpečná, přičemž se opírají zejména o jaderné nehody v Černobylu a Fukušimě. Z těchto důvodů jsou v současnosti často budované fotovoltaické, větrné a vodní elektrárny. Fungují totiž na bázi využívání prakticky nevyčerpatelného zdroje energie, a to slunce, větru a vody.

Vodní elektrárny jsou založeny na principu využívání hydroenergetického potenciálu pohybující se vody. Nyní se v České republice staví převážně malé vodní elektrárny, které vznikají zejména na místech bývalých vodních děl. Těch bylo vybudováno velké množství a to převážně v podobě mlýnů, které však nevytvářely elektrickou energii, nýbrž pouze převáděly hydroenergetický potenciál vody na mechanickou energii. Tyto stavby jsou ideální kvůli již vybudované strojovně a přívodu a odtoku vody.

Cílem této práce je vytvořit elektro návrh malé vodní elektrárny a vybrat její nejvhodnější zapojení a provést ekonomické zhodnocení dvou alternativních projektů výstavby MVE.

1 Teoretická část

1.1 Obecně o energii vody

Mechanická energie vody závisí na koloběhu vody na Zemi a jejím objemu. Zdrojem koloběhu vody na Zemi je sluneční energie, proto se energie vody řadí mezi stále se obnovující, prakticky nevyčerpatelný zdroj energie. V přírodě existuje několik druhů mechanické energie vody, a to mechanická energie ledovců, atmosférických srážek, vodních toků a moře. V této práci bude hrát prim tzv. bílé uhlí, což je mechanická energie vodních toků.

Využití hydroenergetického potenciálu vodních toků závisí na konkrétních podmínkách dané lokality. Mezi ně patří geologické a morfologické podmínky území, osídlení, komunikace a jiné. Kvůli těmto omezením se využitelný hydroenergetický potenciál pohybuje přibližně na třetině až polovině teoreticky možného. U nás však ani tento prakticky využitelný potenciál není plně využit. V současnosti se ale tento trend mění a budují se MVE na řekách Labe, Vltava a Berounka, a to i přesto, že je to technicky poměrně obtížné [1].

Výhody hydroenergetického potenciálu, mezi které patří zejména nevyčerpatelnost, téměř žádné emise a s tím související zelený bonus od státu, vedou k jeho plošnému využívání. Příkladem může být Norsko, kde bylo v roce 2008 vyrobeno asi 122,7 TWh elektrické energie (pro představu v roce 2013 bylo v našich jaderných elektrárnách vyrobeno celkem cca 40 TWh elektrické energie) ve vodních elektrárnách, což je cca 99 % elektrické energie vyrobené v Norsku. Je to dáno obrovským množstvím prudkých horských řek, jezer a vodopádů [2].

1.2 Rozdělení hydroelektráren

Hydroelektrárny se dají rozdělit do několika kategorií, dle kterých se dají určit přibližné parametry, mezi které patří typ turbíny, instalovaný výkon, spád vodního toku a průtok dané vodní elektrárny.

1.2.1 Dle instalovaného výkonu

Zařazením do kategorií dle instalovaného výkonu rozumíme součet jmenovitých výkonů všech hydroalternátorů, které jsou v daném vodním díle nainstalované.

Dle normy ČSN 750120:

- **Malé** – výkon do 10 MW
- **Střední** – výkon v rozmezí 10 - 200 MW
- **Velké** – výkon nad 200 MW

V příloze 1 se nachází graf změny počtu MVE v ČR pro období 2002 – 2014.

1.2.2 Dle konstrukce

Jezové

Používají se přímo na jezích vodních toků, kde pracují nepřetržitě. Elektrárnou protéká voda až do maximální hltnosti turbín. Když bude ve vodním toku více vody, než může elektrárna pojmout, zbytek vody přeteče přes jez. Sem patří i pojem sanační průtok, což značí průtok, který musí protékat přes jez a to kvůli okysličování vody a průchodu ryb přes rybí přechody. Jsou značně závislé na průtoku, proto se používá více turbín s menší hltností, než jedna s vysokou hltností. Většinou mají malý spád a velký průtok, tudíž se používají Kaplanovy turbíny. Výhodou je jednoduchá stavba díla.

Derivační

Funguje na principu odebírání vody z hlavního toku do vedlejšího (umělého), ten může být jak kratší, tak i delší. Výhodou derivačních elektráren je, že si odebírají množství vody, které potřebují, a zbytek jde přes jez hlavním korytem. Díky tomu má i lepší ochranu před povodněmi. Nevýhodou je její složitější stavba, jelikož pro svou funkci potřebuje

umělé řečiště a s ním spojenou údržbu. Dalším negativem může být také větší zásah do přírody [3].

Přečerpávací

Přečerpávací vodní elektrárny se využívají na vykrývání výkonových špiček v síti. Je to spolehlivý akumulátor velkého množství energie. Funguje na principu dvou nádrží, které dělí velké převýšení a jsou spojeny pouze spádovým potrubím, které přivádí vodu do spodní nádrže. Při výkonové špičce se voda regulovaně vypouští do nádrže dole, kde roztáčí turbíny. Naopak při přebytku elektrické energie v soustavě, převážně v noci, motor funguje na principu čerpadla a voda se přečerpává do nádrže nahoře.

Přilivové

Energie mořských vln se zdá jako ideální zdroj elektrické energie, pro využití jejich hydroenergetického potenciálu se budují moderní přilivové elektrárny. Ty se staví zejména na místech s velkým rozsahem přílivu a odlivu. Fungují tedy na principu proudění vody při přílivu či odlivu přes turbíny, které jsou pod mořskou hladinou. Nevýhodou je především vysoká pořizovací cena, která je asi trojnásobná oproti hydroelektrárnám budovaných na vodních tocích. Pro jejich nerovnoměrný výkon je vhodné spojení s přečerpávací vodní elektrárnou (PVE) [1].

1.2.3 Dle spádu

Nízkotlaké - do 20 m spádu

Středotlaké - spád od 20 do 100 m

Vysokotlaké - spád nad 100 m

1.3 Malá vodní elektrárna

Malá vodní elektrárna (MVE) je hydroelektrárna, která má dle rozdělení podle instalovaného výkonu z 1.2.1 výkon do 10 MW. Vodní elektrárna funguje na principu odebírání vody z výše položeného místa pomocí náhonu (přívodním kanálem) na lopatky

turbíny, která je na stejné hřídeli, jako je generátor. Roztočením turbíny vodou se roztáčí i generátor a ten vytváří elektrickou energii.

Tyto elektrárny jsou šetrné k životnímu prostředí, protože neznečišťují ovzduší ani vodu, řadí se mezi nevyčerpatelné zdroje, vyjímají se dlouhou životností (malá poruchovost), která dosahuje několik desetiletí. Dalším pozitivem jsou nízké investice do výstavby MVE a nenáročnost údržby a v neposlední řadě je to zdroj jalové energie.

Negativ u malých hydroelektráren není mnoho, netýká se jich velké zasahování do přírody ani zvýšená hlučnost. Výstavba elektrárny na řece může však ovlivnit průtokové poměry a s tím spojené dostatečné okysličování vody, dále se zde nabízí ochrana vodních živočichů a jejich migrace. Oboje se musí řešit již v první fázi výstavby a to v části vodohospodářského projektování. Migrace ryb se navíc spíše týká výstavby větších hydroelektráren na přehradách [4].

Rozšiřováním MVE se zabývalo již mnoho odborníků, kteří se shodli, že se jedná o jeden z nejlepších, nejčistších a nejstabilnějších zdrojů elektrické energie. V souvislosti s tímto tvrzením se v roce 2003 provedl výzkum energetického potenciálu obnovitelných zdrojů energie (OZE), který sloužil jako podklad pro koncepci zákona o OZE. Na který 10. března 2004 vláda České republiky zareagovala usnesením vlády č. 211, kterým byla schválena Státní energetická koncepce. Na základě této pozitivní zprávy se začalo s výstavbou nových nebo rekonstrukcí stávajících, již nefungujících, vodních elektráren [5].

V návaznosti na toto usnesení vlády a vznik zákona č. 180/2005 Sb. musí Energetický regulační úřad (ERÚ), jako pověřený orgán, každoročně navrhnout a poté schválit rozsah a výši podpory podporovaných obnovitelných zdrojů energie (POZE). Tato podpora se každoročně mění a s každým novým cenovým rozhodnutím staré rozhodnutí pozbývá platnosti. Zelené bonusy (bez započítané daně z přidané hodnoty) na elektřinu z POZE se uplatňují na elektřinu naměřenou a dodanou do sítě distribuční nebo přenosové soustavy a dále dle *vyhlášky č. 541/2005 Sb., o Pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona, ve znění pozdějších předpisů*. Ze zákona je garantováno,

že výkupní cena elektrické energie z POZE se nezmění po dobu 30 let od výstavby nebo rekonstrukce MVE [6] [7] [8].

1.4 Části MVE

Hydroelektrárna se skládá z několika částí, mezi které patří například turbína, generátor, transformátor, ale také přívod a odtok vody. Tyto součásti se mohou rozdělit do tří hlavních segmentů a to elektrotechnického, stavebního a strojního.

1.4.1 Elektrotechnická zařízení

Elektrotechnická část má na starosti zejména výrobu a přenos elektrické energie. Dále sem patří slaboproudá část elektrotechniky, která zaznamenává důležité hodnoty a řídí chod celé hydroelektrárny.

Generátor

Ve vodních elektrárnách se generátoru říká hydroalternátor, což je elektrický točivý stroj, který přeměňuje mechanickou energii otáčející hřídele, která je společná pro generátor i turbínu, na energii elektrickou. Hydrogenerátor má rotor s vyniklými póly, kterých je v rotoru až několik desítek. Rotor dosahuje desítek až stovek otáček za minutu. Generátor může vytvářet buď stejnosměrný proud, pak se mu říká dynamo nebo střídavý proud, což je alternátor. Alternátory se dále rozdělují na asynchronní a synchronní.

Asynchronní generátor

Je nejpoužívanějším generátorem v MVE do 500 kW, největší výhodou je téměř bezúdržbový chod, spolehlivost a nemusí zde být regulátor otáček. Asynchronní generátor se prakticky neliší od asynchronního motoru. Skládá se ze dvou hlavních částí a to rotoru a statoru. Rotor může být dvojího typu, nejpoužívanější rotor je s klecovou kotvou (kotvou nakrátko), méně častým případem je kotva kroužková.

Principem je rozdělení statorového vinutí jednotlivých fází, poté v generátoru vzniká točivé magnetické pole. Budicí proud se indukuje v rotorovém vinutí, poté u něj vzniká magnetické pole a stroj se začne roztáčet. Nutností jsou asynchronní (nesynchronizované) otáčky rotoru a točivého pole statoru, tomuto rozdílu se říká skluz.

V případě synchronních otáček se v rotorovém vinutí přestává indukovat budící proud. Motor se roztočí, na hřídel přivedeme dostatečné velký mechanický moment, otáčky motoru se zvednou nad otáčky synchronní, rotor se bude brzdít a motor přejde do generátorického režimu – začne vyrábět elektřinu [1] [4].

Nevýhodou je nutný odběr jalové složky proudu ze sítě, účinník $\cos \varphi$ klesá, přičemž ideální hodnota je v rozmezí 1 – 0,95. V případě odebírání velkého množství jalového proudu, kde účinník klesá pod danou hodnotu, hrozí finanční postihy. Proto se účinník kompenzuje pomocí kapacity, kapacitou se rozumí kondenzátor, který je připojený na svorky generátoru (při výkonu generátoru nad 35 kW nutnost – předpisy rozvodných závodů) [1].

Synchronní generátor

Synchronní generátor se ve většině případů používá v MVE o výkonu nad 500 kW. Do sítě dodává jak činný, tak i jalový výkon, přičemž se používá regulace na konstantní účinník nebo jalový výkon. Činný výkon je shodný s mechanickým výkonem, přičemž ve skutečnosti je nižší o mechanické a elektrické ztráty. Činný výkon se odvíjí od mechanického momentu hřídele, jalový výkon závisí na budícím proudu. Počet pólů na rotoru i statoru musí být shodný, jinak hydroalternátor nebude dosahovat synchronních otáček [4].

Synchronní generátor má na statoru střídavé trojfázové vinutí, v každém jednofázovém vinutí se při synchronních otáčkách, pomocí vzniklého magnetického pole, indukuje proud, který je vzájemně posunut o 120° elektrických.

Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a nutnost fázování. Fázování odpadá, když generátor pracuje sám v dané síti. V opačném případě se musí zamezit proudovému rázu do sítě, který může dosahovat až trojnásobku jmenovitého proudu generátoru. Toho se docílí správným nafázováním, které probíhá následovně. Pomocí nulového voltmetru se zajistí stejné napětí generátoru a sítě, dále musí být stejná frekvence, stejný sled fází (zjistíme zkouškou pomocí malého asynchronního motoru) a v neposlední řadě minimální fázový posun napětí [9].

Transformátory

Transformátory řadíme do skupiny netočivých elektrických strojů. Jejich hlavním úkolem je transformovat střídavé napětí na střídavé napětí jiné hodnoty za neměnné frekvence. Poměru těchto hodnot se říká převod, ten musí být různý od jedné (kdyby se rovnal jedné, tak se napětí nemění). Dále se používají na galvanické oddělení dvou obvodů. Účinnost transformátoru dosahuje až 99 %. V poslední době se však rozmáhají výkonové polovodičové střídavé měniče napětí, stále se však nedají použít v nejnávratnější energetice. Pro ideální (bezeztrátový) převod platí:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

Funguje na bázi Maxwell-Faradayova indukčního zákona. Primární vinutí při procházení střídavého elektrického proudu převádí elektrickou energii na magnetickou. Následně vzniknutý magnetický tok prochází magnetickým obvodem a v sekundární cívice se indukuje střídavé elektrické napětí.

Skládá se ze tří hlavních částí, a to z vinutí, magnetického obvodu a nádoby. Cívka je buď z hliníku (spíše starší stroje na vyšší výkony) nebo mědi (novější stroje, lepší vlastnosti). Feromagnetické jádro se skládá z navzájem izolovaných plechů pro elektrotechniku, kde díky izolaci dochází ke snížení ztrát v železe. Skládají se přeplátováním nebo natupo. Ačkoliv montáž natupo je snadná, tak má i svá negativa, mezi ně patří zkratky a vzduchová mezera mezi pláty, tudíž vznikají větší ztráty v železe, z čehož vyplývá, že se používají výjimečně.

Při využití skládání přeplátováním se počítá s horší instalací, ale na druhou stranu má poté magnetický obvod lepší magnetické vlastnosti a ztráty vířivými proudy jsou daleko menší než v prvním případě.

Co se týče nádoby, tak ta chrání samotný transformátor od vnějších vlivů a zajišťuje zadržení transformátorového oleje, který má na starosti odvod tepla a elektrickou izolaci. Transformátory vysokého výkonu mívají chlazení oleje mimo nádobu. V případě transformátoru bez nuceného oběhu oleje, má konzervátor, což je nádoba na vyrovnávání tlaku oleje, který se mění při změně teploty. Ačkoliv syntetické

oleje mají lepší vlastnosti (odvod tepla a izolační), tak se používají spíše minerální, protože syntetické jsou ekologicky závadné [9].

Kondenzátory

Jak už bylo zmíněno v kapitole zabývající se generátory, konkrétně asynchronními, je nutné udržovat v síti účinník v daném rozmezí. Jelikož asynchronní generátory potřebují pro svou činnost odebrat ze sítě jalovou složku, tak se musí na generátor připojit kompenzační zařízení, konkrétně baterie. Při využití kondenzátoru v silnoproudé elektrotechnice, se oproti slaboproudé, hovoří spíše o kapacitním výkonu kondenzátoru, který je dán:

$$Q = \omega * C * U^2 \quad (2)$$

Jalový výkon kondenzátoru je závislý na velikosti kompenzace účinníku. Přičemž při konstantním zdánlivém výkonu platí:

$$Q_C = Q - Q_K = \sqrt{3} * U * I * (\sin(\varphi) - \sin(\varphi_K)) \quad (3)$$

Návrh kompenzátoru je závislý na konkrétních podmínkách, parametrech generátoru a také na velikosti samotné kompenzace. Kompenzační baterie nemusí sloužit pouze ke kompenzaci, ale také k filtraci některých kmitočtů. Dále mohou být regulovatelné či nikoliv, záleží, jestli je požadavek na kompenzaci celého jalového výkonu [1].

V příloze č. 2 je přidán graf závislosti účinníku na poměru jalového výkonu k činnému při konstantním zdánlivém výkonu.

Ochrany

Elektrotechnická zařízení se musí dle normy ČSN 33 3051 osadit elektrickými ochranami, v případě MVE se jedná o ochrany samotné elektrárny, tak i distribuční sítě, které chrání před nepříznivými vlivy způsobených poruchou. Způsob návrhu elektrických ochran se liší dle typu použitých zařízení, prostředí, výkonu a v neposlední řadě zde jsou požadavky majitele distribuční sítě a elektrárny.

Norma ČSN 33 3051 *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení* sděluje, že ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení musí plnit tyto náležitosti:

- Rychle a spolehlivě určit poruchu nebo překročení meze normálního provozu chráněného zařízení
- Vypnout je v čase, který musí být stanoven tak, aby se zabránilo vzniku škod nebo omezil jejich rozsah a zároveň ochránil lidi
- Snížit riziko požáru v důsledku tepelných účinků proudu
- Zajistit, aby se porucha nerozšířila dál na elektrizační soustavu

Ochrany hydro-alternátoru (pro 5 MVA < S < 10 MVA)

- Nadproudová zkratová časově nezávislá
- Přetížení statoru
- Rozdílová
- Nadpět'ová
- Podpět'ová
- Zemní statoru i rotoru
- Zpětná wattová
- Při ztrátě příkonu
- Zkratová při rozběhu
- Kontrola roztočení
- Kontrola oteplení během rozběhu
- Nesouměrné zatížení¹
- Kontrola synchronismu během rozběhu¹
- Při zemním spojení vývodu VN (podle zapojení bloku)¹

Ochrany blokových transformátorů (pro 5 MVA < S < 50 MVA)

- Nadproudová zkratová
- Plynová
- Rozdílová
- Zemní nádobová
- Nadproudová na I_0

¹ Ochrana se pouze doporučuje, není však nutná

- Zemní strany VN¹

Ochrany transformátoru v odbočce alternátorů (pro S < 6 MVA)

- Nadproudová zkratová
- Plynová
- Rozdílová
- Zemní nádobová
- Nadproudová na I₀
- Zemní strany VN
- Impedanční

Kabelová část (vyvedení výkonu)

Nedílnou součástí všech elektrických zařízení, potažmo výroben elektrické energie jsou kabely, které se nepoužívají pouze k vyvedení výkonu, ale také k řízení samotného provozu elektrárny.

V současnosti neexistuje způsob, jak efektivně přenášet elektrickou energii bezdrátově. S prvním pokusem transportu elektrické energie přišel v roce 1889 Nikola Tesla, kdy vynalezl Teslův transformátor, který může přenášet bezdrátově energii, avšak neefektivně. Proto se od tohoto způsobu upustilo, následovalo několik dalších pokusů, vždy se stejným efektem – nevýhodností. Až v roce 2007 výzkumný tým z MIT, vedený profesorem Marin Soljacic, dospěl k úspěchu. Po teoretických předpovědích se jim podařilo rozsvítit žárovku o příkonu 60 W pomocí bezdrátové technologie na vzdálenosti více jak dva metry, přičemž dosáhli přibližně 40% efektivnosti, následně vymysleli název WiTricity (wireless electricity). WiTricity zjednodušeně funguje na principu dvou měděných cívek s vlastním rezonančním obvodem. Cívka připojená ke zdroji začne vydávat rezonanci v řádech MHz (neškodný pro lidské zdraví), tuto rezonanci pohltí cívka na spotřebiči. Nutností je, aby obě cívky byly naladěny na stejný kmitočet [10] [11].

Ačkoliv investoři mívají v úmyslu šetřit na kabelovém systému, tak jejich cenu nemohou příliš ovlivnit. Důvodem je norma *ČSN 33 2000-5-523*, která stanovuje průřez a správný typ použitého kabelu při daném způsobu uložení. Stanovuje to mimo jiné na základě protékajícího proudu, dovolené provozní teploty, času odolání zkratovému proudu, oteplovací charakteristiky a požární bezpečnosti. Kabely musí být dimenzovány na účinky zkratových proudů dle *ČSN 33 200-4-43 Ochrana proti nadproudům*, která říká, že jistící prvky musí zapůsobit dříve, než by se zkratový proud ve vodičích mohl stát nebezpečným v důsledku tepelných a mechanických účinků vznikajících ve vodičích a spojích.

Ve většině případů se pro přenos velkého výkonu používají kabely s hliníkovým jádrem, ty jsou daleko levnější než měděné, přičemž od průměru 16 mm² se už neobjevuje jejich hlavní nevýhoda, kterou je tzv. „tečení“. Což znamená, že při působení příliš velkého tlaku na vodič ve svorce se vodič deformuje. Vesměs platí, že kabely s menším průřezem jsou levnější, avšak mají větší elektrický odpor a s tím související ztráty ve vedení [1].

Měřicí přístroje

Jsou neodmyslitelnou součástí všech výroben elektrické energie. Všechny podstatné komponenty jsou opatřeny signalizací, která ukazuje jejich stav. Měřicí přístroje se užívají pro zjištění důležitých dat, ať už o průtoku, hodnotě otáček soustrojí, napětí, výrobě a přenosu elektrické energie do sítě. Dále se měří například teplota většiny částí elektrárny a tlak oleje. Na základě těchto údajů, se automatika elektrárny může rozhodnout ke změně některých parametrů, tak aby její stav a chod byl optimální. V některých případech, se tak ale děje až po uvážení obsluhy, která je náležitě vyškolená.

1.4.2 Stavební část

Neméně důležitou částí hydroelektrárny je stavební část. Jedná se o poměrně náročnou technologickou část, protože musí být navržena tak, aby příliš nenarušovala okolí a zároveň zaručovala dostatek prostoru pro umístění ostatní technologie. Výsledný instalovaný výkon, ale i ostatní parametry je závislý právě na stavbě celého objektu.

Vtok

Jedná se o neopomenutelnou součást, bez které se vodní elektrárna neobejde. Jeho hlavní funkcí je zabezpečit přísun vody do turbíny, zároveň však nesmí vzniknout velké hydraulické ztráty. Dále by měl správně navržený vtokový objekt zamezit naplavení velkých nečistot, mezi které patří dřevo, led, ale i listí a bahna. Proto je vtok postavený výš minimálně 50 cm), než je dno řeky. Díky tomuto opatření se zamezí i vniku úhořů do turbín. Jelikož není vždy zcela možné zamezit naplavení nánosů do vtokového objektu, tak se používá tzv. usazovák. Což je jímka, ve které se vlivem gravitace hromadí nános, který nebyl zachycen pomocí prahu vtokového objektu. Usazovák se musí proplachovat, četnost průplachů závisí na množství usazenin.

Další částí vtoku jsou česle, které se dělí na hrubé a jemné. Prvními česlemi jsou hrubé, které zamezí vniku větších předmětů, tyto česle jsou osazeny strojem (jeřábem), který je čistí. Nečistoty, zde nezachycené, o velikosti cca do 80 mm se zachytí na jemných česlích. Na nich se zachycují zejména plasty, listy a hadry. Jemné česle mají velikost průlin (mezer) do 10 mm. Předmětům zachyceným na česlích se říká shrabky.

V oblasti vtoku je také mimo jiné systém zajišťující zastavení vtoku vody do díla – vtokové uzávěry. Jejich hlavním cílem je zamezení poškození turbín. Dalším zařízením je provizorní hrazení, má stejný účel avšak jeho postavení trvá několik hodin. Používá se zejména v případě nutné opravy uvnitř turbíny nebo revize. Toto hrazení se zasazuje do drážek, které jsou na stranách vtoku, může se zdát, že ztráty v drážkách jsou zanedbatelné, ale opak je pravdou. Proto by se mělo v každém návrhu počítat i s velikostí a tvarem drážek [1].

Přivaděče a odpady

Slouží k dovedení vody do turbíny a následně k jejímu odvedení. V případě MVE se klade důraz na co nejmenší délky. Důvodem jsou vysoké pořizovací náklady. Dalším důležitým faktorem při stavbě, respektive návrhu přivaděčů a odpadů je ztráta energie vody. Přivaděče a odpady jsou dvojího typu, stejně jako u vtoku, a to tlakové a beztlakové. U přivaděčů je nutné zaměřit se na těsnost všech částí, protože průsaky vody jsou nežádané a mohou způsobit materiální škody, ať už v MVE, tak i v okolí. Odpady se těsnit nemusí, jsou většinou pod úrovní spodní vody [1].

Budova MVE

Stavební částí, která navazuje na přivaděče je samotná budova hydroelektrárny. Je v ní umístěno samotné „srdce“ elektrárny – soustrojí turbína a generátor. Dále jsou zde transformátory a ostatní vybavení. Neodmyslitelnou součástí je také velín, kde jsou k dispozici všechny informace o všech důležitých částech online na počítači. V budově je ale i místnost, kde jsou připraveny náhradní komponenty. Samozřejmostí je sociální zařízení a šatna.

Moderní budovy jsou stavěny tak, aby se při povodních nedostala voda do strojové části elektrárny. To je zjištěno vysokým prahem budovy a okny až nad určitou hladinu vody. Je to logický tah, kdy lze zamezit velkým škodám způsobených na technologii.

Jelikož může být nutná výměna nebo dokonce odstranění velkých technologických částí (transformátor, převodovka, generátor) musí být na střeše budovy poklop minimálně o rozměrech největšího zařízení zvětšeného o potřebné úchyty.

1.4.3 Strojní část

Posledním dílem, který chybí do dokončení díla je jeho osazení strojní technologií. V období, kdy se nevyráběla elektřina, tato část obsahovala místo generátoru jiné zařízení, které využívalo získanou energii. Jednalo se například o mlýny, hamry a pily.

Vodní kola a turbíny

Pakliže je k dispozici vodní kinetickou energii, tak pro její využití je potřeba zařízení, které ji převede na požadovanou formu energie – mechanickou energii. Toho se docílí postavením vodního kola nebo turbíny.

Vodní kola

Jsou vůbec první zařízení, která se používala pro přeměnu energie. Vyznačují se svou jednoduchostí, a nejčastěji jsou vytvořena ze dřeva. V současné době se spíše nepoužívají, protože ve většině případů mají menší účinnost než turbíny. Jsou však schopna využít i nejmenšího spádu (pod 0,5 m), což se u turbín nedá. Při nejnižších spádech okolo decimetru se však účinnost pohybuje okolo 20 %, při vyšších spádech dosahuje až 70 % [4].

Turbíny

Pro hospodárnější využití vyšších spádů a větších průtoků se využívají vodní turbíny. Tvoří ji oběžné kolo, které získává mechanickou energii protékáním vody. Jsou daleko složitější než vodní kola a od toho se odvíjí jejich vyšší pořizovací cena.

Vodní turbíny lze rozdělit do několika kategorií. Mezi základní dělení patří rozdělení dle přenosu energie. Při využívání pouze kinetické energie se jedná o turbínu akční (rovnotlakou), když využívá kinetickou i tlakovou energii jedná se o turbínu reakční (přetlakovou). Přičemž většina turbín je reakčních [1] [4].

Regulace turbín

Regulátory je potřeba využít většinou v MVE o výkonu nad 500 kW (synchronní generátor) nebo v MVE, která pracuje do ostrovní zátěže. Samotné použití však ovlivňuje tzv. pevnost elektrizační soustavy. Základním požadavkem pro připojení elektrárny do soustavy je kmitočet, jehož jmenovitá hodnota musí být 50 Hz². Proto není přípustná změna otáček generátoru. Z tohoto důvodu je synchronní generátor doplněn o regulátor.

Regulátor musí okamžitě reagovat na změnu frekvence sítě – při snížení frekvence sítě (v soustavě klesl odběr) má generátor tendenci zvedat otáčky, tomu se musí zabránit – regulátor změní polohu rozváděcího kola turbíny. Tím se docílí změny průtoku na hodnou optimální – tzn. odpovídající hodnotě kmitočtu 50 Hz. Regulátor je ovládán pomocí PLC nebo DCS systému, který ovládá i ostatní části MVE [4] [12].

Převody

Důvodem využití převodů je prostý, změna otáček udílených turbínou, tak aby generátor dosahoval potřebných otáček. Samozřejmě nejlepší variantou je užití společné hřídele. To však není u většiny turbín možné – nedosahují dostatečných otáček (desítky), které generátor potřebuje (stovky až tisíce) – užívá se převod do rychla. MVE se většinou neobejde bez převodů [13].

² Dle normy ČSN EN 50160 musí být frekvence v rozmezí 50 Hz \pm 1 % během 99,5 % roku a během 100% času 50 Hz + 4 % /- 6 %.

2 Elektrický návrh MVE

2.1 Elektrická zařízení

Volba elektrických zařízení úzce souvisí s dosažitelným výkonem turbín, protože kdyby se zvolilo poddimenzované zařízení, mohlo by to mít za následek jeho zničení. Proto při jeho výběru musím zohlednit maximální výkon turbín. Jelikož dosažitelný výkon jedné turbíny je přibližně 3 400 kW, musíme zvolit generátor, který bude převádět takový mechanický výkon na výkon elektrický, musí se ale dát pozor na účinník, který se u synchronních generátorů pohybuje okolo 0,85. Účinnost se pohybuje od 90 do 96 %, pro ekonomické zhodnocení jsem zvolil účinnost 94 %.

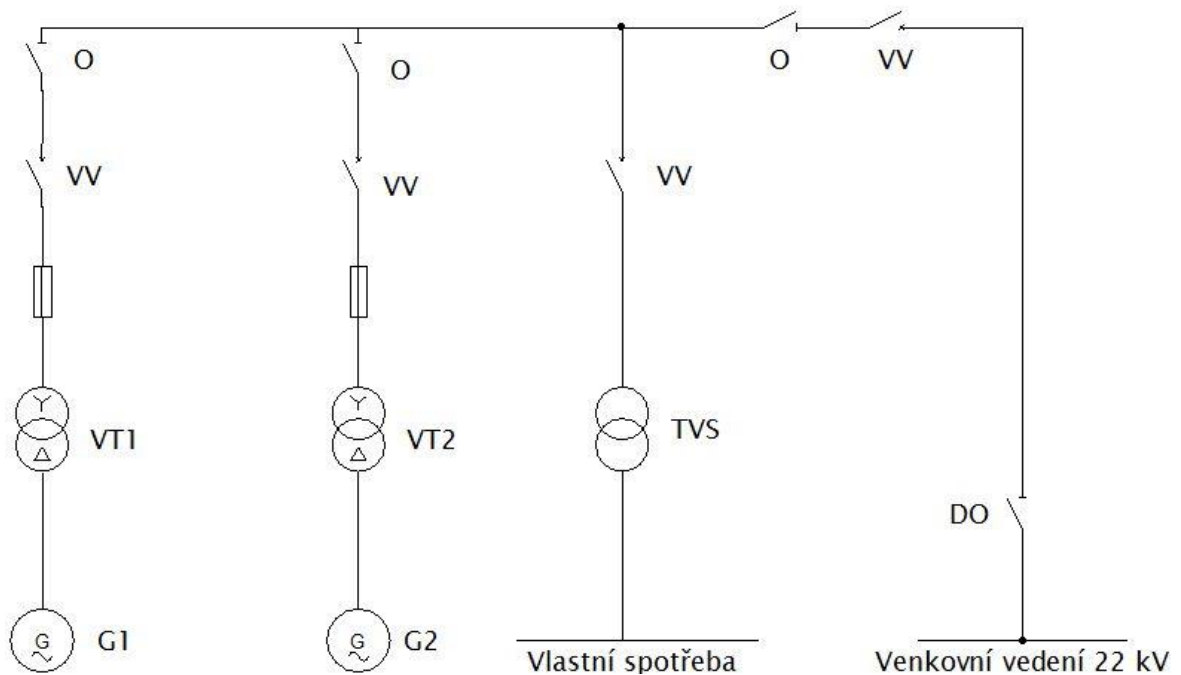
$$S = \frac{P_T}{\cos \varphi} = \frac{3400}{0,85} = 4000 \quad (\text{kVA})$$

Po výběru generátoru o výkonu 4000 kVA, se určí transformátor, který bude mít minimálně stejně velký zdánlivý výkon. V mém případě jsem zvolil transformátor o stejném výkonu, tedy 4000 kVA. Uvažovaná účinnost je 99,6 %. Transformátor vlastní spotřeby, který transformuje napětí 22/0,4 kV, bude mít výkon 400 kVA.

2.2 Návrh jednopólového schéma MVE

Schéma zapojení MVE závisí například na tom, zda do elektrárny vede pouze jedna linka nebo více, zda MVE bude pracovat stále nebo bude využívána pro vykrytí denního diagramu zatížení. Dalším určovatelem je výkon a nároky na ochranu a vlastní spotřebu. Rozhodl jsem se navrhnout tři základní schémata, která by se dala použít, a následně jsem je všechny okomentoval a vybral jedno, pro které jsem vypočítal počáteční rázový zkratový proud a výkon.

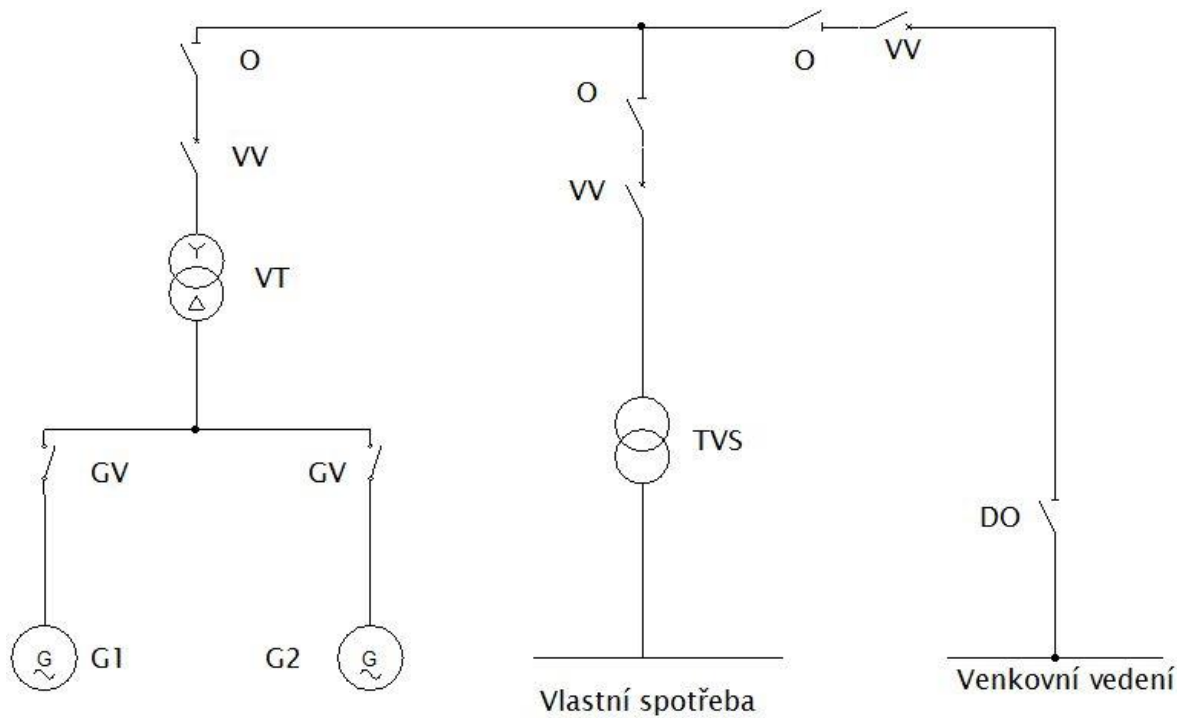
2.2.1 Zapojení A



Obrázek 1 Zapojení A elektrického návrhu.

Jedná se o jednoduché schéma, které počítá s jedním vývodem z MVE do distribuční soustavy. Pro každý generátor je vyhrazena jedna větev s vlastním výkonovým transformátorem VT, každá větev je doplněna o odpojovač O a výkonový vypínač VV. Vlastní spotřeba je řešena pomocí odbočkového transformátoru vlastní spotřeby z hladiny 22 kV na 0,4 kV. Vývod z MVE je řešen pomocí kabelu 3x 22-AXEKVCEY240 a na začátku je přidán odpojovač a výkonový vypínač. Na konci vývodového vedení je dálkový odpojovač DO pro případ odepnutí MVE od sítě. Výhodou tohoto zapojení je nezávislost generátorových větví mezi sebou a vysoká spolehlivost. Nevýhodou však může být použití dvou transformátorů.

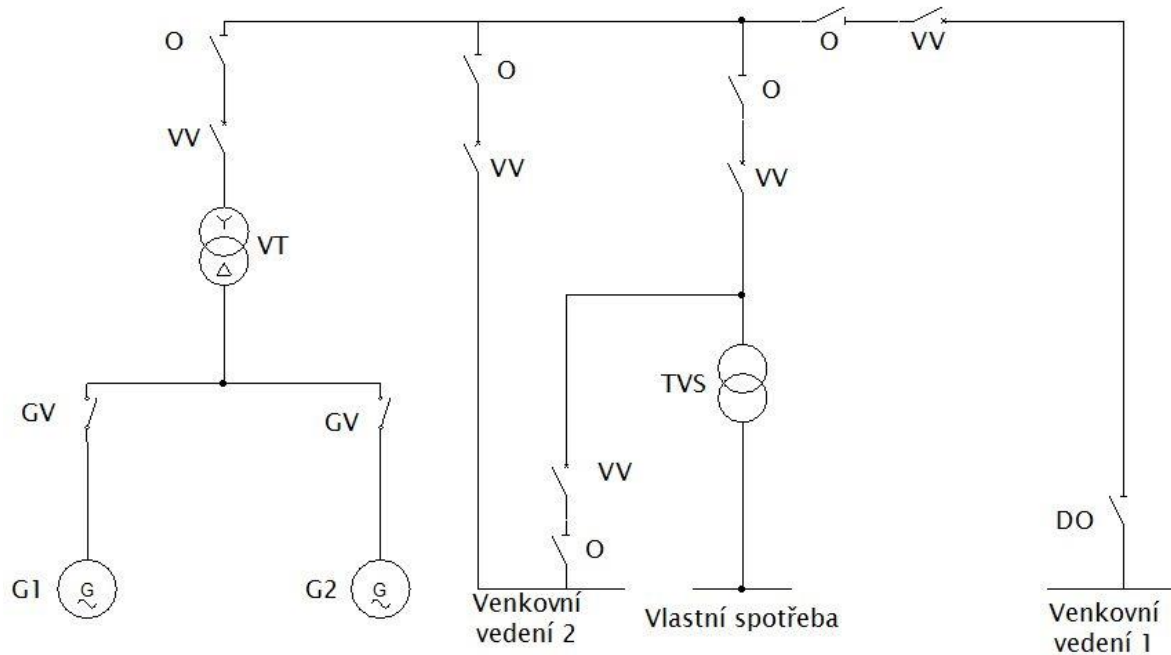
2.2.2 Zapojení B



Obrázek 2 Zapojení B elektrického návrhu.

Při návrhu tohoto schéma jsem využil pouze jednoho blokového transformátoru od obou generátorů. Toto zapojení má nevýhodu právě v této skutečnosti, protože dojde-li k poruše nebo výpadku tohoto transformátoru, musí se celá MVE odstavit. Zdánlivý výkon transformátoru v tomto řešení musí být dvojnásobný (než kdyby byly zapojeny dva), ekonomicky bude přijatelnější. Další záležitostí je, že musí být generátorové větve ještě před transformátorem doplněny o generátorový vypínač GV tak, aby každý z nich mohl pracovat sám. Vlastní spotřeba je řešena obdobně jako v zapojení A.

2.2.3 Zapojení C



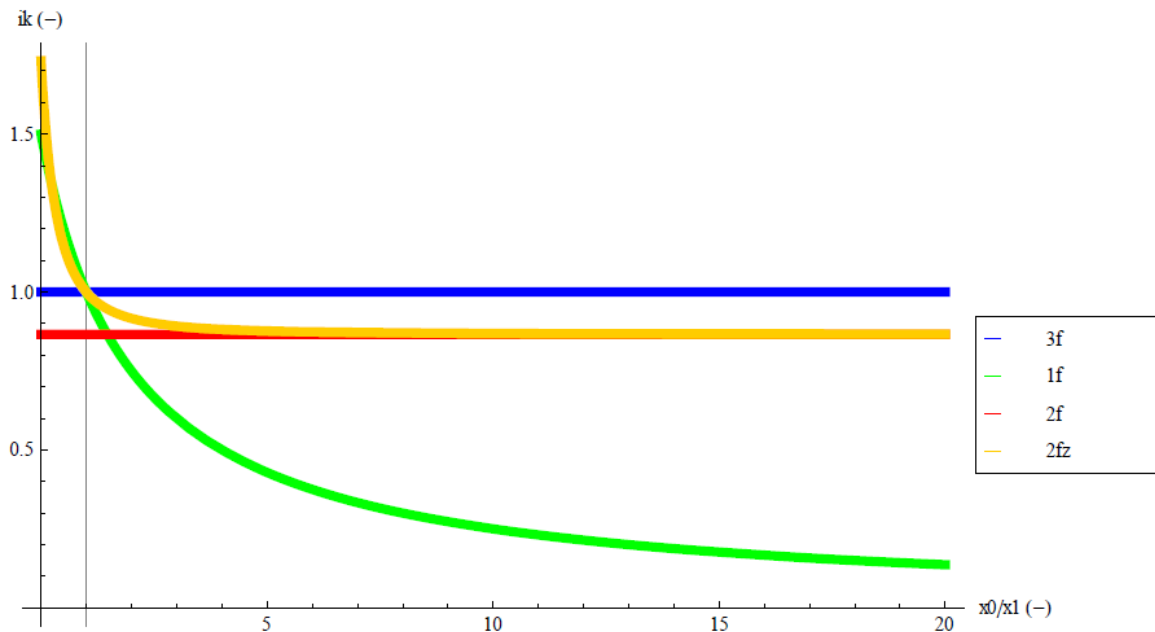
Obrázek 3 Zapojení C elektrického návrhu.

Zapojení C uvažuje druhou linku vedoucí do MVE, tím se docílí toho, že se může vyvádět výkon do druhé linky. Velkou výhodou je také využití pouze dvou transformátorů, jednoho o výkonu 8 MVA a druhý o výkonu 400 kVA. Výhodou tohoto zapojení je větší spolehlivost a nevýhodou vyšší cena oproti variantě B.

2.3 Zkratové proudy

Nejčastější poruchou v ES je zkrat a vznikají při něm zkratové proudy s přechodnými jevy. Zkrat vzniká spojením fází nebo fáze se zemí, příčinou je nejčastěji porušená izolace (přepětím), zásah bleskem nebo mechanické poškození izolace.

Při vzniku zkratu se snižuje celková impedance sítě, což má za následek prudké zvýšení proudu – vznik zkratového proudu. Ten následně může způsobit vysoké škody na zařízeních, ale hlavně na lidských životech [14] [15].



Obrázek 4 – Porovnání velikosti zkratového proudu pro různé typy zkratu v místě vzdáleného zkratu [14].

2.3.1 Výpočet zkratových proudů

Využívá se pro zajištění optimálního dimenzování elektrických vypínačů, elektrických ochran a vodičů. O způsobu výpočtu v praxi pojednává norma ČSN 33 3022 *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách*. Používá se ale zjednodušený výpočet pomocí postupného zjednodušování, který spočívá v tom, že se počítá pouze s imaginární částí impedance (reaktancí). Dále se zanedbává přechodový odpor a v místě zkratu se uvažuje napěťový zdroj. Při výpočtu pouze pomocí reaktance se dosáhne vyšších hodnot, což nese riziko naddimenzování [14].

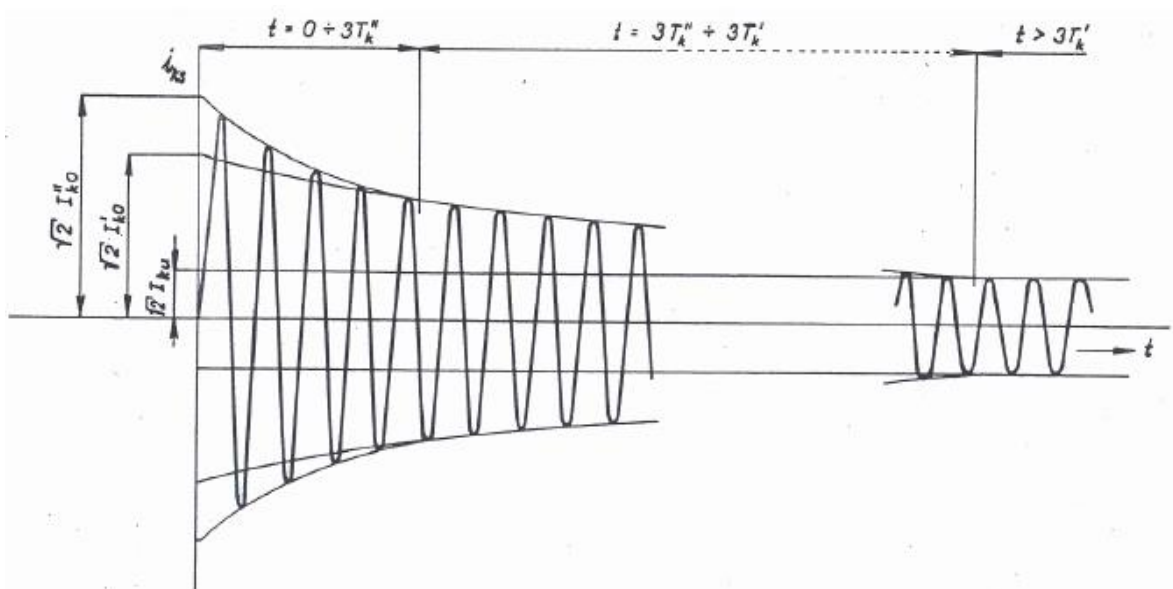
Tento způsob je poměrně náročný, ale dle normy stále platný. Aplikace tohoto postupu se tedy omezuje pouze na jednodušší soustavy, ve složitějších případech se doporučuje použití speciálních programů [15].

3fázový zkrat

$$i''_{k0} = k \cdot \frac{I_v}{x_{celk}} \quad (4)$$

Z rovnice (4) vyplývá vzorec pro výpočet počátečního rázového zkratového výkonu:

$$S''_{k0} = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot i''_{k0} = \frac{S_v}{x_{celk}} \quad (5)$$



Obrázek 5 – Průběh zkratových proudů (pouze střídavá složka) při elektricky blízkém zkratu [15].

2.3.2 Zkratové reaktance prvků

Generátor		
U_n	S_n	x_d''
6.3 kV	4 MVA	18 %
Blokový transformátor		
U_n	S_n	u_k
22/6.3 kV	4 MVA	8%
Transformátor VS		
U_n	S_n	u_k
22/0.4 kV	400 kVA	6%
Vedení		
l	x	
3 km	0.4 Ω / km	
Soustava		
U_n	S_{ks}''	
22 kV	500 MVA	

Tabulka 1 Jmenovité hodnoty jednotlivých zařízení.

Pro výpočet celkové reaktance soustavy je nejprve nutné vypočítat jednotlivé reaktance prvků. Následně se tyto hodnoty sčítají, dle zapojení buď sériově, nebo paralelně. Zvolil jsem si tedy vztažné hodnoty zdánlivého výkonu a napětí, pokračoval jsem výpočtem vztažného proudu.

S_v	U_v	I_v
4 MVA	22 kV	0.105 kA

Tabulka 2 Vztažné hodnoty.

Protože se jedná o poměrné hodnoty reaktancí, nemají tyto hodnoty žádné jednotky. V následujícím výpočtu je proto neuvádím.

Generátor

$$x_G = \frac{x_d''}{100} \cdot \frac{S_v}{S_{ng}} \quad (6)$$

$$x_{G1} = x_{G2} = \frac{18}{100} \cdot \frac{4}{4} = 0,18$$

Transformátor

$$x_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{S_v}{S_{nT}} \quad (7)$$

$$x_{T1} = x_{T2} = \frac{8}{100} \cdot \frac{4}{4} = 0,08$$

$$x_{T3} = \frac{6}{100} \cdot \frac{4}{0,4} = 0,6$$

Kabelové vedení

Při použití kabelu 3x 22-AXEKVCEY240 o délce cca 3 km, což je vzdálenost od MVE do místa napojení do místní sítě 22 kV, uvažuji reaktanci 0,4 Ω/km. Tento kabel má zvýšenou ochranu proti vlhkosti a dvojitý plášť [26].

$$x_V = x \cdot l \cdot \frac{S_v}{U_n^2} \quad (8)$$

$$x_V = 0,4 \cdot 3 \cdot \frac{4}{22^2} = 0,010$$

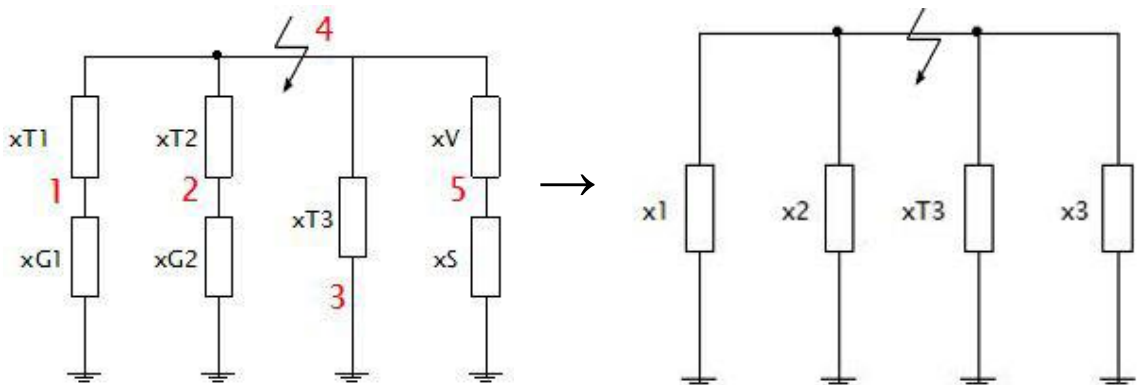
Soustava

Uvažuji počáteční rázový zkratový výkon soustavy o velikosti 500 MVA

$$x_s = \frac{S_v}{S_{ks}''} \quad (9)$$

$$x_s = \frac{4}{500} = 0,008$$

Jak jsem již zmínil, tyto hodnoty se následně sčítají dle zapojení, které je znázorněno na následujícím obrázku. Postupným zjednodušováním dostaneme celkovou reaktanci a tu využijeme pro výpočet zkratového výkonu a proudu. Zkrat uvažujeme v pěti bodech, přičemž názorně ukáži výpočet v bodě 4.



$$x_1 = x_2 = x_{T1} + x_{G1}$$

$$x_1 = x_2 = 0,08 + 0,18 = 0,26$$

$$x_{12} = x_1 \parallel x_2$$

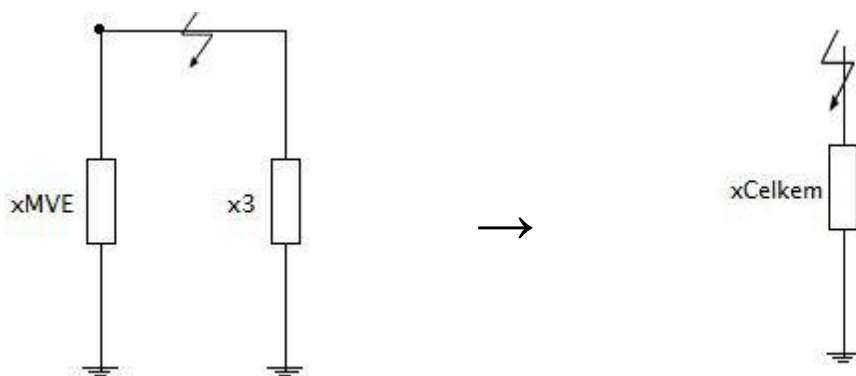
$$x_{12} = \frac{x_1 \cdot x_2}{x_1 + x_2}$$

$$x_{12} = \frac{0,26 \cdot 0,26}{0,26 + 0,26} = 0,13$$

$$x_3 = x_V + x_S = 0,010 + 0,008$$

$$x_3 = 0,018$$

Dalším zjednodušením, tedy provedením tří paralelních kombinací, získáme schéma na obrázku vlevo, po posledním zjednodušení dostaneme celkovou reaktanci.



$$x_{MVE} = x_{12} \parallel x_{T3}$$

$$x_{MVE} = \frac{x_{12} \cdot x_{T3}}{x_{12} + x_{T3}}$$

$$x_{MVE} = \frac{0,13 \cdot 0,6}{0,13 + 0,6} = 0,107$$

Celková reaktance sítě bude tedy opět paralelní kombinace posledních dvou zjednodušených prvků.

$$x_{Celkem} = \frac{x_{MVE} \cdot x_3}{x_{MVE} + x_3}$$

$$x_{Celkem} = \frac{0,107 \cdot 0,018}{0,107 + 0,018} = 0,015$$

Nyní mohu vypočítat počáteční nárazový zkratový výkon a proud.

$$S''_{k0} = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot i''_{k0} = \frac{S_v}{x_{celk}} \quad (10)$$

$$S''_{k0} = \frac{4}{0,015} = 266,667 \quad (\text{MVA})$$

$$i''_{k0} = \frac{S''_{k0}}{\sqrt{3} \cdot U_v} \quad (11)$$

$$I''_{k0} = \frac{266,667}{\sqrt{3} \cdot 22} = 6,998 \quad (\text{kA})$$

Místo zkratu	Un	S''_{k0}	I''_{k0}	I_p	I_{ke}
(-)	kV	MVA	kA	kA	kA
1	6.3	63.756	5.843	13.221	6.427
2	6.3	63.756	5.843	13.221	6.427
3	0.4	6.496	9.376	21.216	10.314
4	22	266.667	6.998	15.480	7.525
5	22	534.256	14.021	31.725	15.423

Tabulka 3 Vypočtené počáteční rázové zkratové výkony, proudy a oteplovací proud.

Velikost rázového zkratového výkonu a proudu je v bodě 5 nejvyšší a to z důvodu velkého ovlivnění sítí distributora. Čím blíže je místo zkratu ke zdroji, tím větší je hodnota zkratových veličin.

2.3.3 Nárazový zkratový proud

Součástí dimenzování je také výpočet nárazového zkratového proudu. Je to maximální okamžitá hodnota zkratového proudu. Při výpočtu se vychází z již známého počátečního rázového zkratového proudu [15].

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k0}'' \quad (12)$$

$$I_p = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 14,021 = 31,725 \quad (\text{kA})$$

Přičemž platí³ dle normy 33 3022 následující.

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3 \cdot R}{X}} \quad (13)$$

V mém případě počítám s hodnotou 1,6, která je zapsána v tabulce 8 této normy a je určena pro soustavy vysokého napětí (vn).

Ovšem při výpočtu nárazového zkratového proudu pro zkrat v blízkosti synchronního stroje je potřeba použít fiktivní rezistence R_{Gf} . V případě, jedná-li se o asynchronní stroj, je nutné použít normou definované poměry R_M/X_M [15].

2.3.4 Oteplovací proud

Závisí na místě zkratu a délce trvání zkratu a je charakterizován pomocí Joulova integrálu, který charakterizuje energii tepla vzniklou průchodem zkratového proudu. Elektrické zařízení lze použít za předpokladu, že jmenovitý krátkodobý nadproud je menší než ekvivalentní oteplovací proud. Jmenovitý krátkodobý nadproud je udáván pro zkrat o délce trvání 1 s [15] [16].

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt \quad (14)$$

Při dimenzování nás zajímá zejména hodnota oteplovacího proudu pro maximální zkratový proud pro dobu zkratu 1 s.

³ Platí pouze pro frekvence 50 Hz a 60 Hz.

$$I_{ke} = I_k'' \cdot k_e \quad (15)$$

$$I_{ke} = 14,021 \cdot 1,1 = 15,423 \quad (\text{kA})$$

Činitel k_e , se určuje dle tabulky v příloze č. 3, pro dobu zkratu 1 s a zkrat v oblasti vn se počítá s hodnotou 1,1.

2.3.5 Minimální průřez vodiče

Jelikož výrobci neudávají tepelnou odolnost vodičů při zkratu, tak se používá výpočet minimálního průřezu, který respektuje zkratový proud, respektive oteplovací proud. To je důležité, aby se kabel nezničil [14] [16].

$$S_{min} \geq \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \quad (16)$$

$$S_{min} \geq \frac{15423 \cdot 1}{66} \geq 233,682 \quad (\text{mm}^2)$$

Koeficient k , se určuje dle parametrů kabelu z tabulky 43A z normy ČSN 33 2000-4-43. Minimální průřez kabelu na výstupu z MVE musí být tedy 233,682 mm².

2.4 Volba výkonových vypínačů

Volba výkonových vypínačů se určuje dle dvou základních parametrů, a to jmenovitého napětí a nárazového zkratového proud v místě, kde bude vypínač. Tudíž se má volba bude řídit *tabulkou 3*. Navrhované řešení vypínačů je řešeno pro schéma A, jedná se tedy o čtyři stejné vypínače pro napěťovou hladinu 22 kV a nárazový zkratový proud přibližně o hodnotě 15,5 kA. Druhý typ vypínače bude umístěný na konci vývodového vedení, tedy v místě připojení na venkovní vedení distributora. V tomto místě se bude taktéž jednat o napětí 22 kV, ale nárazový zkratový proud bude vyšší a to cca 32 kA.

Typ vypínače	U_n	I_n	I_p	I_{sc}
-	kV	A	kA	kA
SVS/08	22	630	40-50	16-20
SVS/08	12	630	40-50	16-20

Tabulka 4 Zvolené výkonové vypínače a jejich parametry.

2.5 Pojistky

Tím, že se použijí pojistky, se zajistí, že v obvodu MVE nebudou protékat příliš velké zkratové proudy, které by mohly poničit výkonové vypínače a ostatní zařízení. Protože přenášený výkon je roven zdánlivému výkonu generátoru, tedy 4 MVA, bude jmenovitý proud od každého generátoru přibližně 105 A. Tudíž pojistka, která bude na každém kabelovém vývodu, musí mít jmenovitý proud vyšší jak 105 A. Proto jsem zvolil pojistku, která má jmenovitý proud 125 A, jmenovité napětí 24 kV a maximální zkratový proud 40 kA, pro vyšší hodnoty zkratového proudu pojistka vybuchne. Výhodou je, že čím větší je zkratový proud, tím pojistka vypne rychleji. Pojistky tedy uvažuji celkem dvě, pro každou generátorovou větev jednu.

$$I_n = \frac{S_G}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_n = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 22} = 104,973 \quad (\text{A})$$

3 Vyhodnocení lokality MVE

3.1 Ekonomická výhodnost

Výhodnost projektu MVE vyplývá z řady parametrů. Rozhodujícím je ekonomická výtěžnost, tedy finanční zisk. Bez dokonale vypracovaného ekonomického, respektive podnikatelského plánu, je téměř nemožné získat potřebné finance. Základní zdroje pro financování projektu lze pokrýt z kapitálu investora, bankovního úvěru, dotací či jejich kombinací. Úvěr ve většině případů poskytuje velká banka, která má dostatečné finance, ale je také možné získat syndikovaný úvěr od skupiny bank. V neposlední řadě se získávají peníze z dotací, dotace jsou však přísně vázané na splnění podmínek, které musí zadavatel doložit [18].

3.2 Vliv na životní prostředí

Vliv na životní prostředí je neoddiskutovatelnou součástí všech návrhů a posudků na výstavbu tohoto vodního díla. Musí se zohlednit všechny vlivy a následně rozhodnout, zda je výstavba přínosná, neutrální nebo devastující.

Mezi hlavní výhody výstavby malé vodní elektrárny řadíme výrobu čisté elektrické energie, kde největší emise vznikají při budování stavby. Při vlastním provozu vznikají pouze minimální emise. V případě MVE ve městě Štětí se uvažuje o následujících hodnotách emisí vztažených na vyrobenou MWh. Podotýkám, že skutečnost se nejspíše bude lišit.

Emise	TZL	SO ₂	Nox	CO	TOC	CO ₂
kg/MWh	0,074	1,699	1,695	0,105	0,300	1170

Tabulka 5 Emise vztažené na vyrobenou MWh v MVE ve Štětí [19].

Díky výstavbě vodních elektráren, respektive všech typů elektráren, které pracují s obnovitelnými zdroji energie, se Česká republika přibližuje k limitům snížení emisí, které stanovila vláda [19].

Benefitem projektu je zlepšení situace na povodí, zejména se jedná o lepší regulaci průtoku. Výhodou také je, že se může MVE stavět na místech, kde již nějaké vodní dílo existuje, například vodní mlýn. Dílo tedy nevyžaduje větší zásah do přírody a náklady na výstavbu nejsou tak vysoké.

Nevýhodou je u derivačních vodních elektráren odběr vody, který je podmíněn minimálním zůstatkovým průtokem (MZP). MZP je dán metodickým pokynem Ministerstva životního prostředí, viz následující *tabulka č. 6*. Našeho návrhu se však tato skutečnost netýká. Změnou přirozeného průtoku se může ovlivnit také usazování naplavenin a eroze v okolí elektrárny. Této negativní skutečnosti předejít vybetonováním odpadního kanálu [20].

$Q_{355d} (m^3 \cdot s^{-1})$	MZP
< 0.05	Q_{330d}
0.05 - 0.5	$(Q_{330d} + Q_{355d}) / 2$
0.51 - 5	Q_{355d}
> 5	$(Q_{355d} + Q_{364d}) / 2$

Tabulka 6 Určení MZP podle denních průtoků - pokyn MŽP [20].

Při výstavbě, jak již bylo výše zmíněno, se většinou využívá již staveb na břehu řeky. V některých případech dojde ke změnám nejbližšího okolí jezu, což je jistě zásahem do životního prostředí. Následně musí nastat proces rekultivace.

Někdo může namítat i hlučnost elektrárny, ale z vlastních zkušeností mohu potvrdit, že přímo před budovou MVE, člověk nepozná, zda je elektrárna v provozu nebo je odstavená.

3.3 Legislativa

Uvedením do provozu MVE se zabývá mnoho zákonů a doplňující legislativy. Stavební zákon upravuje podmínky pro povolení stavby a jejich změn, respektive jejich užívání a odstraňování. Vymezuje také pravomoci stavebního úřadu. Na základě stavebního zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (*stavební zákon*) vydává příslušný stavební úřad územní rozhodnutí.

Dalším důležitým zákonem je *zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)*. Tento zákon prostřednictvím vodoprávního úřadu upravuje, dle paragrafu 36, minimální zůstatkový průtok (MZP). Upravuje i to, že povolení s nakládáním s vodami se vydává pouze současně se stavebním povolením ve společném řízení. Samozřejmostí je odstraňování nánosů a shrabek.

Neopomenutelným je *předpis č. 458/2000 Sb., zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)*. Ten zpracovává předpisy EU, vymezuje práva a povinnosti všech zúčastněných subjektů. Pomocí tohoto zákona vzniká Energetický regulační úřad (ERU), který vydává vyhlášky a nařízení v energetice. Mimo jiné také určuje výkupní ceny elektřiny z OZE, zelený bonus a podmínky, za kterých bude danému subjektu vydána licence na výrobu, distribuci a případně i obchod elektřiny.

Licence se může vydat jak fyzické, tak i právnické osobě. Všeobecnými předpoklady pro udělení licence je dovršení 18 let, bezúhonnost a právní způsobilost fyzické osoby, nebo odpovědného zástupce a členů statutárního orgánu u právnické osoby. Dalším kritériem je odborná způsobilost, která je podmíněna vzděláním technického oboru a praxí, která je úměrná výši dosaženého vzdělání. Pro výrobu elektřiny z OZE do instalovaného výkonu 30 kW se odborná způsobilost nemusí dokládat. Při jmenování odpovědného zástupce (musí splňovat všechny podmínky) se musí přidat prohlášení odpovědného zástupce o souhlasu [21].

Pro lepší představu je jeden z formulářů připojen v přílohách.

3.3.1 EIA

Předpis č. 100/2001 Sb., zákon o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí), jehož součástí je tzv. EIA, je nepostradatelným zákonem zabývající se výstavbou MVE. Posuzování vlivů na životní prostředí vykonávají Ministerstvo životního prostředí a orgány kraje. V příloze č. 1, tohoto zákona, jsou dvě kategorie, podle kterých se zjistí, zda je EIA povinná nebo bude nutné udělat zjišťovací řízení. Při něm příslušný úřad zjistí, zda při daném podnikatelském záměru může stavba výrazně ovlivnit životní prostředí nebo nikoliv. V *příloze č. 2* jsou uvedeny hlavní parametry, podle kterých se úřad řídí při řízení.

Oznamovatel, což je ten, kdo chce provést výstavbu, je povinen zaslat oznámení na příslušný úřad nebo Ministerstvo životního prostředí.

Proces posouzení kritéria EIA je složitý, musí se zajistit, aby všechny dotčené orgány byly vybrány už před samotným posuzováním, vyjádřit se také mohou občané, avšak bez námitek se nemusí konat žádné veřejné diskuze. Každý z dotčených úřadů má ze zákona stanovenou dobu, do které se musí vyjádřit, respektive rozhodnout. Doba trvání celého procesu může dosahovat až 5 měsíců [22].

3.3.1.1 Nutnosti k posouzení EIA

Na začátku se většinou koná neoficiální diskuze mezi investorem a příslušnými orgány, jedná se spíše o informativní schůzku, která ujasní investorovi požadavky úřadů.

Následuje oficiální podání oznámení (případně podlimitního oznámení – rozhodnutí zda bude zjišťovací řízení třeba). Při správném vyplnění se s oznámením seznámí všechny zainteresované orgány včetně široké veřejnosti tak, aby se i ona mohla vyjádřit.

V další fázi se přistupuje k samotnému zjišťovacímu řízení. Objeví-li se vlivy, které by mohly negativně ovlivnit životní prostředí, mohou následovat další posuzovací řízení.

V případě, že se zjistilo závažné ovlivnění životního prostředí, je nutné vypracovat dokumentaci odborníkem na EIA. Jeho závěr musí obsahovat podrobnější informace o všech činnostech a vlivech na životní prostředí, viz příloha č. 4, zákona č. 100/2001 Sb..

Po doložení podrobné dokumentace se přejde k oponentnímu posouzení odborníkem s autorizací pro EIA.

Předposlední částí je veřejné projednání, které však probíhá pouze za předpokladu, že byly uvedeny námítka ze strany veřejnosti.

Poslední částí je závěrečné rozhodnutí. Je-li pozitivní, je podkladem pro další povolení a jeho platnost je omezena pěti lety [22].

3.4 Výpočet využitelného výkonu

Pro výpočet dosažitelného výkonu se používá průměrný 90 až 120 denní průtok, který se musí snížit o odběr vody nutný pro proplouvání lodí přes plavební komory. Při uvažování, že všechny lodě budou proplouvat pouze velkou komorou o průměrném denním proplutí 3 lodí, jedná se o ztrátu 15,8 milionů metrů krychlových vody za rok⁴, což dělá ztrátu asi $0,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

$$V_{celk} = \text{počet průplavu} \cdot V \quad (17)$$

$$V_{celk} = 1497 \cdot 10\,557 = 15\,803\,829 \quad (\text{m}^3)$$

$$Q_{průplav} = \frac{V_{celk}}{t} \quad (18)$$

$$Q_{průplav} = \frac{15\,803\,829}{364 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 0,502 \quad (\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$$

Dalším úbytkem je voda proudící přes rybí přechody, které jsou povinností u každého jezu. Množství vody proudící přes rybovody lze jen těžko odhadnout. Většinou se rekonstruuje se stavbou MVE, tudíž se dá předpokládat, že projektant přizpůsobí přechod tak, aby vyhovoval stavbě. Dle [25] se rybovody odvádí cca 1 – 5 % z celkového průtoku řekou v době migrace ryb. V mém případě jsem uvažoval 1 % z průměrného celoročního průtoku, tedy $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Protože elektrárna ve městě Štětí je navržena jako průtočná, nebere se zřetel na biologický průtok. V jiném případě by se jednalo o velké omezení provozu, který by se zkrátil například o čtvrtinu provozní doby.

Využitelné průtoky a spády jsou zobrazeny v *tabulce 7*, uvedené hodnoty jsou bez odečteného sanačního průtoku. Odečten je však průtok, který jde přes rybí přechod a průtok do plavební komory.

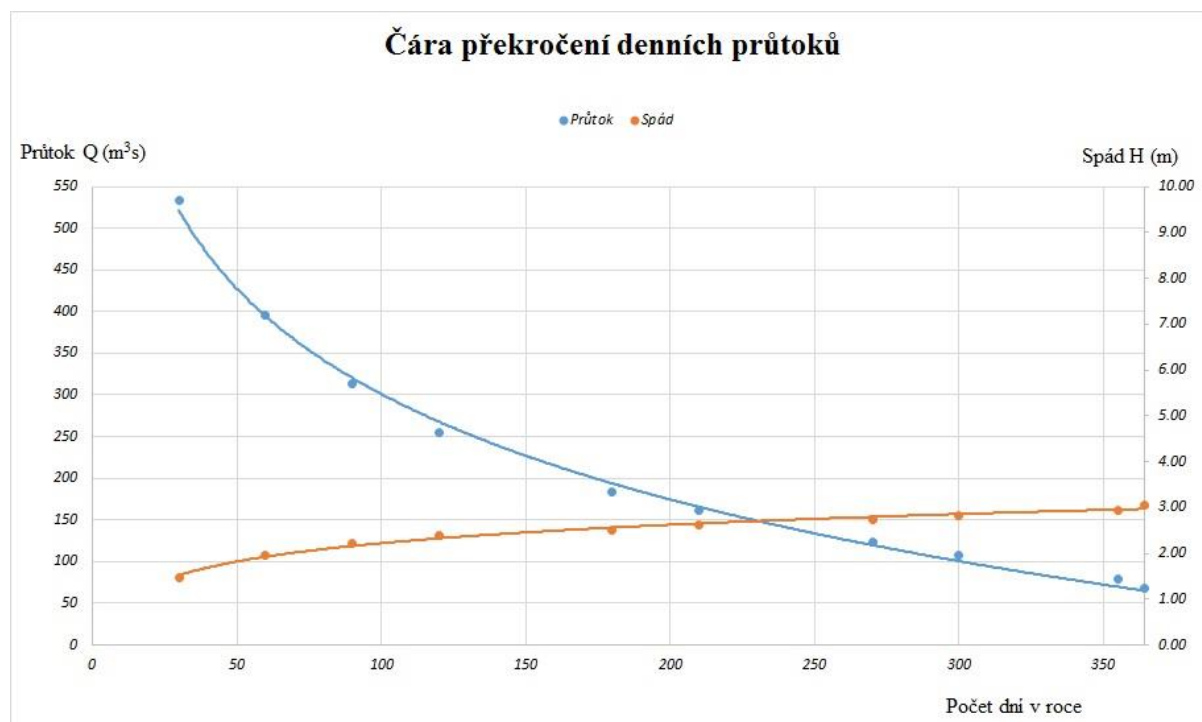
⁴ Dle [23] na zdymadlech v Horních Beřkovicích (nejbližší nadřazený jez) proplulo 1497 lodí za rok 2013 (nejaktuálnější verze). Dle [24] má velká komora ve Štětí rozměry 155 x 22 x 3.1 m, tudíž objem 10 557 m³.

M	(dny)	30	60	90	120	180	210	270	300	355	364
Q_{Md}	($m^3 s^{-1}$)	533	395	314	255	183	161	123	108	71.8	67.7
H	(m)	1.47	1.95	2.22	2.40	2.51	2.62	2.73	2.83	2.94	3.05

Tabulka 7 M-denní průtoky a spády v oblasti výstavby MVE.

Se zvýšeným průtokem se spád snižuje, protože voda pod jezem se zpomalí a nestačí odtékat, naopak při nízkém průtoku je spád daleko větší. Díky tomuto faktu, se dá docílit poměrně dobré účinnosti turbíny i při nízkém průtoku, proto se využívají hlavně regulovatelné turbíny.

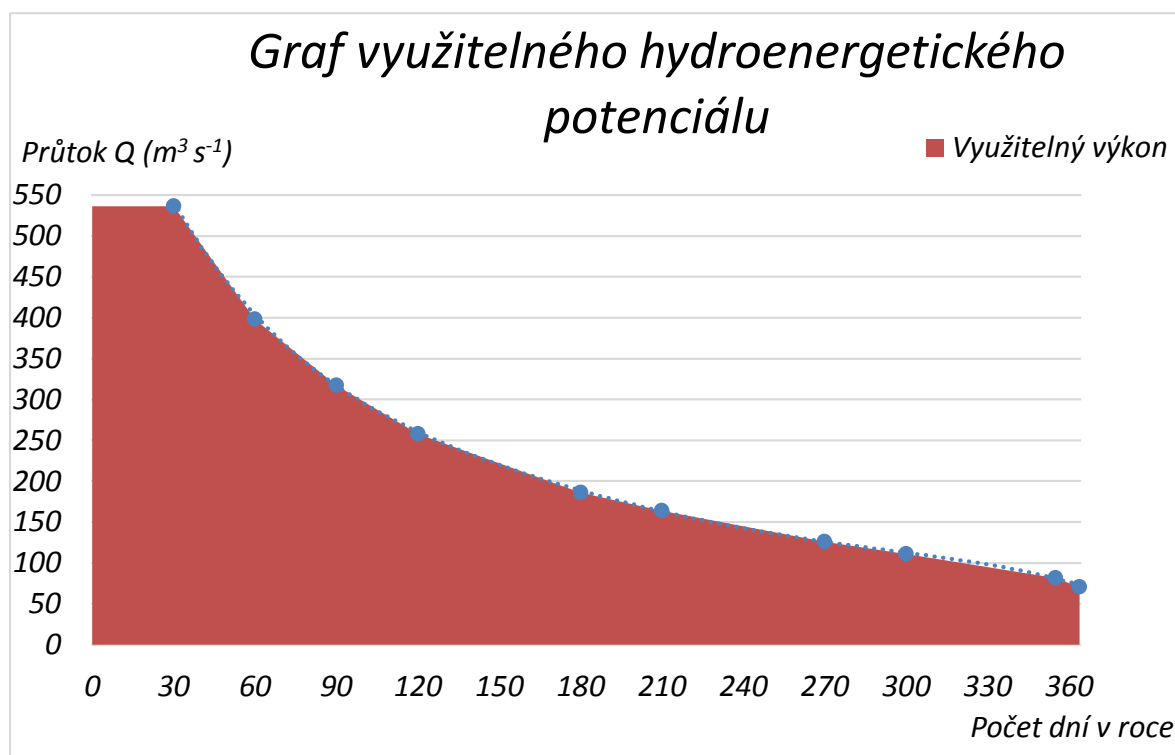
Pro zajištění co největšího instalovaného výkonu MVE je, jak je z grafu (viz obrázek č. 6) patrné, nutné zaujmout co největší plochu pod čarou překročení denních průtoků.



Obrázek 6 Čára překročení denních průtoků a změny spádu vycházející z tabulky 7.

Při dvou turbínách o různých hlnostech, je složitější využití jednotlivých turbín tak, aby celková účinnost byla co nejvyšší. Problémem je také nesouměrnost prvků v elektrárně, různé generátory, transformátory a jiné.

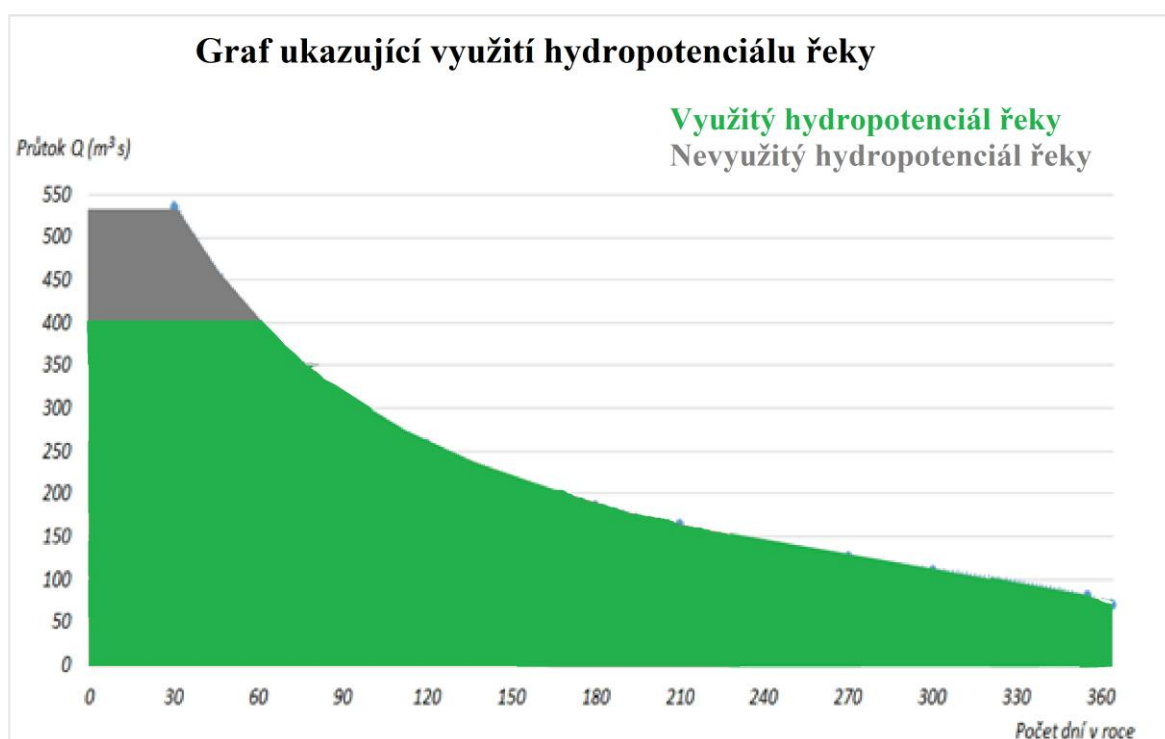
Pro zjištění jaké hlnosti turbín bude třeba, se využije překročení denních průtoků na *obrázku č. 7*, kde jsem využil dvě stejné regulovatelné turbíny o hlnosti $200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Regulace je uvažována v rozmezí 100 – 30 %.



Obrázek 7 Graf využitelného hydropotenciálu řeky Labe ve městě Štětí.

3.5 Projekt A – můj návrh

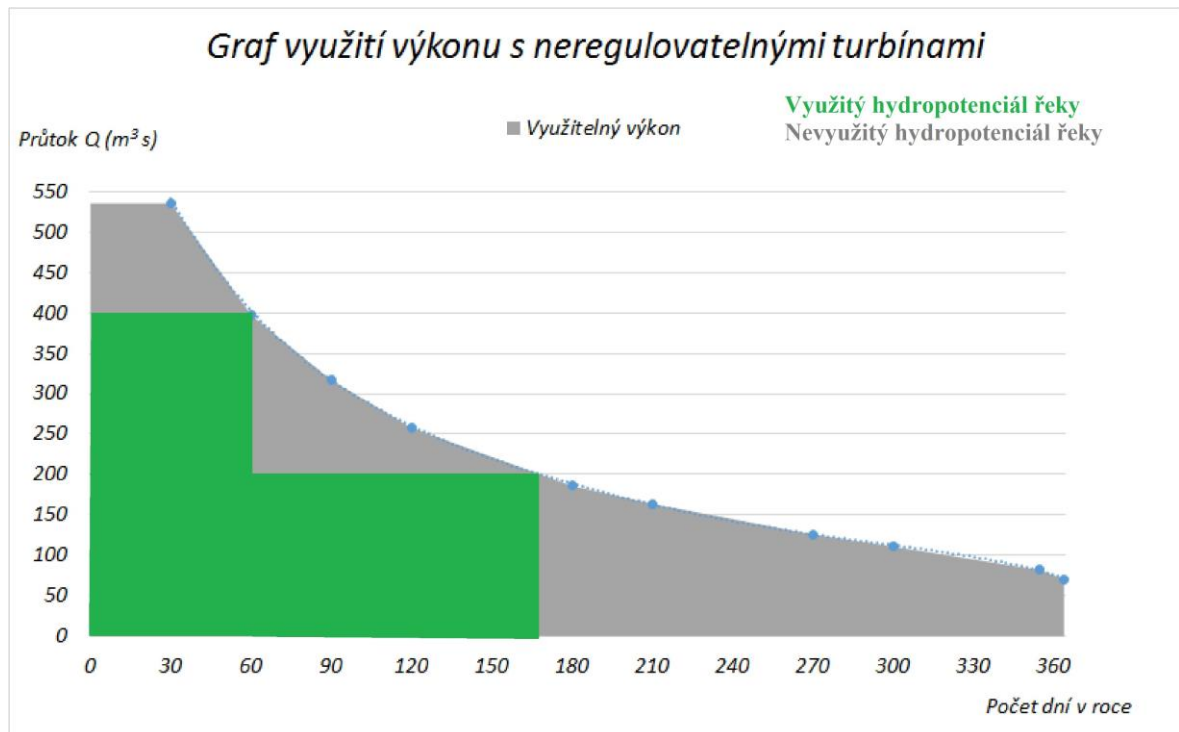
Obrázek č. 8 ukazuje, že regulovatelné turbíny o hlnostech $2 \times 200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ využijí téměř celý hydroenergetický potenciál řeky Labe. Nebude využit pouze průtok nad $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, to je způsobeno nedostatečnou celkovou hlností turbín a velmi nízkým spádem. Turbíny mohou krátkodobě zvýšit svou hlnost asi o 10 %, ale bude snížena účinnost. Toto zvýšení nesmí překročit 50 hodin za rok. Tento stav není na grafu zaznamenán z důvodu limitu využití, tudíž se nebude započítávat.



Obrázek 8 Graf využití hydropotenciálu pro hlnost $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Z obrázku dále vyplývá, že MVE bude odstavena při nižším průtoku než je Q_{364d} a to z důvodu, že takový průtok je nižší jak 30 % optimální hlnosti turbíny. Z těchto údajů se určí instalovaný výkon turbín a rozhodne se, zda je tato volba optimální.

Při využití neregulovatelných turbín by se jednalo o velkou ztrátu výkonu, proto se od tohoto řešení ustupuje. Vhodnost jejich využití je na tocích, kde je čára překročení denních průtoků plochá, to znamená průtok je vyrovnaný. V takovém případě se může tato volba stát vhodnou, protože pořizovací cena je nižší. Případ nevhodného použití je znázorněn na *obrázku 9*, jak je na něm vidět, ztracený výkon by byl velký [4].



Obrázek 9 Graf využití hydropotenciálu pro neregulovatelné turbíny o hltnosti $2 \times 200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Při uvažovaném využití jednotlivých turbín při daných průtocích je ukázáno v *tabulkách č. 8*. Při uvažování využití jsem bral v úvahu spád a průtok turbínou, a dle těchto údajů jsem určil účinnost turbíny z křivky účinností. Snažil jsem se najít maximální výkon turbíny pomocí získaných údajů.

1. Turbína													
η	[-]	0.82	0.89	0.89	0.912	0.931	0.933	0.936	0.935	0.93	0.000	0.000	0.000
Q	[m ³ s ⁻¹]	200	198	157	127	99	91	80	74	62	0.000	0.000	0.000
H	[m]	1.47	1.95	2.22	2.4	2.49	2.51	2.62	2.66	2.73	2.83	2.94	3.05
2. Turbína													
η	[-]	0.82	0.89	0.89	0.914	0.931	0.933	0.936	0.935	0.925	0.934	0.939	0.934
Q	[m ³ s ⁻¹]	200	197	157	128	98	92	81	73	61	108	78.8	67.7
H	[m]	1.47	1.95	2.22	2.4	2.49	2.51	2.62	2.66	2.73	2.83	2.94	3.05

Tabulka 8 Určení účinnosti pro daný spád a průtok pro turbíny 2x 200 m³s⁻¹.

Následně jsem si vypočítal celkovou účinnost pro každý spád a dosadil účinnost do vzorce pro výpočet výkonu. Celková účinnost se vypočítá vynásobením účinností turbín, převodu, generátoru a transformátoru. Účinností turbín uvažuji hodnotu průměrnou.

$$\mu_C = \mu_T \cdot \mu_{Př} \cdot \mu_G \cdot \mu_{Tr} \quad (19)$$

$$\mu_C = 0,82 \cdot 0,96 \cdot 0,94 \cdot 0,996 = 0,737 \quad (-)$$

Výpočet výkonu se provede dle vzorce (17).

$$P = g \cdot Q \cdot H \cdot \mu_C \quad (20)$$

$$P = 9,81 \cdot 400 \cdot 1,47 \cdot 0,737 = 4251 \quad (\text{kW})$$

V následující tabulce č. 9 jsou již vypočtené výkony MVE při daných průtocích.

Číslo	Průtok	Spád	Průtok	Celková účinnost	Výkon
1		[m]	[m ³ s ⁻¹]	[-]	[kW]
1.1	Q _{30d}	1.47	400	0.737	4251
1.2	Q _{57d}	1.95	395	0.800	6044
1.3	Q _{90d}	2.22	314	0.800	5470
1.4	Q _{120d}	2.4	255	0.821	4927
1.5	Q _{170d}	2.49	197	0.837	4027
1.6	Q _{180d}	2.51	183	0.838	3777
1.7	Q _{210d}	2.62	161	0.841	3479
1.8	Q _{230d}	2.66	147	0.840	3224
1.9	Q _{270d}	2.73	123	0.834	2746
1.10	Q _{300d}	2.83	108	0.839	2517
1.11	Q _{355d}	2.94	78.8	0.844	1917
1.12	Q _{364d}	3.05	67.7	0.839	1700

Tabulka 9 Celková účinnost MVE při daném spádu a průtoku a její výkon v tomto stavu.

Z tabulky je evidentní, že maximálního výkonu dosáhne MVE při průtoku Q_{57d}, což je zapříčiněné vyšším spádem. Účinnost zůstává stejná jako při průtoku Q_{90d}, to je však vina křivky účinnosti daných turbín. Dalším krokem je určení vyrobené elektřiny za kalendářní rok. Toho se docílí tím, že se každá hodnota výkonu vynásobí počtem provozních hodin v daném stavu, tzn. rozdílem dolních indexů průtoků vynásobené 24 hodinami.

$$E = P \cdot t \quad (21)$$

$$E = 4251 \cdot 30 \cdot 24 = 3\,060\,720 \quad (\text{kWh})$$

Sumou vyrobené elektřiny při jednotlivých průtocích se získá celková vyrobená elektrická energie.

$$E_{Brutto} = \sum_{t=0}^T E \quad (22)$$

$$E_{Brutto} = 31\,994\,232 \quad (\text{kWh})$$

Samozřejmostí je odečtení vlastní spotřeby elektrárny, neboli elektřiny, kterou MVE potřebuje pro svůj vlastní provoz a schopnost vyrábět elektřinu. Tato hodnota se většinou pohybuje v řádech desetin procent. Já jsem se rozhodl vypočítat vlastní spotřebu na základě hodnot uvedených v Roční zprávě o provozu ES ČR 2013 vydanou ERÚ.

$$e = \frac{\textit{vlastní spotřeba VE}}{\textit{brutto výroba elektřiny z VE}} = \frac{30,7}{3761,7} = 0,00816 \quad (23)$$

$$E_{Vl} = e \cdot E_{Brutto} \quad (24)$$

$$E_{Vl} = 0,00816 \cdot 31\,994\,232 = 261\,073 \quad (\text{kWh})$$

Výsledná elektřina se prodá podle prodejních podmínek, které si vyjedná každý výrobce elektrické energie individuálně. Závisí pouze na něm, zda se rozhodne využít zeleného bonusu, nebo využije povinné výkupní ceny elektřiny. *Tabulka č. 10* ukazuje vyrobenou elektřinu a provozní hodiny v jednotlivých obdobích průtoků, přidána je i tabulka s vlastní spotřebou. Uvědomuji si, že vlastní spotřeba vypočítaná touto metodou je značně ovlivněná spotřebou elektrické energie přečerpávacími vodními elektrárnami.

Číslo	Průtok	Výkon	Počet provozních hodin	Vyrobená elektřina za rok
		[kW]	[hodiny]	[kWh]
1	Brutto	-	8 736	31 994 232
1.1	Q _{30d}	4 251	720	3 060 720
1.2	Q _{57d}	6 044	648	3 916 512
1.3	Q _{90d}	5 470	792	4 332 240
1.4	Q _{120d}	4 927	720	3 547 440
1.5	Q _{170d}	4 027	1 200	4 832 400
1.6	Q _{180d}	3 777	240	906 480
1.7	Q _{210d}	3 479	720	2 504 880
1.8	Q _{230d}	3 224	480	1 547 520
1.9	Q _{270d}	2 746	960	2 636 160
1.10	Q _{300d}	2 517	720	1 812 240
1.11	Q _{355d}	1 917	1 320	2 530 440
1.12	Q _{364d}	1 700	216	367 200
2	Netto	-	8 736	31 733 159
		% z Brutto elektřiny		Elektřina potřebná na samotný provoz MVE
3	Vlastní spotřeba	0.816		261 073

Tabulka 10 Vyrobená elektřina a vlastní spotřeba MVE.

Pro výpočet efektivnosti MVE se vychází ze zisků z prodeje netto elektřiny. Cenu, jak jsem již zmínil, si vyjednává výrobce elektřiny přímo s distributorem. V tomto případě se jedná o částku 3,3 Kč/kWh. Pro tuto výkupní cenu se vypočítají roční příjmy z prodeje a následně vynásobí meziročním nárůstem ceny elektřiny[19].

$$Příjmy = E_{Netto} \cdot P \quad (25)$$

$$Příjmy = 31\,733\,159 \cdot 3,3 = 104\,719\,425 \quad (\text{Kč})$$

$$Příjmy_k = Příjmy \cdot k \quad (26)$$

$$Příjmy_k = 104\,719\,425 \cdot 1,0612 = 111\,129\,091 \quad (\text{Kč})$$

Roční příjmy tedy budou přibližně 111 milionů Kč po započtení meziročního nárůstu ceny elektřiny, který je 2 %. Od této částky se však následně musí ještě odečíst úmor, úrok, provozní náklady a daň z příjmu právnických osob.

Pro výpočet úroku v daném roce musím nejprve vypočíst anuitní částku neboli neměnnou částku, která se bude ročně splácet. Vypočítám ji na základě umořovatele, který se vypočítá z doby splácení a roční úrokové sazby. Dobu splácení jsem určil na 15 let a výše úvěru je 300 milionů Kč.

$$Umořovatel = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (27)$$

$$Umořovatel = \frac{0,03 \cdot (1 + 0,03)^{15}}{(1 + 0,03)^{15} - 1} = 0,084 \quad (-)$$

Z umořovatele si vynásobením výše úvěru vyjádřím anuitu, tedy konstantní splátku, kterou bude investor ročně splácet.

$$Anuita = Umořovatel \cdot \text{Výše úvěru} \quad (28)$$

$$Anuita = 0,084 \cdot 300\,000\,000 = 25\,129\,974 \quad (\text{Kč})$$

Dalším krokem je výpočet úročitele, tedy koeficientu, podle kterého se bude vyjadřovat velikost úroků v daném roce, tento koeficient se každým rokem snižuje. Pro názornost je zde opět uveden příklad pro první rok provozu.

$$Úročitel = 1 - \frac{1}{(1 + i)^{n-t} - 1} \quad (29)$$

$$Úročitel = 1 - \frac{1}{(1 + 0,03)^{15} - 1} = 0,358 \quad (-)$$

Pomocí úročitele si tedy nyní vyjádřím výši úroku a poté vypočtu jednoduchým odečtením úmor.

$$\mathbf{\dot{U}rok = \dot{U}ro\dot{c}itel \cdot Anuita} \quad (30)$$

$$\mathbf{\dot{U}rok = 0,358 \cdot 25\,129\,974 = 9\,000\,000} \quad (\mathbf{K\check{c}})$$

$$\mathbf{\dot{U}mor = Anuita - \dot{U}rok} \quad (31)$$

$$\mathbf{\dot{U}mor = 25\,129\,974 - 9\,000\,000 = 16\,129\,974} \quad (\mathbf{K\check{c}})$$

Daň z příjmu pro právnické osoby je stanovena v roce 2015 na 19 %. Daň se vypočítává z daňového základu.

$$\mathbf{Da\check{n} = D_z \cdot (P\check{r}ijmy_k - Odpisy - \dot{U}rok - Provozn\acute{i} v\acute{y}daje)} \quad (32)$$

$$\mathbf{Da\check{n} = 0,19 \cdot (111\,129\,091 - 20\,388\,946 - 9\,000\,000 - 6\,505\,205)}$$

$$\mathbf{Da\check{n} = 14\,294\,639} \quad (\mathbf{K\check{c}})$$

Investor je v prvních pěti letech zproštěn daňové povinnosti. To je způsobené velkými investičními výdaji v předchozích třech letech. Využijí se tak tzv. „daňové prázdniny“, což znamená, tj. když se společnost dostane do ztráty, může si následujících pět let „zápornou“ daň odepsat z částky, kterou má zaplatit na daních v těchto pěti letech. Pro výpočet cash-flow, neboli hotovostního toku se v přímé metodě, kterou jsem použil, počítá pouze s příjmy a výdaji. Nepřímá metoda je založena na úpravě čistého zisku o nepeněžní operace, tedy se přičtou nevýdajové náklady a odečtou nepřijmové výnosy a dále závisí na změnách zásob, krátkodobých závazků a pohledávek.

$$\mathbf{CF = P\check{r}ijmy_k - \dot{U}mor - \dot{U}rok - N_{provoz} - Da\check{n}(19\%) } \quad (33)$$

$$\mathbf{CF = 111\,129\,091 - 16\,129\,974 - 9\,000\,000 - 6\,505\,205 - 0}$$

$$CF = 79\,493\,912 \quad (\text{Kč})$$

Cash-flow (CF), po výpočtu přímou metodou, vychází na hodnotu bezmála 80 milionů Kč, tato hodnota je pro první rok provozu MVE, tudíž je daň rovna nule. Od 6. roku provozu elektrárny se již daň projeví [27].

3.6 Čistá současná hodnota (ČSH, NPV)

Dalším krokem je výpočet NPV (Net present value), což je čistá současná hodnota (ČSH) investice, využívající diskont neboli cenu ušlé příležitosti. Diskont je pro každého investora jiný, záleží mimo jiné na riziku investice a zhodnocení financí v jiném, alternativním projektu. V mém případě jsem zvolil hodnotu 6,3 %, kterou mi poradil docent Jiří Vašíček, jakožto odborník na ekonomické výpočty v energetice. NPV se vypočítá pomocí součtu všech diskontovaných CF [27].

$$NPV = \sum_{t=-2}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (34)$$

Čistou současnou hodnotu se snažíme maximalizovat, toho lze docílit pouze vhodným rozložením CF, respektive tím, že se co nejvíc peněz navrátí, co nejdřív, protože diskont nebude mít tak velký vliv. Druhým způsobem je snížit hodnotu diskontu. Vypočtené NPV je v příloženém Excel souboru, zde uvedu pouze vypočtenou hodnotu pro období 30 let provozu.

$$NPV_{30} = 814\,783\,931 \quad (\text{Kč})$$

Hodnota NPV po 30 letech provozu vychází na částku převyšující 814 milionů Kč. Tato částka určuje, zda se tato investice vyplatí nebo ne. NPV musí být kladné, čím větší hodnota, tím lépe – bude větší zisk. V některých případech může NPV vyjít nulové, v takovém případě, se jedná o stejně výhodnou investici, jako je investice ušlé příležitosti (opportunity cost). V tom případě je rozhodnutí na investorovi, jaký projekt se

hodí více do jeho portfolia. V případě vzájemně vylučujících se investic se vybere ta, která má nejvyšší NPV, tedy má největší zisk.

3.7 Vnitřní výnosové procento (IRR)

Další rozhodovací metodou je vnitřní výnosové procento (Internal rate of return). Je to kritérium, které zanedbává velikost investice a CF, pouze řekne, jaký bude výdělek v procentech při NPV rovno nule. Tudíž se nehodí pro porovnávání investic o různých částkách. IRR také nemusí vůbec existovat nebo se může počítat složitě, čím více je změn znamének v CF, tím víc je hodnot IRR. Z tohoto poznatku také vyplývá třetí nevýhoda a tou je nejednoznačnost.

$$\sum_{t=-2}^T CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} = 0 \quad (35)$$

$$IRR = 15,814 \quad (\%)$$

V mém případě je IRR pouze jedno a dle výpočtu pomocí funkce v Excelu je tato hodnota vyšší než je diskont, tudíž toto kritérium říká, že je investice výdělečná. Neříká, však kolik vydělá, ani kdy se investice navrátí.

3.8 Doba návratnosti

Pro zjištění, kdy se investice navrátí, se počítá doba návratnosti, rozlišují se dva typy návratnosti a to prostá a reálná. Reálná doba návratnosti se počítá z kumulovaného diskontovaného CF. Doba návratnosti bude rovna roku, kdy se poprvé kumulovaný diskontovaný CF stane kladným. Nevýhodou doby návratnosti je nejednoznačnost, nebere v potaz, co se stane po době návratnosti, ani časovou cenu peněz. Je vhodná pouze pro investice stejné hodnoty. Jedná se spíše o orientační údaj.

$$T_{Real} = 8 \quad (\text{roky})$$

V mém případě se investice navrátí po 8 letech od začátku provozu MVE. Tato hodnota je vzhledem k životnosti elektrárny akceptovatelná.

3.9 Návratnost investice (ROI)

Poslední metoda, kterou jsem využil při posuzování ekonomické výhodnosti projektu je ROI, tedy návratnost investice (Return on investment). Tak jako všechna výše uvedená kritéria, kromě doby návratnosti, je snaha ROI maximalizovat. Vypočítá se na základě kumulovaného CF, doby provozu a celkové investice. Problém je opět velikost, protože se udává v procentech, tudíž je vhodné pouze pro stejně velké investice, nevýhodou je i to, že nezohledňuje časovou cenu peněz. Naopak je to velmi jednoduchá metoda.

$$ROI = \frac{\frac{\sum_{t=-2}^T CF_t}{T}}{Investice} \quad (36)$$

$$ROI = \frac{\frac{2\,849\,531\,250}{33}}{1\,001\,150\,000} \cdot 100 = 8,625 \quad (\%)$$

Zrekapitulované údaje jsou v *tabulce č. 11*, která ukazuje celkový pohled na projekt MVE z ekonomického hlediska.

S dotací						
Investice	NPV ₃₀	IRR	ROI	T _{Real}	NPV _T	E _{netto}
[Kč]	[Kč]	[%]	[%]	[Roky]	[Kč]	[kWh]
1 001 150 000	814 783 931	15.81	8.625	8	17 170 582	31 733 159
Bez dotace						
Investice	NPV ₃₀	IRR	ROI	T _{Real}	NPV _T	E _{netto}
[Kč]	[Kč]	[%]	[%]	[Roky]	[Kč]	[kWh]
1 001 150 000	564 783 931	11.38	8.66	14	30 988 264	31 733 159

Tabulka 11 Shrnutí všech rozhodovacích metod.

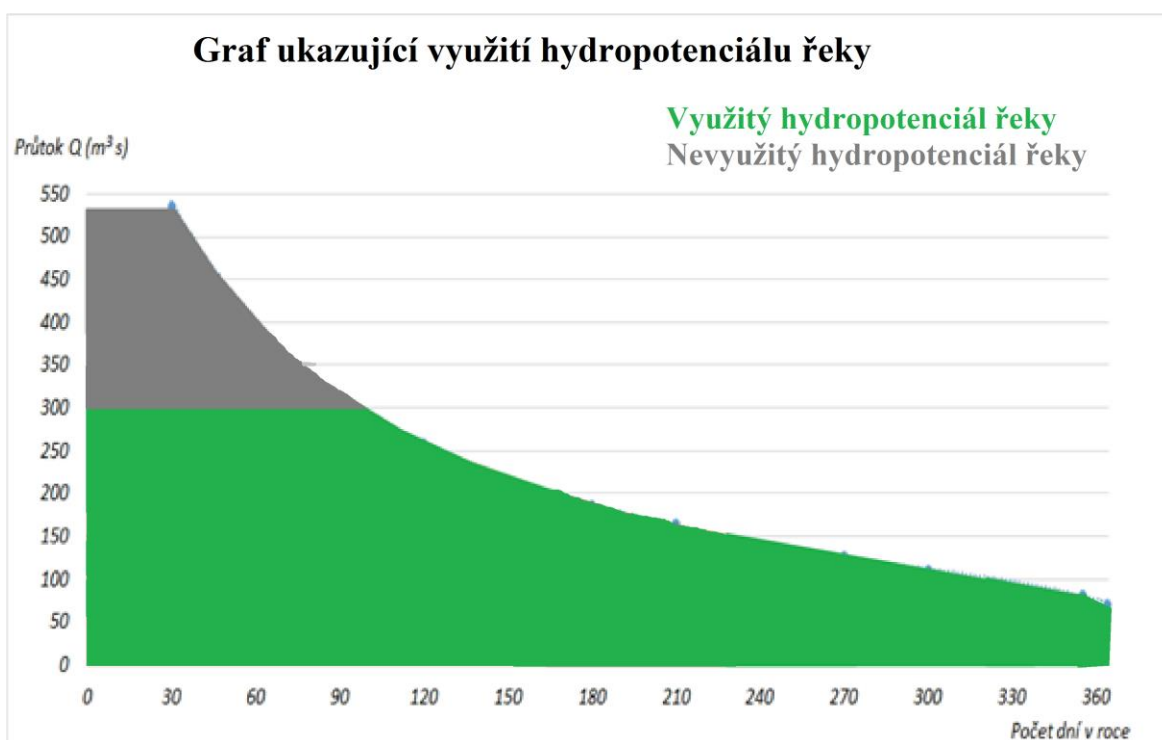
Projekt je z pohledu financí výdělečný a při diskontu 6,3 % je tato investice vhodná a převyšuje jinou investici o této ceně ušlé příležitosti o bezmála 815 milionů Kč za 30 let.

Životnost MVE se ale bude pohybovat na vyšší hranici než je 30 let, předpokládám okolo 40 – 50 let. Je však téměř jisté, že bude potřeba méně nebo více rozsáhlá rekonstrukce po 30 letech provozu. To, zda bude elektrárna v provozu i poté, je pouze na investorovi. V případě, že se rozhodne podnikatelskou činnost ukončit, nejspíš prodá pozemek, který bude mít větší hodnotu, než ji má nyní. Tuto částku jsem vypočítal z pořizovací ceny a navýšil ji pouze o inflaci. Následně jsem ji v posledním roce připočetl jako příjem.

Jelikož provozovatel MVE dostal dotaci ve výši 250 milionů Kč, udělal jsem výpočet všech rozhodovacích kritérií i pro případ bez dotace. Samozřejmě v tomto případě se všechna kritéria zhorší, stále však je projekt velmi výhodný [27].

3.10 Projekt B

Na základě zjištěných dat je využito dvou turbín o stejných hlnostech $150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Toto řešení dle mého názoru není ideální, neboť nevyužije v takové míře průtok nad Q_{90} , tedy průtok o hodnotě vyšší než $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (viz graf na obrázku č. 10). Výhodou však může být nižší pořizovací cena technologie, zda tento rozdíl bude finančně výhodný, se dá jen polemizovat.



Obrázek 10 Využití hydropotenciálu pro hlnost $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Z grafu výše lze vypočítat, jak velký hydropotenciál řeky je využit. Využití jednotlivých turbín je znázorněno v následující tabulce 12.

1. Turbína													
Účinnost	[-]	0.820	0.890	0.890	0.912	0.931	0.933	0.936	0.935	0.930	0.934	0.939	0.939
Průtok	[m ³ s ⁻¹]	150	150	150	127	99	91	80	74	62	0	0	0
Spád	[m]	1.47	1.95	2.22	2.4	2.49	2.51	2.62	2.66	2.73	2.83	2.94	3.05
2. Turbína													
Účinnost	[-]	0.820	0.890	0.890	0.914	0.931	0.933	0.936	0.935	0.925	0.934	0.939	0.937
Průtok	[m ³ s ⁻¹]	150	150	150	128	98	92	81	73	61	108	78.8	67.7
Spád	[m]	1.47	1.95	2.22	2.4	2.49	2.51	2.62	2.66	2.73	2.83	2.94	3.05

Tabulka 12 Určení účinnosti pro daný spád a průtok pro turbíny 2x 150 m³s⁻¹.

Z tabulky č. 12 je patrné, že nejvhodnější rozdělení průtoků je 1:1, tedy oběma turbínami teče přibližně stejné množství vody. V takovém případě, bude účinnost turbín maximální.

Výkony MVE při využití dvou turbín o celkové hltnosti 300 m³s⁻¹ se budou počítat úplně stejně, jako v prvním návrhu.

Číslo	Průtok	Spád	Průtok	Celková účinnost	Výkon
		[m]	[m ³ s ⁻¹]	[-]	[kW]
1					
1.1	Q _{30d}	1.47	300	0.737	3188
1.2	Q _{78d}	1.95	300	0.800	4591
1.3	Q _{90d}	2.22	300	0.800	5226
1.4	Q _{120d}	2.4	255	0.821	4927
1.5	Q _{170d}	2.49	197	0.837	4027
1.6	Q _{180d}	2.51	183	0.838	3777
1.7	Q _{210d}	2.62	161	0.841	3479
1.8	Q _{230d}	2.66	147	0.840	3224
1.9	Q _{270d}	2.73	123	0.834	2746
1.10	Q _{300d}	2.83	108	0.839	2517
1.11	Q _{355d}	2.94	78.8	0.844	1917
1.12	Q _{364d}	3.05	67.7	0.839	1700

Tabulka 13 Celková účinnost MVE při daném spádu a průtoku a její výkon v tomto stavu.

Z tabulky č. 13 vyplývá, že nejvyšší výkon MVE bude mít při 90denním průtoku, což je způsobené vyšším spádem a lepší účinností turbíny než při spádu odpovídající 78dennímu, respektive 30dennímu průtoku. Těmto hodnotám odpovídají následující hodnoty vyrobené elektřiny.

Číslo	Průtok	Výkon	Počet provozních hodin	Vyrobená elektřina za rok
		[kW]	[hodiny]	[kWh]
1	Brutto	-	8 736	29 773 511
1.1	Q _{30d}	3 188	720	2 295 685
1.2	Q _{78d}	4 591	1 152	5 288 418
1.3	Q _{90d}	5 226	288	1 505 165
1.4	Q _{120d}	4 927	720	3 588 902
1.5	Q _{170d}	4 027	1 200	4 905 550
1.6	Q _{180d}	3 777	240	921 243
1.7	Q _{210d}	3 479	720	2 551 813
1.8	Q _{230d}	3 224	480	1 578 895
1.9	Q _{270d}	2 746	960	2 700 510
1.10	Q _{300d}	2 517	720	1 862 586
1.11	Q _{355d}	1 917	1 320	2 626 856
1.12	Q _{364d}	1 700	216	428 479
2	Netto	-	8 736	29 530 559
		% z Brutto elektřiny		Elektřina potřebná na samotný provoz MVE
3	Vlastní spotřeba	0.816		242 952

Tabulka 14 Vyrobená elektřina a vlastní spotřeba MVE pro variantu B.

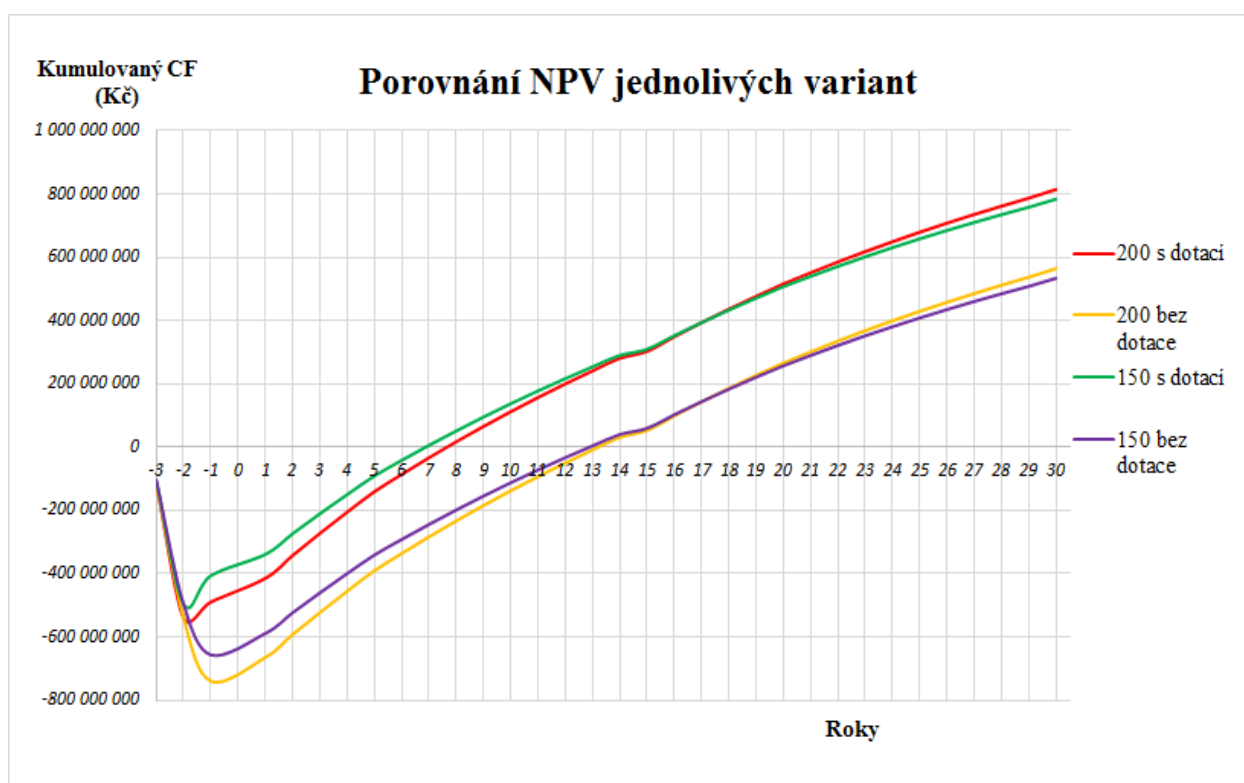
V tabulce č. 14 je znázorněna brutto a netto výroba, netto výroba je celková elektřina, která se prodá distributorovi, která je v tomto případě nižší než při mém návrhu, což je způsobené menší celkovou hlností.

Z ekonomického hlediska se jedná o stejné výpočty, a proto zde uvedu pouze tabulku shrnující všechny ekonomické ukazatele, které jsem počítal i v prvním řešení.

S dotací						
Investice	NPV ₃₀	IRR	ROI	T _{Real}	NPV _T	E _{netto}
[Kč]	[Kč]	[%]	[%]	[Roky]	[Kč]	[kWh]
921 150 000	784 107 116	16.80	8.75	7	5 850 931	29 530 559
Bez dotace						
Investice	NPV ₃₀	IRR	ROI	T _{Real}	NPV _T	E _{netto}
[Kč]	[Kč]	[%]	[%]	[Roky]	[Kč]	[kWh]
921 150 000	534 107 116	11.62	8.72	13	4 289 097	29 530 559

Tabulka 15 Shrnutí všech rozhodovacích metod pro variantu B.

3.11 Porovnání variant



Obrázek 11 Porovnání obou řešení pomocí NPV.

Na tomto obrázku č. 11 je vidět porovnání obou variant návrhu. Z tohoto grafu vyplývá, že na začátku je nutné investovat více peněz do mé varianty, avšak okolo 15. roku provozu se projekt stává výhodnějším a také na konci uvažované životnosti se můj návrh jeví jako výhodnější. Nevýhodou samozřejmě je, že na začátku je nutná větší investice. V případě, kdy se neuvažuje poskytnutí dotace, je jasně vidět, že musí investor vynaložit

více vlastních financí a NPV se sníží o výši dotace. Z tohoto grafu je vidět také diskontovaná doba návratnosti, která je pro mou variantu 8 let při počítání dotace a 14 let bez dotace.

Pro lepší přehlednost zde uvádím tabulku, která zohledňuje všechny zjištěné ekonomické kritéria pro obě varianty návrhu.

Projekt A - max hltnost 400						
S dotací						
Investice	NPV₃₀	IRR	ROI	T_{Real}	NPV_T	E_{netto}
<i>[Kč]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[Roky]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[kWh]</i>
1 001 150 000	814 783 931	15.81	8.63	8	17 170 582	31 733 159
Bez dotace						
Investice	NPV₃₀	IRR	ROI	T_{Real}	NPV_T	E_{netto}
<i>[Kč]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[Roky]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[kWh]</i>
1 001 150 000	564 783 931	11.38	7.87	14	30 988 264	31 733 159
Projekt B - max hltnost 300						
S dotací						
Investice	NPV₃₀	IRR	ROI	T_{Real}	NPV_T	E_{netto}
<i>[Kč]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[Roky]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[kWh]</i>
921 150 000	784 107 116	16.80	8.75	7	5 850 931	29 530 559
Bez dotace						
Investice	NPV₃₀	IRR	ROI	T_{Real}	NPV_T	E_{netto}
<i>[Kč]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[%]</i>	<i>[%]</i>	<i>[Roky]</i>	<i>[Kč]</i>	<i>[kWh]</i>
921 150 000	534 107 116	11.62	7.93	13	4 289 097	29 530 559

Tabulka 16 Porovnání všech vypočtených ekonomických ukazatelů.

Z tabulky č. 16 lze vyčíst, že IRR kritérium není pro výběr investice vhodné, protože říká, že nejvhodnější je investovat do projektu B, i přesto, že projekt A má vyšší čistou současnou hodnotu. Při pohledu na NPV je tedy jasně vidět, že nejvýhodnější je projekt A s dotací. ROI kritérium je taktéž nevhodné vzhledem k tomu, že se jedná o dvě různě velké investice. Jeho nevýhodou je také to, že nepočítá s časovou cenou peněz.

Doba návratnosti je pouze orientační údaj, podle kterého se nelze řídit, stejně tak NPV v době návratnosti je pouze informativní údaj a je nemá žádnou vypovídající hodnotu. Dalo by se využít v případě, že se počítá s tím, že se hned v prvním roce, kdy bude NPV kladné, ukončí provoz, tudíž by se hledala nejvyšší hodnota NPV_T.

Závěr

V první části bakalářské práce jsem se věnoval teoretickým poznatkům z oblasti MVE a zběžný popis problematiky MVE. Zejména jsem zaměřil na elektrozařízení a ostatní technologická zařízení elektrárny.

V druhé části jsem se rozhodl pro tvorbu elektro návrhu malé vodní elektrárny a to včetně jednopólového schéma, které jsem udělal ve třech variantách a vybral nejvhodnější dle vlastního posouzení. Pro toto řešení jsem následně vypracoval výpočet zkratových proudů pro pět různých míst zkratu a vypočítal minimální průřez vodiče na výstupu z MVE do distribuční soustavy. Tento průřez musí být minimálně 234 mm^2 a z tohoto důvodu jsem zvolil kabel 3x 22-AXEKVCEY240 o celkové délce 3 km. Tento kabel má výhodu v tom, že je odolný vůči podélnému šíření vlhkosti a má dvojitý plášť. Výpočet zkratových proudů jsem využil i při volbě výkonových vypínačů, které jsem zvolil vakuové pro jmenovitý proud 630 A a jmenovité napětí 22 kV s maximálním nárazovým zkratovým proudem 50 kA.

V poslední části práce jsem se zabýval ekonomickým zhodnocením celého projektu. Zvolil jsem dvě různá řešení volby hltností turbín, první varianta má hltnost $2 \times 200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a druhá $2 \times 150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. První řešení má větší využití hydropotenciálu řeky, a tedy i větší dosažitelný výkon a celkovou vyrobenou elektřinu, a to přibližně o 2 GWh. Na druhou stranu ale bude mít vyšší pořizovací náklady. Jelikož toto řešení vyrobí více elektrické energie, bude mít i větší roční tržby z prodeje. Nejprve jsem ji ale musel snížit o vlastní spotřebu.

Při samotném ekonomickém zhodnocení jsem zvažoval projekt s dotací, ale i bez ní. Jelikož se dotace inkasuje rok před zahájením provozu, tak se NPV změní pouze o tuto částku. Vliv časové ceny peněz na dotaci se neprojeví. Čistá současná hodnota prvního projektu při využití dotace a při uvažovaném diskontu 6,3 %, je bezmála 815 milionů Kč, což znamená, že alternativní investici převyší o tuto částku. Pro druhý projekt vyšlo NPV bezmála na 785 milionů Kč. Vypočítal jsem také vnitřní výnosové procento investice, které udává, při jakém diskontu bude mít investice nulové NPV. Toto kritérium je však nepřesné, a v tomto případě nevybírám shodně jako NPV, protože říká, že nejlepší je druhá

varianta. Je logické, že obě varianty bez dotace budou méně výhodné, jsou zde spíše pro představu, jak by NPV vypadalo, kdyby dotace nebyla poskytnuta. Diskontovaná doba návratnosti investice je pro oba projekty téměř stejná. Projekt druhý bude dříve splacený a to o jeden rok, to je způsobeno nižší počáteční investicí.

Závěrem práce lze říci, že výhodnější je projekt první, tedy využití dvou turbín o celkové hltnosti $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Použitá literatura

- [1] GABRIEL, Pavel. *Malé vodní elektrárny*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 1998, 321 s. ISBN 80-010-1812-1.
- [2] LESCHINGEROVÁ, Marie. Norsko vyrábí 99 % elektřiny ve vodních elektrárnách. In: *Nazeleno.cz: chytrá řešení pro každého* [online]. [Brno: xBizon, 12.10.2011 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/vodni-energie/norsko-vyrabi-99-elektřiny-ve-vodnich-elektřarnach.aspx>
- [3] LAIKA, Viktor. Vodní dílo derivační. [online]. [cit. 2014-10-25]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/vodnidilo/voddilo-derivacni.htm>
- [4] DUŠIČKA, Peter, Pavel GABRIEL, Tomáš HODÁK, František ČIHÁK a Peter ŠULEK. *Malé vodní elektrárny*. 1. vyd. Bratislava: Jaga, 2003, 175 s. ISBN 80-889-0545-1.
- [5] KOLEKTIV AUTORŮ. *Obnovitelné zdroje energie: a možnosti jejich uplatnění v ČR* [online]. Praha: Skupina ČEZ, 2006 [cit. 2014-10-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [6] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Cenové rozhodnutí ERÚ. In: [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462894/CR_POZE_04_2013.pdf/fcc8b49f-c021-475a-b3b7-a375e0074b84
- [7] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Podporované obnovitelné zdroje energie. [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/poze>
- [8] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Malé vodní elektrárny. [online]. [cit. 2014-10-28]. Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/male_vodni_elektrarny
- [9] VOŽENÍLEK, Petr, Vladimír NOVOTNÝ a Pavel MINDL. *Elektromechanické měniče*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 219 s. ISBN 80-010-3137-3.

- [10] HADLEY, Franklin. Goodbye wires!. [online]. 2007-6-7 [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: <http://newsoffice.mit.edu/2007/wireless-0607>
- [11] WEI, Xuezhe, Zhenshi WANG a Haifeng DAI. A Critical Review of Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances. In: *Energies* [online]. 2014, s. 4316-4341. ISSN 1996-1073. DOI: 10.3390/en7074316. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1073/7/7/4316/>
- [12] Regulátory turbín. *Invelt group* [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: <http://www.invelt.cz/cz/elektro/program/4>
- [13] SOCHA, Přemysl. Části MVE. *Vodní kola* - [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: http://www.vodnikola.cz/casti_mve.html
- [14] Zkratky v ES. In: KATEDRA ELEKTROENERGETIKY, ČVUT FEL. [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/attach/EN2/EN2_pr07_zkrat2.pdf
- [15] VOKÁL, Josef. Výpočty zkratů v technické praxi. In: [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: https://www.powerwiki.cz/attach/PrilohyVyuka/Vok_%20zkrat2_%20prednaska_textFEL.pdf
- [16] Výpočet účinků zkratových proudů. In: [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: https://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/zkrat/dokumenty/V%FDpo%E8et%20zkratov%FDch%20proud%F9%20-%20opora.pdf
- [17] Změna počtu MVE v období 2002-2014. In: ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. [online]. [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/463106/VE10_14_9.pdf/f10720fb-eaf7-45b3-982a-a2f2b15378f5
- [18] Syndikovaný úvěr. „*Komerční banka* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: http://trading.kb.cz/ibweb/pages/cs/ib_presentation/DluhoveTrhy/Syndikovane_uvery.jsp
- [19] Energie udělující hybnost. *Energieia o.p.s.* [online]. Energieia o.p.s. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.energieia.cz/page/cz/20/energie-udelujici-hybnost/>

- [20] Věstník 5/98 - Metodický pokyn odboru ochrany vod MŽP ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. KINKOR, Jaroslav. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/\\$file/metod.html](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/BB978B5BAEDF46C0C1256FC8003F1EB8/$file/metod.html)
- [21] ZÁKONY PRO LIDI. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/>
- [22] Průběh procesu EIA. *Online učebnice* [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z: <http://ucebnice-eia.zf.mendelu.cz/prubeh-procesu-eia>
- [23] Výroční zpráva 2013. In: *Povodí Labe* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.pla.cz/planet/public/dokumenty/VZ/2013/vzpla2013cz.pdf>
- [24] Zdymadlo Štětí - Račice. In: *Povodí Labe* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.pla.cz/planet/public/vodnidila/zdl_steti.pdf
- [25] ZPRŮCHODŇOVÁNÍ MIGRAČNÍCH BARIÉR RYBÍMI PŘECHODY. In: *Portál eAGRI - resortní portál Ministerstva zemědělství* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/104412/TNV_75_2321.pdf
- [26] Silové kabely s izolací ze zesíleného polyetyleny. In: *Kabely, vodiče - nkt cables* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: http://www.nktcables.com/~media/Files/NktCables/Products/CZ/MV%20cables%20and%20accessories/MV_new%20datasheets/22-AXEKVCEY.pdf
- [27] KISLINGEROVÁ, Eva. *Manažerské finance*. 2. přeprac. a rozš. vyd. Praha: C. H. Beck, 2007, xl, 745 s. Beckova edice ekonomie. ISBN 978-80-7179-903-0.
- [28] *Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 4* [online]. In: Provozovatelé distribučních soustav [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2014/ppds-2014-priloha-4.pdf>
- [29] ENERGEIA O.P.S. *Projektová dokumentace MVE*. 2013.

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 ZAPOJENÍ A ELETRICKÉHO NÁVRHU.....	27
OBRÁZEK 2 ZAPOJENÍ B ELETRICKÉHO NÁVRHU.....	28
OBRÁZEK 3 ZAPOJENÍ C ELETRICKÉHO NÁVRHU.....	29
OBRÁZEK 4 POROVNÁNÍ VELIKOSTI ZKRATOVÉHO PROUDU PRO RŮZNÉ TYPY ZKRATU V MÍSTĚ VZDÁLENÉHO ZKRATU [14].....	30
OBRÁZEK 5 PRŮBĚH ZKRATOVÝCH PROUDŮ (POUZE STŘÍDAVÁ SLOŽKA) PŘI ELEKTRICKY BLÍZKÉM ZKRATU [15].....	31
OBRÁZEK 6 ČÁRA PŘEKROČENÍ DENNÍCH PRŮTOKŮ A ZMĚNY SPÁDU VYCHÁZEJÍCÍ Z TABULKY 7.....	45
OBRÁZEK 7 GRAF VYUŽITELNÉHO HYDROPOTENCIÁLU ŘEKY LABE VE MĚSTĚ ŠTĚTÍ.	46
OBRÁZEK 8 GRAF VYUŽITÍ HYDROPOTENCIÁLU PRO HLTNOST $400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	47
OBRÁZEK 9 GRAF VYUŽITÍ HYDROPOTENCIÁLU PRO NEREGULOVATELNÉ TURBÍNY O HLTNOSTI $2 \times 200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	48
OBRÁZEK 10 VYUŽITÍ HYDROPOTENCIÁLU PRO HLTNOST $300 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	58
OBRÁZEK 11 POROVNÁNÍ OBOU ŘEŠENÍ POMOCÍ NPV.	61

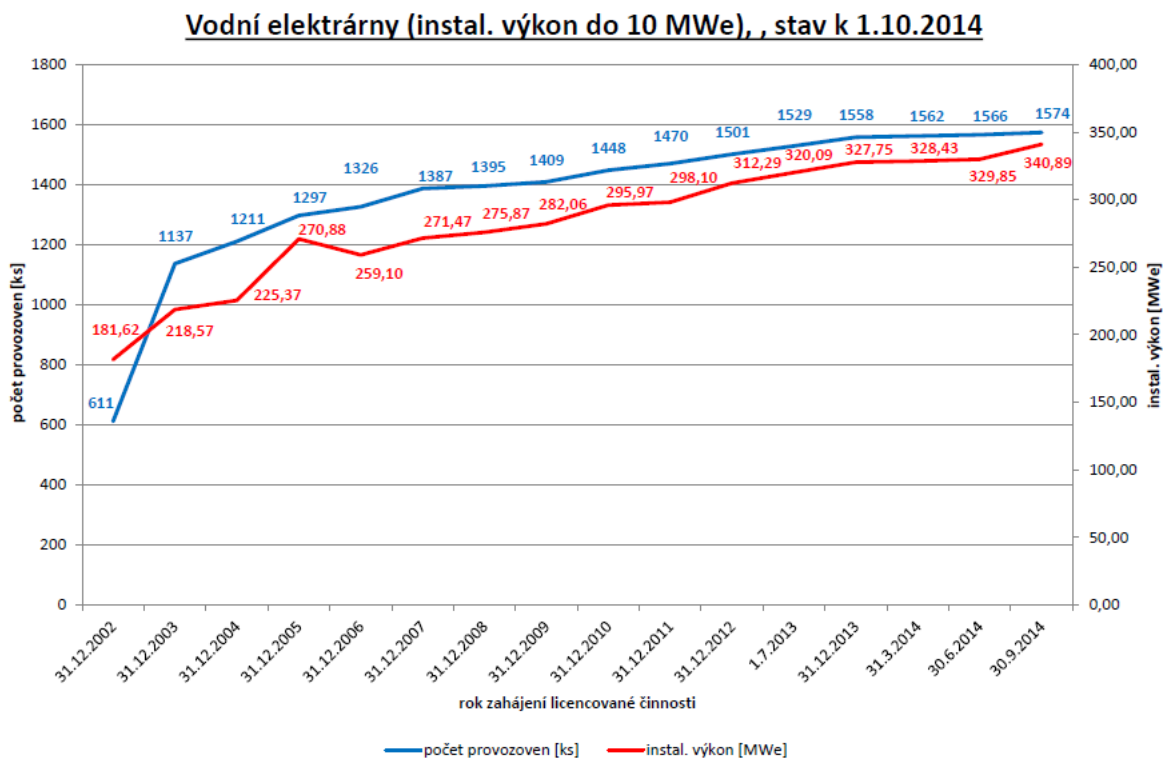
Seznam tabulek

TABULKA 1 JMENOVITÉ HODNOTY JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ.	32
TABULKA 2 VZTAŽNÉ HODNOTY.....	32
TABULKA 3 VYPOČTENÉ POČÁTEČNÍ RÁZOVÉ ZKRATOVÉ VÝKONY, PROUDY A OTEPLOVACÍ PROUD.	36
TABULKA 4 ZVOLENÉ VÝKONOVÉ VYPÍNAČE A JEJICH PARAMETRY.....	39
TABULKA 5 EMISE VZTAŽENÉ NA VYROBENOU MWH V MVE VE ŠTĚTÍ [19].	40
TABULKA 6 URČENÍ MZP PODLE DENNÍCH PRŮTOKŮ - POKYN MŽP [20].....	41
TABULKA 7 M-DENNÍ PRŮTOKY A SPÁDY V OBLASTI VÝSTAVBY MVE.....	45
TABULKA 8 URČENÍ ÚČINNOSTI PRO DANÝ SPÁD A PRŮTOK PRO TURBÍNY $2 \times 200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	49
TABULKA 9 CELKOVÁ ÚČINNOST MVE PŘI DANÉM SPÁDU A PRŮTOKU A JEJÍ VÝKON V TOMTO STAVU.....	50
TABULKA 10 VYROBENÁ ELEKTŘINA A VLASTNÍ SPOTŘEBA MVE.....	52
TABULKA 11 SHRNUTÍ VŠECH ROZHODOVACÍCH METOD.....	57
TABULKA 12 URČENÍ ÚČINNOSTI PRO DANÝ SPÁD A PRŮTOK PRO TURBÍNY $2 \times 150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	59
TABULKA 13 CELKOVÁ ÚČINNOST MVE PŘI DANÉM SPÁDU A PRŮTOKU A JEJÍ VÝKON V TOMTO STAVU.....	59
TABULKA 14 VYROBENÁ ELEKTŘINA A VLASTNÍ SPOTŘEBA MVE PRO VARIANTU B.	60
TABULKA 15 SHRNUTÍ VŠECH ROZHODOVACÍCH METOD PRO VARIANTU B.	61
TABULKA 16 POROVNÁNÍ VŠECH VYPOČTENÝCH EKONOMICKÝCH UKAZATELŮ.....	62

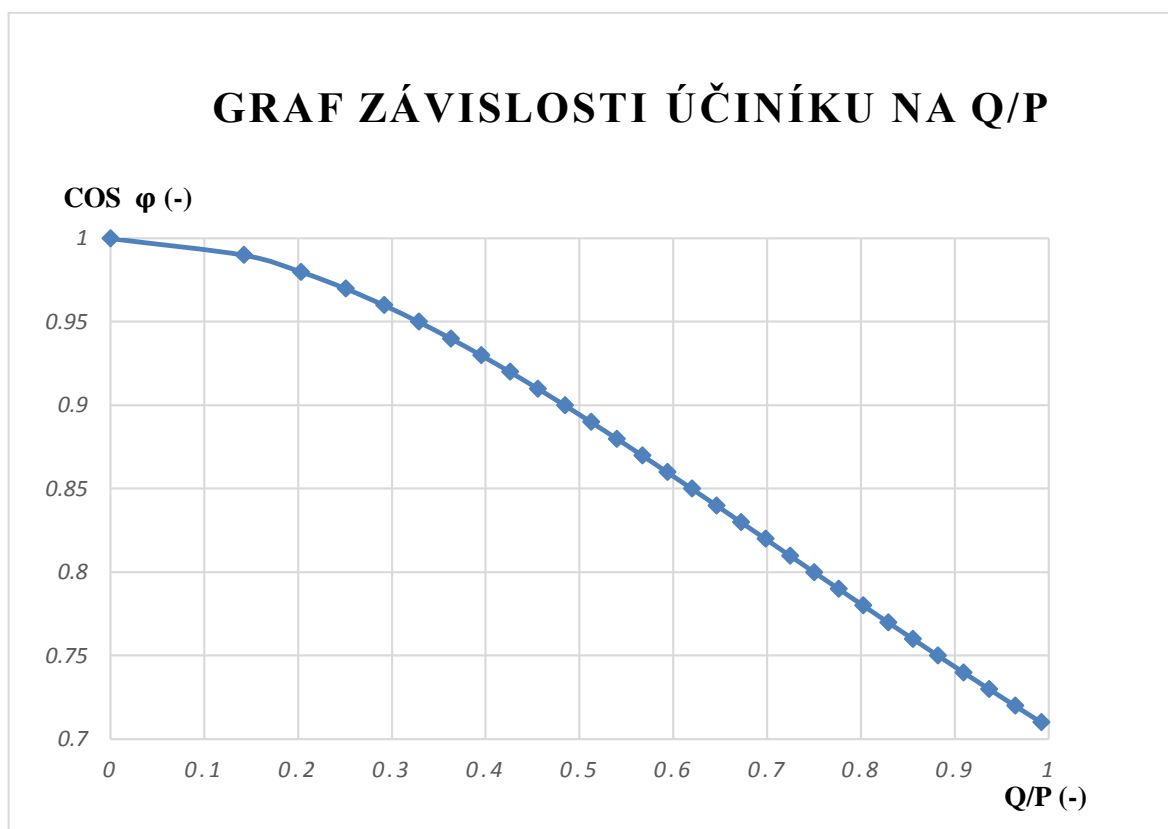
Seznam příloh

PŘÍLOHA 1 GRAF ZMĚNY POČTU MVE A JEJICH INSTALOVANÉHO VÝKONU ZA POSLEDNÍCH 12 LET [17].	70
PŘÍLOHA 2 GRAF ZOBRAZUJÍCÍ ZMĚNU ÚČINÍKU PŘI ZMĚNĚ POMĚRU Q/P.	71
PŘÍLOHA 3 URČENÍ Činitele k_e PRO VÝPOČET EKVIVALENTNÍHO OTEPLOVACÍHO PROUDU [14].	71
PŘÍLOHA 4 ZÁVISLOST NPV NA MĚNÍCÍM SE DISKONTU – CITLIVOSTNÍ ANALÝZA VARIANTY A.	72
PŘÍLOHA 5 ZÁVISLOST NPV NA MĚNÍCÍM SE DISKONTU – CITLIVOSTNÍ ANALÝZA VARIANTY B.	72
PŘÍLOHA 6 ČÁRA ÚČINNOSTI TURBÍNY PIT KAPLAN [29].	73
PŘÍLOHA 7 ŽÁDOST O UDĚLENÍ LICENCE PRO FYZICKÉ OSOBY, ČÁST 1.[6].	74
PŘÍLOHA 8 ŽÁDOST O UDĚLENÍ LICENCE PRO FYZICKÉ OSOBY, ČÁST 2. [6].	75
PŘÍLOHA 9 PŘÍKLAD PŘIPOJENÍ VÝROBNY Z NADZEMNÍHO VEDENÍ VN PŘÍPOJKOU VÝROBCE [28].	76
PŘÍLOHA 10 PŘEHLEDOVÉ SCHÉMA MĚŘENÍ [29].	77
PŘÍLOHA 11 JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA MVE [29].	78

Přílohy



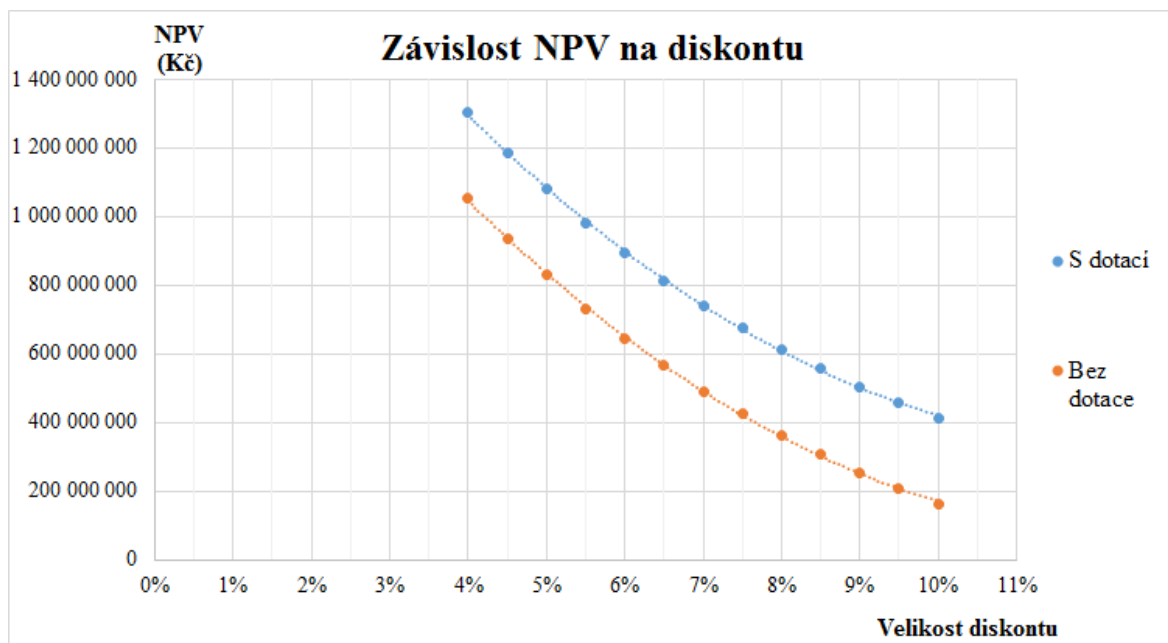
Příloha 1 Graf změny počtu MVE a jejich instalovaného výkonu za posledních 12 let [17].



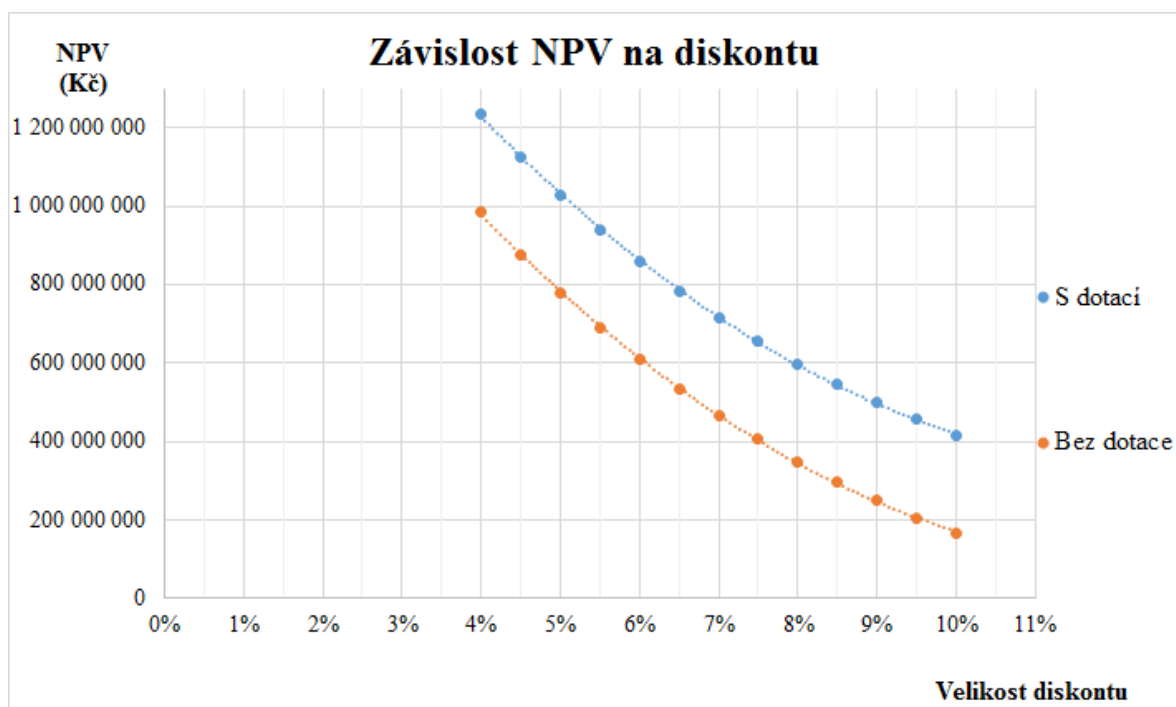
Příloha 2 Graf zobrazující změnu účinníku při změně poměru Q/P.

Doba trvání zkratu t_k (s)	Činitel k_e		
	Zkrat na svorkách alternátoru	Zkrat v soustavě	
		vv, vn	nn
pod 0,05	1,70	1,60	1,50
0,05 – 0,1	1,60	1,50	1,20
0,1 – 0,2	1,55	1,40	1,10
0,2 – 1,0	1,50	1,30	1,05
1,0 – 3,0	1,30	1,10	1,00
nad 3,0	1,15	1,00	1,00

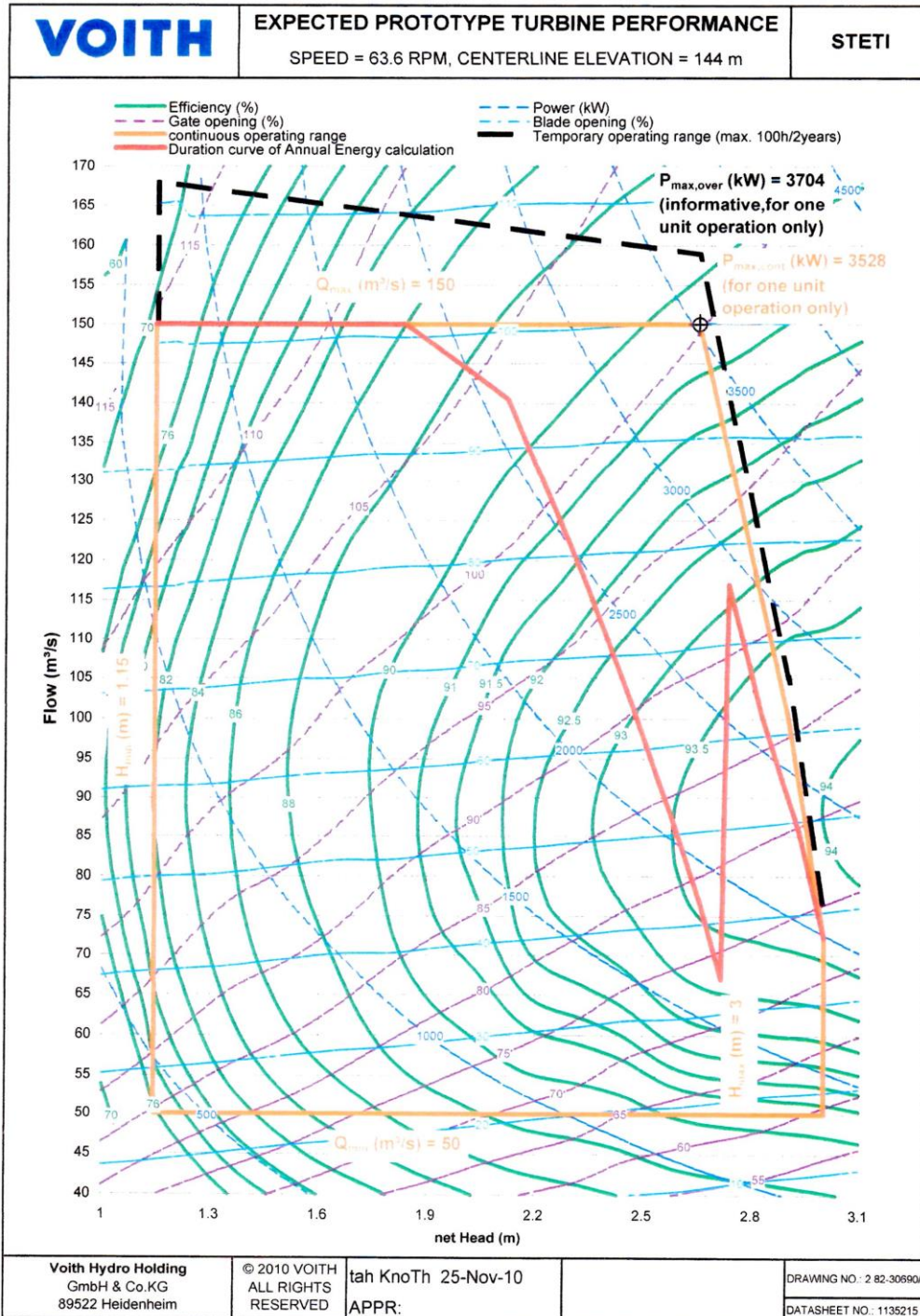
Příloha 3 Určení činitele k_e pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu [14].



Příloha 4 Závislost NPV na měnícím se diskontu – citlivostní analýza varianty A.



Příloha 5 Závislost NPV na měnícím se diskontu – citlivostní analýza varianty B.



Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG
89522 Heidenheim

© 2010 VOITH
ALL RIGHTS
RESERVED

tah KnoTh 25-Nov-10
APPR:

DRAWING NO.: 2.82-30690//
DATASHEET NO.: 1135215

2010-11-25 11:39

Příloha 6 Čára účinnosti turbíny PIT Kaplan [29].

Příloha č. 1 k vyhlášce č. 426/2005 Sb.

01 Identifikační číslo (bylo-li přiděleno)

02 Číslo žádosti (vyplní ERÚ)

03 Rodné číslo/datum narození (nebylo-li přiděleno RČ)

kolek
podle zákona
č. 634/2004 Sb.
(platba kolekem, jestliže
celková výše
správního poplatku
nepřevyšuje 5.000 Kč)

razítko ERÚ

A1

ŽÁDOST O UDĚLENÍ licence pro podnikání v energetických odvětvích pro fyzické osoby

Niže podepsaná osoba žádá podle § 7 zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, o udělení licence pro podnikání v energetických odvětvích:

ŽADATEL:

04 Titul před jménem

05 Příjmení

06 Jméno

07 Titul za jménem

08 Státní občanství

09 Obchodní firma, je-li žadatel zapsán v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku

10 Místo trvalého pobytu fyzické osoby

a) ulice

b) č. popisné

c) č. orientační

d) část obce

e) obec

f) PSČ

g) okres

h) kraj

i) stát

11 Místo podnikání (v souladu se zápisem v obchodním/živnostenském/jiném rejstříku, je-li žadatel zapsán)

a) ulice

b) č. popisné

c) č. orientační

d) část obce

e) obec

f) PSČ

g) okres

h) kraj

i) stát

Příloha 7 Žádost o udělení licence pro fyzické osoby, část 1.[6].

12 Adresa pro doručování (vyplňte v případě, že adresa pro doručování se liší od adresy místa trvalého pobytu fyzické osoby – bod 10)

a) ulice b) č. popisné c) č. orientační
 d) část obce
 e) obec f) PSČ
 g) okres h) kraj
 i) stát

13 Kontaktní údaje žadatele o licenci – fyzické osoby

a) telefon b) fax c) mobilní telefon
 d) e-mail

14 Předmět podnikání (druh licence)

výroba elektřiny distribuce elektřiny přenos elektřiny obchod s elektřinou činnosti operátora trhu
 výroba plynu distribuce plynu přeprava plynu obchod s plynem uskladňování plynu
 výroba tepelné energie rozvod tepelné energie

15 Datum zahájení licencované činnosti (nejdříve den vzniku oprávnění k licencované činnosti nebo den později)

den měsíc rok

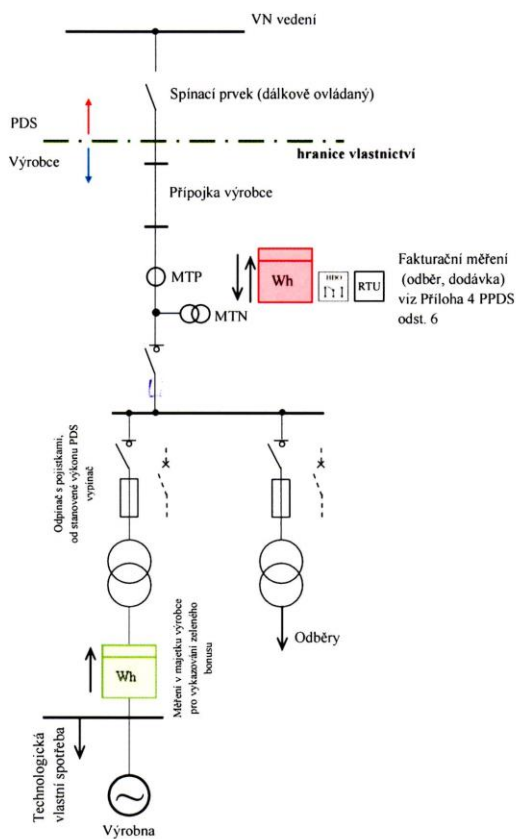
16 Doba, na kterou je o licenci žádáno (nejdéle 25 let nebo 5 let na obchod s elektřinou, na obchod s plynem)**Žadatel, příp. jiná osoba oprávněná jednat jménem žadatele**

Jméno Příjmení

Datum

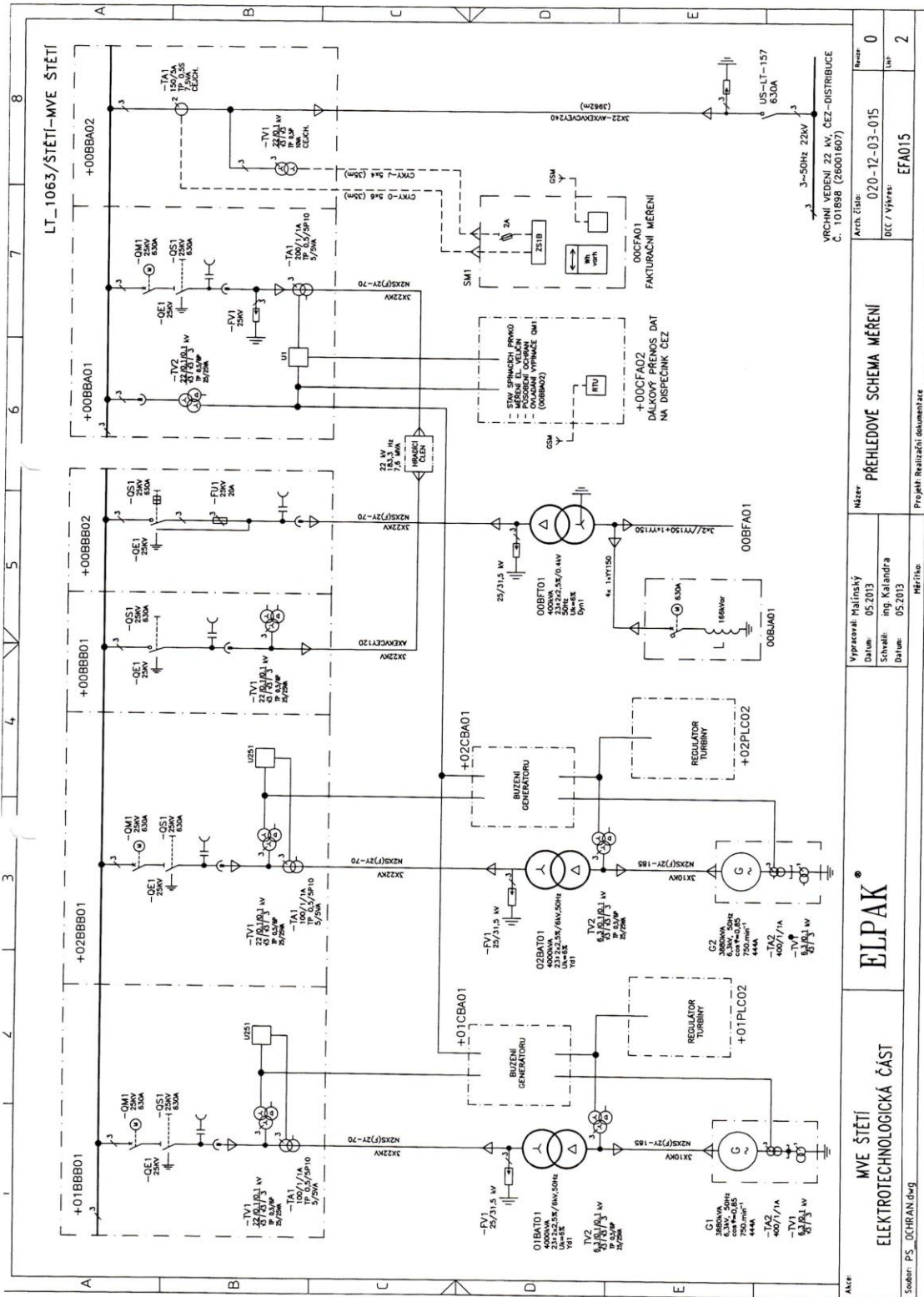
Podpis

13.2 PŘIPOJENÍ VÝROBNY Z NADZEMNÍHO VEDENÍ VN PŘÍPOJKOU VÝROBCE

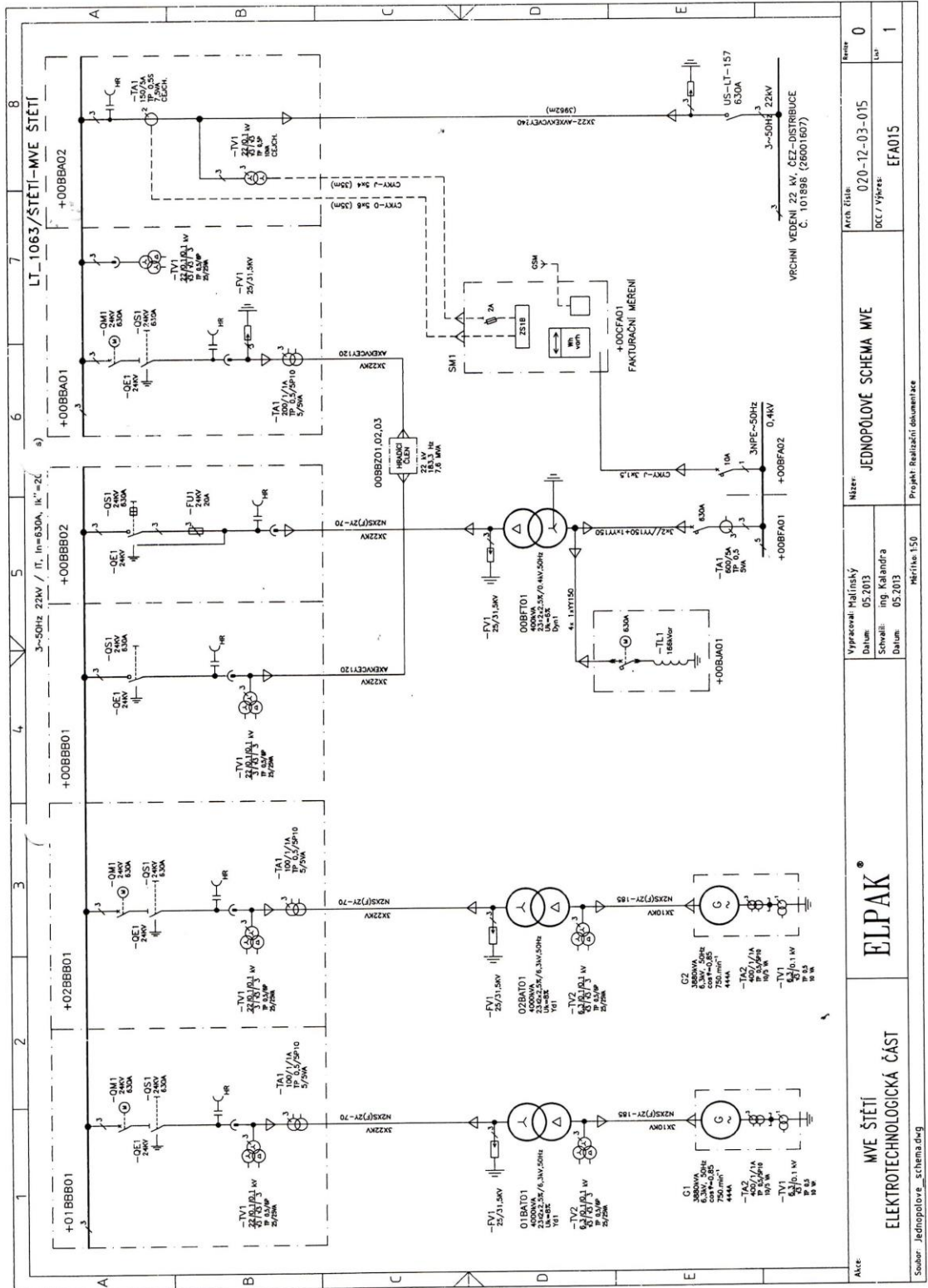


1. Při jednom transformátoru lze osadit i nepřímé měření na jeho sekundární straně.
2. Pro zelený bonus nemusí být samostatný transformátor pro odběr.
3. Pro delší přípojné vedení (nad ... km) budou dopočítávány ztráty na vedení.
4. Červeně označené prvky jsou zařízení v majetku PDS
5. RTU, HDO – při řízení výroby
6. Umístění fakturačního měření společně s přijímačem HDO v elektrické síti může být upraveno odlišně a to v návaznosti na přípojovací podmínky DS.
7. Vlastnictví RTU je upraveno přípojovacími podmínkami příslušného PDS

Příloha 9 Příklad připojení výroby z nadzemního vedení VN přípojkou výrobce [28].



Příloha 10 Přehledové schéma měření [29].



Acce:	MVE ŠTĚTÍ		ELEKTROTECHNOLOGICKÁ ČÁST		ELPAK®		JEDNOPOLOVÉ SCHEMA MVE		Arch. číslo: 020-12-03-015		Verze: 0	
Subor: Jednopolove_schema.dwg	MVE ŠTĚTÍ		ELEKTROTECHNOLOGICKÁ ČÁST		ELPAK®		JEDNOPOLOVÉ SCHEMA MVE		DCC / Vykres: EFA015		List: 1	
	Vypracoval: Halínský		Schválil: Ing. Kalandra		Měřítko: 1:50		Název: JEDNOPOLOVÉ SCHEMA MVE		Datum: 05.2013		Projekt Realizace dokumentace	
	Datum: 05.2013		Datum: 05.2013		Měřítko: 1:50		Název: JEDNOPOLOVÉ SCHEMA MVE		Datum: 05.2013		Projekt Realizace dokumentace	

Příloha 11 Jednopolové schéma MVE [29].