

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh podmínek pro připojení kogenerační jednotky
o výkon 1 MW do distribuční soustavy**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Tomáš PRACHAŘ**
Osobní číslo: **E15N0113P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Návrh podmínek pro připojení kogenerační jednotky
o výkonu 1MW do distribuční soustavy**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište postup procesu připojení kogenerační jednotky k DS včetně legislativních podmínek.
2. Popište připojovanou kogenerační jednotku, způsob provozu a využití vyrobeného tepla.
3. Proveďte výpočet vlivu připojované kogenerační jednotky na distribuční soustavu, pro výpočet použijte SW podporu E-vlivy.
4. Navrhněte souhrnné technické podmínky pro připojení kogenerační jednotky do distribuční soustavy.
5. Proveďte ekonomické zhodnocení celého projektu kogenerační jednotky včetně využití tepelné energie.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. www stránky, katalogy firem, ČSN IEC, další odbornou literaturu práce určí na první schůzce vedoucí práce.

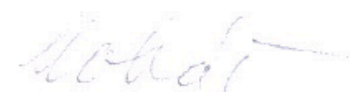
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2017


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




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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku připojování kogenerační výroby k distribuční soustavě na hladině VN. Zaobírá se legislativní, technickou i ekonomickou stránkou věci. Stanovuje podmínky pro konkrétní projekt kogenerační jednotky o výkonu 1 MW. Je zde proveden technický návrh připojení, simulace změny napětí v síti a ekonomická bilance projektu.

Klíčová slova

kogenerační jednotka, připojení, distribuční soustava, legislativní podmínky připojení, technické podmínky připojení, ekonomická bilance, technické řešení připojení

Abstract

This diploma thesis is focused on the issue of connecting the cogeneration plant to the distribution grid at the level of the high voltage. It deals with the legislative, technical and economic aspects of the matter. It sets the conditions for a specific project of a 1 MW cogeneration unit. There is a technical connection design, a simulation of the voltage changes in the grid and the economic balance of the project.

Key words

Cogeneration unit, connection, distribution system, legislative conditions of connection, technical connection conditions, economic balance, technical connection solution

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zbyňkovi Martínkovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Radkovi Burešovi za předání mnoho informací, především v technické oblasti. Poděkování si zaslouží také konzultant pan Ing. Zdeněk Bureš za nespočet odborných rad a mnoho ochotných konzultací. A nakonec bych rád poděkoval panu Karlovi Bendovi za obětavou spolupráci při tvorbě ekonomické části.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	1
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	2
1. POSTUP PŘIPOJENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY K DISTRIBUČNÍ SOUSTAVĚ 3	
1.1. VYHLÁŠKA Č. 16/2016 SB. O PODMÍNKÁCH PŘIPOJENÍ K ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVĚ ...	3
1.1.1. Podmínky připojení zařízení k elektrizační soustavě: §3, §4, §6, §7, §8 a §9	4
1.1.2. Podíl na oprávněných nákladech: §12.....	5
1.2. POSTUP PŘIPOJENÍ.....	6
2. TECHNICKÝ POPIS PŘIPOJOVANÉ VÝROBNY	7
2.1. TEDOM QUANTO D1200	8
2.1.1. Spalovací motor.....	8
2.1.2. Palivo	9
2.1.3. Elektrické parametry	9
2.1.4. Tepelné parametry.....	10
2.1.5. Vzduch, spaliny.....	11
2.1.6. Fyzické parametry.....	11
2.1.7. Řídící systém	11
2.1.8. Rozsah dodávky	12
2.2. STÁVAJÍCÍ BUDOVA VÝMĚNIKOVÉ STANICE	13
3. TECHNICKÉ PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ VÝROBNY DO DS	13
3.1. ZPŮSOB PŘIPOJENÍ K SÍTI	14
3.2. OCHRANY.....	16
3.3. ZPĚTNÉ VLIVY NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ	16
3.3.1. Změna napětí.....	17
3.3.2. Flickr	17
3.3.3. Změna napětí při spínání	17
3.3.4. Vyšší harmonické.....	17
3.3.5. Příspěvek výroby ke zkratovému proudu.....	17
3.3.6. Ovlivnění signálu HDO.....	18
3.4. NÁVRH HRADÍČÍHO ČLENU HDO	18
3.5. NÁVRH TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ	19
3.5.1. Přípojka VN.....	20
3.5.2. Trafostanice a rozvaděč VN.....	22
3.5.3. Primární obchodní měření	24
3.5.4. Stanoviště transformátoru.....	24
3.5.5. Dispečerské řízení	24
3.5.6. Síťová ochrana kogenerační výroby	25
3.5.7. Hradící člen HDO.....	25
3.5.8. Uzemnění transformační stanice	26
3.5.9. Vývodové jednopólové schéma výroby.....	26
3.6. ZÁVĚR KAPITOLY TECHNICKÉ PODMÍNKY PRO PŘIPOJENÍ	27
4. VÝPOČET VLIVU VÝROBNY NA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVU	28
4.1. PŘIPOJOVANÉ MÍSTO	28
4.2. PROGRAM E-VLIVY	31
4.2.1. Výpočet změny napětí při standardní napájecí konfiguraci sítě.....	36
4.2.2. Výpočet změny napětí při náhradní napájecí konfiguraci sítě	37

4.2.3.	Závěr.....	38
5.	EKONOMICKÁ BILANCE PROJEKTU	39
5.1.	VÝPOČET PROSTÉ NÁVRATNOSTI.....	40
5.1.1.	<i>Výpočet prosté návratnosti – krytí 20 % vlastních zdrojů</i>	<i>40</i>
5.1.2.	<i>Předběžný výpočet – krytí z 50 % vlastními zdroji.....</i>	<i>41</i>
5.1.3.	<i>Zanedbání zeleného bonusu</i>	<i>43</i>
5.1.4.	<i>Závěr předběžného výpočtu</i>	<i>44</i>
5.2.	DISKONTOVANÝ VÝPOČET	45
5.2.1.	<i>Kritérium NPV – Čistá současná hodnota.....</i>	<i>46</i>
5.2.2.	<i>Kritérium IRR – Vnitřní výnosové procento.....</i>	<i>46</i>
5.2.3.	<i>DSCR – Ukazatel míry krytí dluhové služby</i>	<i>47</i>
5.2.4.	<i>Výpočet NPV a IRR</i>	<i>48</i>
5.3.	ZÁVĚR FINANČNÍ BILANCE	51
	ZÁVĚR	53
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	54

Úvod

Účelem této práce bylo zjistit všechny nezbytnosti nutné k připojení kogenerační jednotky o výkonu 1 MW do distribuční soustavy na hladině VN. Navrhnout pak technické prostředky, které budou nutné pro správný chod soustavy a vypočítat ekonomickou bilanci celého projektu. Práce by se dala použít jako určitý obraz reality připojení a stavby kogenerační výroby.

Text je rozdělen do pěti částí. První se zabývá postupem procesu připojení, včetně legislativních podmínek. Druhá popisuje připojovanou kogenerační jednotku z technického pohledu a obsahuje i popis stávající budovy. Ve třetí jsou uvedeny souhrnné technické podmínky pro připojení kogenerační jednotky, navržen člen HDO a navrženo technické řešení výroby. Čtvrtá uvádí výpočet vlivu připojované kogenerační jednotky na distribuční soustavu pomocí softwaru E-Vlivy. A konečně pátá zhodnocuje ekonomickou stránku celého projektu.

Seznam symbolů a zkratek

DS	distribuční soustava
ERÚ.....	Energetický regulační úřad
FVE.....	fotovoltaická elektrárna
HDO.....	hromadné dálkové ovládání
IČO.....	identifikační číslo osoby
MPO.....	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MVE.....	malá vodní elektrárna
NN.....	nízké napětí
OTE.....	Operátor trhu s elektřinou
PD	projektová dokumentace
PDS	provozovatel distribuční soustavy
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
RTU.....	remote technical unit (jednotka dálkového ovládání)
VN.....	vysoké napětí
VTE.....	větrná elektrárna

1. Postup připojení kogenerační jednotky k distribuční soustavě

Připojení výroby k distribuční soustavě není technicky ani legislativně jednoduchá záležitost. Je nutné splnit spoustu podmínek, podat mnoho žádostí a průběžně kontrolovat všechny termíny. O to složitější je řešení připojení výroby do sítě VN, protože s vyšším napětím je třeba řešit problémy, které je na hladině nižšího napětí možné zanedbat. Tato kapitola rozebere postup podávání všech žádostí a legislativních podmínek, které je nutné splnit.

Základním stavebním kamenem pro nejen pro určování pravidel připojování, ale vůbec veškerého fungování na poli energetiky je energetický zákon 458/2000 Sb. Tento zákon spravuje samozřejmě parlament ČR, Ministerstvo průmyslu a obchodu pak prostřednictvím tohoto zákona řídí děj veškerého podnikání v energetickém prostředí. Z tohoto zákona pak vychází jedna z tzv. prováděcích vyhlášek, konkrétně vyhláška č.16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Ta už se zabývá pouze připojováním a určuje všeobecné podmínky, které je nutné dodržet jak ze strany budoucího provozovatele výroby, tak ze strany distributora. Tato vyhláška je dílem Energetického regulačního úřadu.

Provozovatelé distribučních soustav si určí Obecné podmínky připojení do distribuční soustavy, které vychází také z Energetického zákona a z vyhlášky č.16/2010 Sb. V této práci se budeme zabývat podmínkami společnosti ČEZ Distribuce, a.s, protože připojovaná výroba bude připojena do sítě ve vlastnictví této společnosti.

1.1. Vyhláška č. 16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě

Tuto vyhlášku vydává Energetický regulační úřad a je hlavním legislativním vodítkem pro vyřízení administrativní činnosti spojené s připojením do elektrizační soustavy (řešená pro distribuční i přenosovou). Vychází ze zákona č. 458/2000 Sb., o podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích. Aktuální vyhláška je platná od 1. února 2016. V následujících odstavcích si představíme nejdůležitější body této vyhlášky, samozřejmě se budeme soustředit na podmínky týkající se naší elektrárny.

1.1.1. Podmínky připojení zařízení k elektrizační soustavě: §3, §4, §6, §7, §8 a §9

Podmínkami připojení k distribuční soustavě se dle vyhlášky rozumí:

- ***Žádost o připojení***
- ***Studie připojitelnosti (pro hladiny připojení výrobní do hladiny VN a vyšších)***
- ***Smlouva o připojení***

V některých případech je nutnou podmínkou pouze smlouva o připojení. Jedná se např. o změnu držitele licence, změna uživatele elektrického zařízení nebo nahrazení či úpravě výroby, kdy nedochází k překročení stávajícího rezervovaného výkonu. [10]

Žádost o připojení se samozřejmě podává před výstavbou nového zařízení. V případě výrobní s instalovaným výkonem nad 0,5 MW je dále součástí harmonogramu přípravy výstavby výrobní. Ten obsahuje seznam vyjádření orgánů veřejné správy i s předpokládanými termíny jejich vydání. Těmito termíny informuje žadatel PDS o předpokládaném termínu realizace a připojení výrobní k distribuční soustavě. [10]

Studie připojitelnosti může být vyžádána provozovatelem distribuční soustavy v případě, žádá-li žadatel o připojení k hladině VN nebo vyšší. Jejím předmětem je posouzení vlivu připojovaného zařízení na distribuční síť. Provozovatel DS je oprávněn požadovat tuto studii do 30 dní od podání žádosti o připojení. Musí ale stanovit potřebný rozsah studie. Žadatel má pak dalších 30 dní na požádání PDS o podklady nezbytné pro zpracování této studie. PDS tyto podklady poskytne do 15 dní. Jestliže PDS nepožádá o studii ve stanovené lhůtě nebo nedodá-li podklady pro zpracování ve stanovené lhůtě, má se za to, že studii připojitelnosti nevyžaduje [10].

Žadatel je povinen předat studii připojitelnosti do 90 dní ode dne, kdy obdržel podklady od PDS. Není-li vypracována v potřebném rozsahu, požádá PDS o její doplnění, na které má žadatel 30 dní. [10]

PDS posuzuje žádost o připojení s ohledem např. na:

- ***místo a způsob připojení***
- ***velikost rezervovaného výkonu***

- *plánovaný rozvoj soustavy*
- *povinnost připojit výrobu elektřiny z podporovaného zdroje podle zákona o podporovaných zdrojích energie*

V případě nutnosti kontaktuje PDS nejpozději do 15 dní ode dne obdržení žádosti a požádá žadatele o poskytnutí údajů v potřebném rozsahu. Dále upozorní žadatele, že v případě nedodržení lhůty určené PDS nebude žádost posouzena.

Jestliže nejsou známy důvody, pro které nelze žadatele připojit, poskytne PDS do 60 dní od podání žádosti (nebo od dodání studie připojitelnosti, pakliže byla požadovaná) návrh smlouvy o připojení nebo návrh smlouvy o smlouvě budoucí o připojení.

Jestliže není možné žadatele připojit, PDS oznámí tuto skutečnost také do 60 dní. Jsou-li zde jiné možnosti připojení, PDS je uvede ve vyrozumění o nemožnosti připojení. Je-li nutné posoudit správnost chodu sítě výpočtem, prodlouží se termín vydání návrhu smlouvy o 25 dní.

1.1.2. Podíl na oprávněných nákladech: §12

Jestliže je třeba kvůli žadateli rozšířit distribuční soustavu, pak žadatel hradí vývodové vedení v plné výši. Jinak se úhrada nákladů spojených s připojením a zajištěním požadovaného výkonu vypočítá jako součin měrného podílu a požadovaného rezervovaného výkonu. [10]

ZA REZERVACI VÝKONU

Místo připojení k napěťové hladině	Způsob připojení	Měrný podíl žadatele
přenosová soustava	v místě připojení podle stanoviska provozovatele přenosové soustavy	500 000 Kč/MW
distribuční soustava VVN	Typ A	1 200 000 Kč/MW
distribuční soustava VVN	Typ B	150 000 Kč/MW
distribuční soustava VN	Typ A	640 000 Kč/MW
distribuční soustava VN	Typ B	150 000 Kč/MW
distribuční soustava NN	3 fázové připojení	500 Kč/A
distribuční soustava NN	1 fázové připojení	200 Kč/A

Obr. 1.1: Měrné podíly žadatele [10]

Na obrázku *Obr. 1.1* je zobrazena tabulka měrných podílů žadatele. Tu nalezneme ve vyhlášce č. 16/2010 Sb., v příloze č.6. V našem případě se jedná o typ B, tedy 150 000 Kč/MW (požadovaný výkon výroby je 1 MW). Uhrazení této částky je omezeno lhůtou 15 dní od uzavření smlouvy o připojení, popř. o smlouvě budoucí. V případě, že žadatel tuto částku neuhradí, smlouva se stává neplatnou a rezervovaný výkon nelze dále uplatnit. [10]

1.2. Postup připojení

Po poskytnutí návrhu smlouvy o připojení nebo návrhu smlouvy o smlouvě budoucí o připojení (vydává se v případě nutných stavebních úprav v DS) je nutné smlouvu podepsat a vrátit zpět distributorovi ve lhůtě stanovené vyhláškou č.16/2016 Sb. V obou výše uvedených případech však musí žadatel uhradit zálohu na oprávněné náklady dle vyhlášky č.16/2016 Sb. - příloha č. 6. Zde je uvedeno, že žadatel platí 50 % celkových oprávněných nákladů, tedy nákladů spojených s připojením zařízení k distribuční soustavě a se zajištěním požadovaného výkonu. Uhrazení této částky je omezeno lhůtou 15 dní od uzavření smlouvy o připojení, popř. o smlouvě budoucí. Po splnění obou podmínek započne příprava s následnou vlastní realizací úprav distribuční soustavy.

V případě, že žadatel tuto částku neuhradí, smlouva se stává neplatnou a rezervovaný výkon nelze dále uplatnit.

Poté se vyřizuje žádost o vydání územního rozhodnutí a stavebního povolení na stavebním odboru příslušného městského úřadu. K této žádosti už se přikládá kompletní projektová dokumentace, která musí být do té doby vypracována a která je nezbytným podkladem k vyřízení. V projektové dokumentaci je obvykle technická zpráva, přehledová situace, jednopólové schéma výroby, řez výkopovou rýhou a situace stavby. Dále je, dle specifických požadavků každého stavebního odboru, nutné dodat například stanovisko odboru životního prostředí nebo stanovisko drážního úřadu, vyjádření vlastníků podzemních sítí a souhlasy majitelů pozemků v okolí stavby. Stavební odbor má dle zákona 30 dní na vyřízení žádosti.

Po udělení územního rozhodnutí a stavebního povolení ke stavbě může dojít k samotné realizaci stavby. Stavební práce trvají dle rozsahu projektu. V našem případě, nepočítáme-li s komplikacemi se pohybujeme mezi 1-3 měsíci.

Dále je třeba vyřídít licenci na výrobu elektřiny. O tu se žádá na Energetickém regulační úřad, který má na vyjádření dle zákona opět 30 dní. Budoucí výrobce elektřiny musí být zapsaný v živnostenském rejstříku a mít přidělené vlastní IČO. Proto je vhodné již v tomto momentu mít založenou společnost. Nicméně pokud žadatel IČO přidělené doposud nemá, vyplní dodatečnou žádost o přidělení a ERÚ za spolupráce s českým statistickým úřadem IČO přidělí.

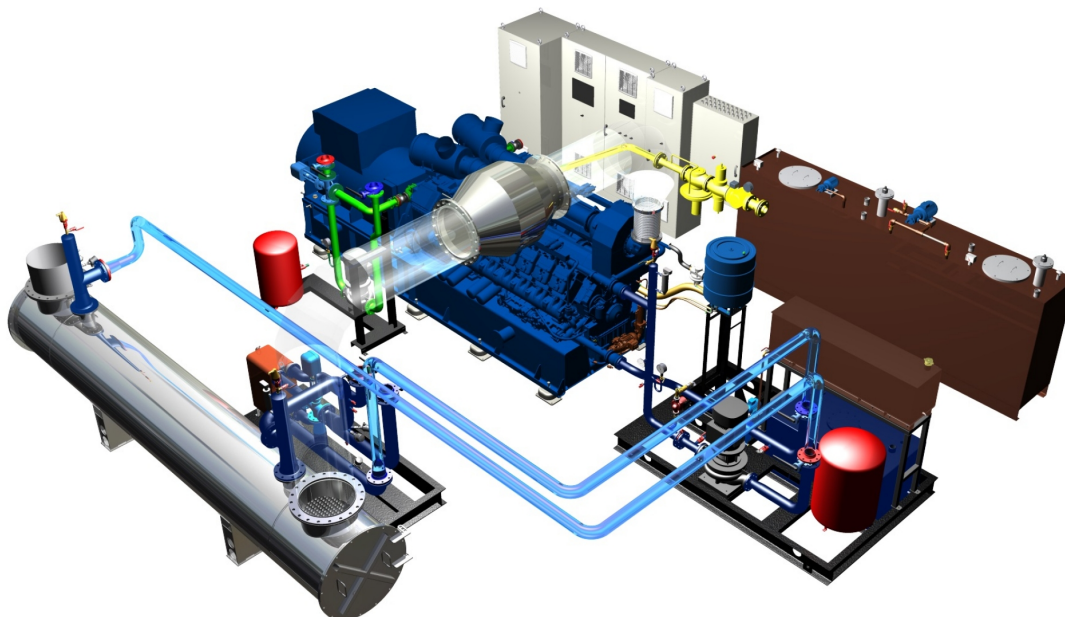
Pro vlastní připojení je třeba zažádat o první paralelní připojení, bez kterého rozhodně není možné výrobní galvanicky propojit se sítí. To je samozřejmě možné až při zrealizované stavbě. Žádá se písemnou formou o první paralelní připojení s příslušnými dokumenty uvedenými v přílohách smlouvy o smlouvě budoucí (stanoveno společností ČEZ Distribuce, a.s. - pomocí formuláře Žádost – Smlouva o připojení výrobní k DS). Jakmile distributor tuto žádost schválí, vyžaduje umožnění kontroly díla ve 30 denní lhůtě. Provozovateli výrobní je navržen termín, kdy na místo dorazí pracovník distribuční společnosti, který zkontroluje, jestli je vše v souladu s předloženou PD a podmínkami stanovenými ve smlouvě o připojení nebo smlouvě o smlouvě budoucí o připojení. Samotná kontrola prvního paralelního připojení pak proběhne za přítomnosti pracovníka distribuční společnosti.

2. Technický popis připojované výrobní

Pro mou výrobní byla zvolena technologie společnosti TEDOM. TEDOM, s.r.o je česká společnost, založená roku 1991 v Třebíči se záměrem vyvíjet kogenerační jednotky s plynovými spalovacími motory. Prošla si dlouholetým vývojem, který v roce 2016 vyústil až k expanzi na americký trh a ve spolupráci se společností TTCogen v prodej kogeneračních jednotek TEDOM na území USA.

Od společnosti TEDOM jsem zvolil soustrojí pojmenované Quanto D1200. Řada Quanto obsahuje stroje vyšších výkonů (190 kW a více). Jedná se o klasický modul, tedy o spalovací motor spojený s elektrickým synchronním generátorem. Palivem pro motor je plyn přiváděný plynovým potrubím. Ve válcích motoru dojde k explozi a plyn roztočí hřídel, na kterou je napojen elektrický generátor. Odpadní teplo spalovacího motoru je odebíráno chladicími okruhy a dále připraveno pro distribuci odběratelům. Spaliny odchází přes katalyzátor a tlumič výfuku do komína.

Modul bude umístěn do stávající kotelny, napojen na stávající teplovody, čímž odpadají výrazné náklady na výstavbu přívodního tepelného potrubí, ale i strojovny.



Obr. 2.1: Modulární uspořádání kogenerační jednotky TEDOM

2.1. Tedom Quanto D1200

Mezi výhody kogenerační jednotky Tedom patří zejména automatická regulace směsi (pro snížení emisí), nízká hlučnost díky protihlukovému krytu, modulární uspořádání jednotky nebo třeba možnost přizpůsobení k různým tepelným spádům vytápěcích soustav.

Jednotka se skládá z několika částí. První je samotné soustrojí motoru s generátorem, které je umístěné v šasi, obklopené protihlukovými kryty. Dále je to technologický modul, katalyzátor a tlumič výfuku, elektrické rozvaděče, a plynovody. Grafický model jednotky můžeme vidět na Obr. 2.1.

2.1.1. Spalovací motor

Spalovací plynový motor je výrobkem německé firmy MWM, jedná se o typ TGC2020V12. Dvanáctiválec uspořádaný do V má zdvihový objem 53 litrů. Jmenovité otáčky jsou 1500 ot/min a maximální výkon motoru 1028 kW. Spotřeba plynu při plném výkonu je 246 m³/h, při polovičním výkonu je to 135 m³/h. Zajímavým údajem je i spotřeba oleje motoru, která je stanovena na 0,20 g/kWh. Při 5 % kyslíku obsaženém ve spalinách plní emisní limity CO do 300 mg/ m³ a emisní limity NO_x do 500 mg/m³. V motoru je

695 litrů motorové oleje a dalších 130 litrů v rezervní nádrži. Úroveň akustického tlaku měřená 1 metr od protihlukového krytu je 80 dB(A).

2.1.2. Palivo

Předepsané palivo je zemní plyn o výhřevnosti 34 MJ/m³. Předepsaný tlak plynu je 8-15 kPa a rozsah teploty paliva je 10 °C - 35 °C. Na plynové trase je namontována ruční uzavírací armatura, čistič plynu a dva nezávislé rychlouzavíratelné elektromagnetické ventily. Tyto ventily jsou určeny pro instalaci na přívod plynu, mimo objekt modulu motorgenerátoru. V modulu motorgenerátoru je navíc umístěn nulový regulátor tlaku plynu a pro připojení ke směšovači a kompenzátor pro spojení pevné a pohyblivé části celé kogenerační jednotky. Plynová přípojka musí být pro správný provoz jednotky patřičně dimenzována a musí obsahovat dostatečnou akumulaci nádrž, aby nedocházelo k poklesu tlaku, v případě skokového odběru plynu. Dále musí být v přípojce instalován ruční uzávěr s tlakoměrem.

2.1.3. Elektrické parametry

O dodávání elektřiny se stará synchronní generátor o výkonu 1875 KVA. Činný výkon generátoru je 1500 kW, přičemž jmenovitá hodnota elektrického výkonu je 999 kW. Elektrická účinnost soustrojí byla stanovena na 42,9 %. Když vezmeme v úvahu tepelnou účinnost rovnající se 47,8 %, dostaneme se k celkové účinnosti využití paliva, která činí 90,7 %. Účinnost samotného generátoru je samozřejmě oproti celkovým účinnostem vysoká, a sice 97,4 %. Generátor pracuje s účínkem 0,8-1, na napěťové hladině 0,4 kV. Pracuje samozřejmě s naší frekvencí 50 Hz. Další parametry vybrané z tabulek katalogu TEDOM uvádím v přehledu:

- ***Jmenovitý proud při $\cos\varphi$: 1802 A***
- ***Zkratová odolnost rozvaděče R1: 50 kA***
- ***Zkratová odolnost ostatních rozvaděčů: 10 kA***
- ***Příspěvek zdroje ke zkratovému proudu: <20 kA***
- ***Doporučené nadřazené jištění: 2000 A***
- ***Doporučený připojovací kabel: 5×NYY - 3×240+120 (samozřejmě je nutné kabel vhodně nadimenzovat, tento je zde uveden pouze pro představu)***

Elektrické rozváděče sestávají ze tří samostatně stojících skříní. Rozváděč R1 je silový a obsahuje hlavní jistič generátoru, který zároveň slouží jako spínací prvek při fázování generátoru do sítě. Další rozváděče (R2, R3, R4 a R5) obsahují řídicí systémy, jištění, napájení slaboproudých spotřebičů a frekvenční měniče ventilátorů.

2.1.4. Tepelné parametry

Maximální tepelný výkon soustrojí je stanoven na 1031 kW. Tepelný systém kogenerační jednotky tvoří tři nezávislé okruhy; primární, sekundární a technologický.

Primární okruh

Je to uzavřený tlakový okruh, který přímo chladí spalovací motor a předává využitelné odpadní teplo sekundárnímu okruhu. Oběhovým médiem v tomto okruhu je voda smíchaná s 35 % etylenglykolu. Pracuje s přibližně třikrát větším tlakem, než je atmosférický, tedy 300 kPa. V okruhu je 290 litrů chladiva a tepelný výkon je stanoven na 516 kW.

Sekundární okruh

Zajišťuje vyvedení hlavního tepelného výkonu. Médium se ohřívá částečným předchlazením plnicí směsí, chladivem primárního okruhu a ze spalin. Okruh pracuje s teplotami vratné vody (ta, která již předala teplo) od 40 °C do 70 °C. Vyšší teplota by mohla způsobit poruchu motoru. Chladícím médiem je pouze voda, které je třeba 1050 litrů. Okruh pracuje při 1–6 násobku atmosférického tlaku, tedy 100–600 kPa. V okruhu není instalováno oběhové čerpadlo, cirkulace probíhá přirozeně. Výstupní teplota vody činí 90 °C. Jmenovitý teplotní spád je pak 20 °C. Sekundární okruh se rozprostírá jak na modulu motorgenerátoru, tak v modulu technologickém. Při výstavbě je nutné okruh zkompletovat montáží spojovacího potrubí. Jako volitelné příslušenství je možné volit nouzové chlazení pro případy, kdy není možná tepelný výkon odebrat. Tepelný výkon je stanoven na 1031 kW.

Technologický okruh

Odebírá teplo plnicí směsí, tedy plynu. Okruh pracuje s vratnou teplotou 40 °C, je osazen oběhovým čerpadlem a tlakovou expanzí. Chladícím médiem je zde opět voda a 35 % etylenglykolu stejně jako u primárního. Tepelný výkon technologického okruhu je možné využít pouze v nízkoteplotní soustavě, tzn. pro předehřev TUV, ohřevy bazénů apod. Tepelný výkon tohoto okruhu je 82 kW.

2.1.5. Vzduch, spaliny

Ventilační vzduch odvádí vysálané teplo z motoru, poháněný je ventilátory na stropě protihlukového krytu. Tento vzduch vystupuje ven ventilačními otvory s tlumiči hluku a přírubami, na které je možné napojit vzduchotechniku budovy. Vysálaný ztracený výkon je stanoven na 68 kW. Je třeba zajistit přívod vzduchu do strojovny, neboť jenom množství spalovacího vzduchu jdoucího do motoru je 4089 m³/h. Minimální množství ventilačního vzduchu je pak 21016 m³/h. Teplota vzduchu na vstupu ventilace je povolena mezi 20 °C a 35 °C. Výstupní ventilační vzduch má teplotu 50 °C.

Na přírubu spalínového výstupu z motorgenerátoru se napojí potrubí, které spojí motorgenerátor s technologickým modulem, a ve kterém se následně nainstaluje katalyzátor. Toto potrubí musí odolat teplotám do 700 °C. V technologickém modulu je umístěn spalínový tepelný výměník a trojcestný ventil sekundárního topného okruhu. Spalínovod dále vyvádí spaliny skrz doinstalovaný tlumič výfuku do komína a musí odolat teplotám do 200 °C.

Při nízké teplotě vstupní chladicí vody nebo těsně po startu jednotky vznikne ve spalínovodu kondenzát, který by měl být odveden přes odváděč kondenzátu. Ten se však není obsažen ve standardní dodávce a musí se doobjednat. Likvidaci kondenzátu je nutné projednat se správcem kanalizace. V Nýrsku se o kanalizaci stará společnost Vodospol Klatovy, s.r.o.

2.1.6. Fyzické parametry

Barevné provedení jednotky (motor, generátor, protihlukový kryt i rám) je modré. Rozměry motorgenerátoru jsou: 7100×2650×3100 mm (d×š×v). Jeho přepravní hmotnost činí 16 tun. Technologický modul o rozměrech 5600×1300×2600 mm (d×š×v) váží 3 tuny. Další rozměrnou součástí je katalyzátor o délce 1150 mm a průměru 690 mm. Jeho váha je cca 200 kg. A nakonec tlumič výfuku o délce 4800 mm a průměru 800 mm váží 1,1 tuny.

2.1.7. Řídicí systém

Jako řídicí systém je použit ProCon Sight, který se stará o plně automatizovaný chod výroby. Jednotka řídicího systému je vybavena barevným displejem s vysokým rozlišením a kontextovými tlačítky. Díky tomu je její ovládání intuitivní. Je možné ji nastavit až pro

7 různých jazyků. TFT displej je 8 palců veliký, s rozlišením 800x600 pixelů. Stavový řádek se zobrazuje trvale pro rychlejší přístup k informacím. Lze zobrazit i časové průběhy vybraných veličin.

Pomocí řídicího systému lze měřit a vyhodnotit napětí sítě, generátoru a proud generátoru. Vše zvláště v každé fázi. Tato měření jednotka využívá pro vyhodnocení parametrů sítě, automatické přiřazování k síti a výpočty dalších elektrických veličin, jakými jsou např. výkon nebo účinník.

Řídicí systém jednotky lze ovládat místně pomocí tlačítek řídicí jednotky nebo dálkově. Dálkové ovládání se objednává na přání a zákazník si může vybrat z ovládání:

- *beznapěťovým kontaktem (přijímač HDO)*
- *pomocí PC (místní nebo vzdálený připojený pomocí internetu)*
- *pomocí SMS zpráv*

2.1.8. Rozsah dodávky

Standardní dodávka obsahuje:

- *modul motorgenerátoru i s protihlukovým krytem*
- *technologický modul*
- *tlumič sání i výtlaku pro vzduchotechniku*
- *katalyzátor a tlumič výfuku*
- *plynová trasa pro připojení k přívodu plynu*
- *elektrické rozvaděče ve volně stojících el. skříních*

Dále lze doobjednat:

- *chladicí jednotka pro chlazení technologického okruhu*
- *chladicí jednotka pro nouzové chlazení sek. okruhu*
- *přídavný tepelný výměník spalin*
- *odváděč kondenzátu z výfukového potrubí*
- *dovybavení požadovaným ovládáním*

2.2. Stávající budova výměňkové stanice

Stávající budova výměňkové stanice (na Obr. 2.2) s číslem popisným 873 se nachází v ulici Práce nedaleko centra města Nýrsko. Nachází se v zastavěné oblasti, na východ od budovy se rozkládá pila, na západ pak městské sídliště. Budova je umístěna na parcele č. st. 888, v katastrálním území Nýrsko [108356]. Vlastníkem budovy je Město Nýrsko. Rozměry budovy jsou 21 x 26 m a výměra 549 m². Budova sloužila jako výtopna, zásobovala město teplem. Její využití se proto nemění, jedná se pouze o doinstalování nové technologie kogenerační jednotky a dostavbu transformační stanice žadatele.



Obr. 2.2: Stávající budova výměňkové stanice

3. Technické podmínky pro připojení výroby do DS

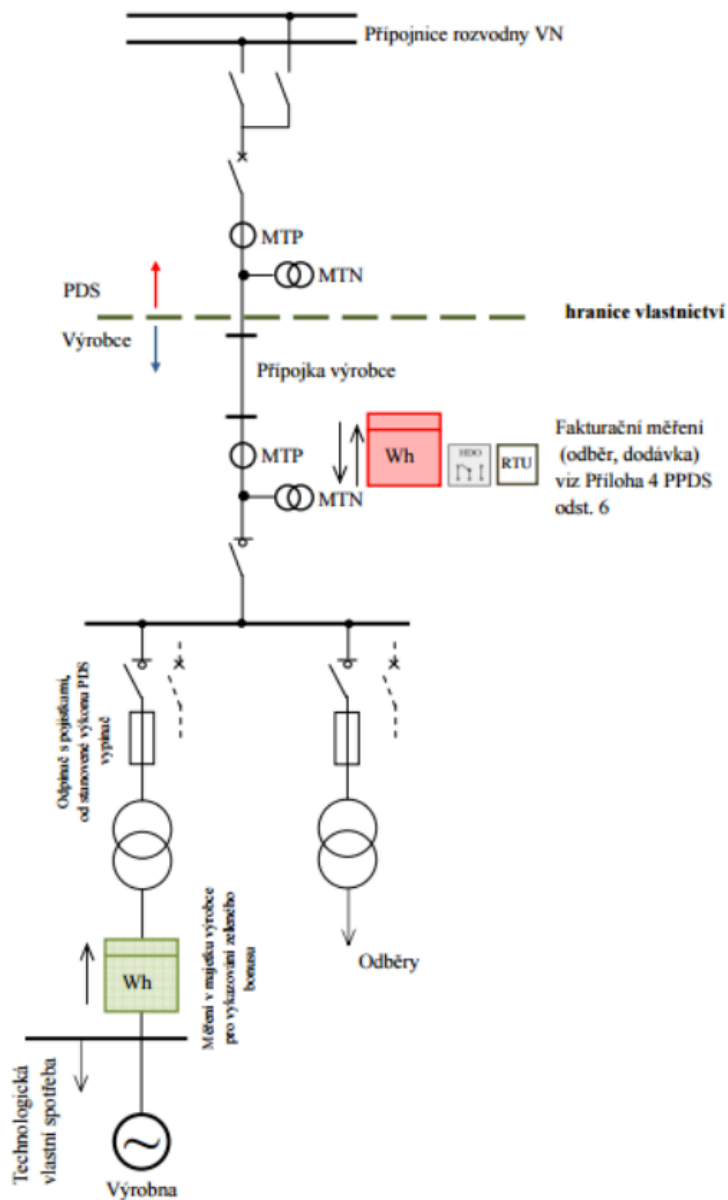
Čeští provozovatelé distribuční soustavy ve spolupráci s ERÚ po vzájemné dohodě stanovují Pravidla provozování distribuční soustavy. Nás zajímá především příloha č.4 - Pravidla pro provoz zdrojů ze sítí provozovatele. Ta určuje technické řešení a nezbytné technologické vybavení výroby pro paralelní provoz se sítí. Při návrhu připojení, ochrany a dálkového řízení budeme vycházet z této přílohy.

PPDS stanovují základní všeobecná pravidla, která je nutné dodržovat při zřizování a provozování elektrických zařízení paralelně se sítí. Dle těchto všeobecných podmínek je nutné se řídit především Energetickým zákonem a vyhláškou ERÚ o podmínkách připojení k distribuční soustavě. Dále platnými normami ČSN, PNE a PN konkrétního distributora, nařízení a směrnice provozovatele DS a v neposlední řadě i předpisy pro ochranu a bezpečnost práce. Je nutné zadat projektovou činnost, výstavbu a připojení odborné firmě. Pro splnění těchto podmínek je vhodné konzultovat veškeré činnosti s PDS, a to již od stadia přípravy.

3.1. Způsob připojení k síti

PPDS říkají, že nově připojované zdroje musí být připraveny pro instalaci dálkového ovládání. U zdrojů s výkonem nad 100 kVA musí být oddělovací spínač vybaven i signalizací stavu. Tyto výroby musí být začleněny do dálkového řízení PDS. PDS si bude řídit spínač s oddělovací funkcí (vypnutí při kritických stavech sítě), velikost činného, jalového výkonu a napětí. Dále potřebuje přístup k rozhraní pro přenos dat.

Na Obr. 3.1 můžeme vidět jednopólové schéma připojení výroby stanované PDS. Výrobna je připojena do rozvaděče, ze kterého je vyveden výkon pro vlastní technologii soustrojí. Protože u nás není samostatný transformátor pro odběry, můžeme větev s tímto transformátorem zanedbat a výkon půjde tedy přes transformátor přímo do fakturačního měření připojeného přes cejchované měřicí transformátory proudu a napětí. Součástí tohoto fakturačního měření je i jednotka HDO a jednotka RTU. Jednotka RTU se stará o bezdrátovou komunikaci mezi výrobnou a PDS, a to oboustrannou (zde je výhoda oproti HDO, které je pouze jednostranné). Fakturační měření zůstává v majetku PDS, jednotky HDO a RTU závisí na domluvě mezi PDS a provozovatelem elektrárny. Zeleně označené měření je instalováno provozovatelem výroby a slouží pro vykazování výroby na základě kterého je žádáno o vyplácení zeleného bonusu. Toto měření je oproštěno od technologické vlastní spotřeby. Dodávku a montáž elektroměrů obchodního měření zajistí PDS na vlastní náklady, měřicí transformátory jsou většinou součástí dodávky výroby.



Obr. 3.1: El. schéma požadovaného připojení výroby [2]

Nakonec se vyvádí výkon přes přípojku (v našem případě cca 200 m VN kabelu) přímo na přípojnice nedaleké rozvodny (trafostanice 22/0,4 kV).

Jako spínací zařízení musí být použit spínač s minimální vypínací schopností odpovídající jmenovitému proudu výroby, kterému je předřazena ochrana (rozebraná v podkapitole 3.2). Nutná podmínka je zajištění galvanického odpojení ve všech třech fázích.

3.2. Ochrany

Ochrany výroby ve vazbě na distribuční soustavu jsou nedílnou součástí technických podmínek pro připojení. Jedná se hlavně o ochrany kontrolující stav napětí a frekvence. Chrání síť před přepětími ze strany výroby a v případě výrazného podpětí chrání před dotováním sítě zkratovými proudy.

Pro výroby připojené v síti NN, jejichž fázový proud překračuje 16, a pro výroby připojené do sítě VN platí následující požadavky shrnuté tabulkou Tab. 3.1. Nadpět'ové i podpět'ové ochrany se dělí na dva stupně podle velikosti nadpětí či podpětí. První stupeň ochrany je dlouhodobý, vybavuje v řádu sekund. Druhý stupeň, vybavující při závažnější změně napětí, zareaguje neodkladně. Frekvenční ochrany pak reagují pouze v jednom stupni a vybavují během 100 ms [2].

Tab 3.1: Nastavení ochran [2]

funkce	Rozsah nastavení	Doporučené nastavení ochrany	
Nadpětí 2. stupeň $U \gg$	1,00 – 1,30 U_n	1,2 U_n	nezpožděně
Nadpětí 1. stupeň $U >$	1,00 – 1,30 U_n	1,15 U_n ⁽¹⁾	≤ 60 s
Podpětí 1. stupeň $U <$	0,10 – 1,00 U_n	0,7 U_n	0 – 2,7 s ¹⁾
Podpětí 2. stupeň $U \ll$	0,10 – 1,00 U_n	0,3 U_n (0,45 U_n) ⁽²⁾	$\geq 0,15$ s
nadfrekvence $f >$	50 – 52 Hz	51,5 Hz (50,5 Hz) ⁽³⁾	≤ 100 ms
podfrekvence $f <$	47,5 – 50 Hz	47,5 Hz ⁽⁴⁾	≤ 100 ms
Jalový výkon/ podpětí ($Q \bullet$ & $U <$)	0,70 – 1,00 U_n	0,85 U_n	$t_1 = 0,5$ s

3.3. Zpětné vlivy na distribuční síť

Samozřejmě je nutné výrobu posoudit i z hlediska nežádoucích vlivů na síť, do které je připojena. Výrobna může ovlivňovat jak amplitudu napětí (dlouhodobě i s vyšší četností změn), tak frekvenci (nasávání signálu HDO) nebo může produkovat vyšší harmonické. PPDS pamatují i na tohle, proto si rozebereme nutné podmínky z hlediska ovlivňování sítě.

3.3.1. Změna napětí

PPDS stanovují, že připojená výrobná nesmí změnit napětí o více než 2 % ve společném napájecím bodě. Společný napájecí bod je místo v síti, do kterého je vyveden výkon zdroje, ale do kterého mohou být připojeny i ostatní odběratelé. Hodnota 2 % platí pro výrobný připojený do sítě VN. Tímto problémem se budu podrobněji zabývat v kapitole č.4, kde provedu simulaci změny napětí v síti [2].

3.3.2. Flickr

Flickr je dalším problémem snižujícím kvalitu napětí v síti. Způsobuje nepříjemné pocity při pobytu osob v místě, kde jsou svítidla postižená flickrem. Je způsoben především prudkou změnou odběrů, tím pádem větším úbytkem napětí na vedení, které způsobí v koncovém bodě pokles napětí. Tento pokles napětí se projeví na svítidlech poklesem svítivosti. Vše se děje řádu desetin sekund. Velikost flickru hodnotí hranice nazývaná dlouhodobá míra vjemu flickru. Vzhledem k použití synchronního generátoru jako zdroje napětí nemusíme s tímto problémem dále počítat, výrobná nebude zdrojem flickru v síti.

3.3.3. Změna napětí při spínání

Změna napětí v síti při spínání nebude uvažována, protože výrobná není často spínána. Jakmile se sepne, běží prakticky pořád.

3.3.4. Vyšší harmonické

Podmínky pro toleranci proudů vyšších harmonických stanovují PPDS také, protože deformují základní nosnou sinusoidu o frekvenci 50 Hz a tím snižují kvalitu napětí v síti. Nicméně zdroji vyšších harmonických jsou především napěťové střídače, které mění např. stejnosměrné napětí na střídavé. Jelikož synchronní generátor produkující elektřinu v naší kogenerační stanici žádný takovýto střídač nepotřebuje, není nutné se těmito podmínkami zabývat.

3.3.5. Příspěvek výrobný ke zkratovému proudu

V technické specifikaci výrobce uvádí, že maximální příspěvek vlastního zdroje ke zkratovému proudu je menší než 20 kA. Vezmeme-li v úvahu tuto hodnotu, dostaneme se při přepočtení přes transformátor výrobný na hladinu VN k hodnotě 363 A. Je vhodné

zdůraznit, že v cestě zkratového proudu do přípojného bodu stojí dvě velké reaktance, a sice hradící člen HDO a transformátor výroby. Výsledná hodnota zkratového proudu tak bude výrazně omezena.

Zkratový výkon soustavy v místě rozvodny Nýrsko má velikost 844 MVA (hodnota získaná z modelu sítě v softwaru E-Vlivy). Při sestavení náhradního schématu a zohlednění reaktancí sítě, transformátoru 110/22 kV a vedení do přípojného místa se dostáváme na zkratový proud o hodnotě 10,403 kA na hladině VN. Opět bych rád zdůraznil, že zde jsem si výpočet zjednodušil zanedbáním činného odporu vedení, jenž tvoří podstatnou složku celkové impedance, proto bude výsledný proud o něco menší.

Nicméně naše výroba přispěje maximálně 3,5% z celkového zkratového proudu dodávaného sítí v místě připojení výroby do sítě. Takto malou hodnotu je tedy možné zanedbat.

3.3.6. Ovlivnění signálu HDO

Obecně známá frekvence signálu HDO je 216 a 2/3 Hz. Nicméně v praxi je tento signál vysílán v určitém frekvenčním rozsahu (183,3 - 283,3 Hz) lišícím se dle místa připojení. Frekvenci použitou v konkrétním místě je třeba zjistit u PDS. Amplituda vysílaného napětí se obvykle pohybuje mezi 1,6 a 2,5 % napětí jmenovitého.

Na základě konzultací s pracovníkem ČEZ Distribuce, a.s. s dlouholetou praxí jsem zjistil, že se standardně osazují pásmové zádrže pro frekvenci nalezenou na signál HDO před každou výrobu o zdánlivém výkonu větším, než 400 kW.

3.4. Návrh hradícího členu HDO

Filtr HDO je z topologického hlediska vlastně paralelní kombinace cívky a kondenzátoru. Důležitým parametrem filtru je úbytek napětí, který nesmí překročit 4 % při provozní frekvenci 50 Hz. Při této frekvenci má kondenzátor vysokou impedanci, proto proud prochází především cívku. Díky tomu se pro provozní frekvenci chová filtr jako induktivní reaktance. Z katalogu se nejprve zvolí vhodná cívka a překontroluje se úbytek napětí. Podle Thomsonova vztahu navrhne kondenzátor tak, aby rezonanční frekvence odpovídala frekvenci signálu HDO. Filtr pak plní funkci pásmové zádrže.

Při návrhu vycházíme z Ohmova zákona. Úbytek napětí na indukčnosti při zanedbání jejího činného odporu vypočteme jako:

$$\Delta U = \omega \cdot L \cdot I_n$$

, kde dosazením za úhlovou rychlost a jmenovitý proud i maximální úbytek napětí dostaneme:

$$\frac{u_{\%max}}{100} \cdot U_n = 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot L \cdot \frac{S_n}{U_n}$$

, kde f_n je frekvencí sítě, $u_{\%max}$ je maximální procentní úbytek napětí na hradicím členu a S_n je zdánlivý jmenovitý výkon generátoru (dosadíme 999 kVA). Úpravou pak dostaneme vztah pro výpočet indukčnosti:

$$L = \frac{u_{\%max} \cdot U_n^2}{200 \cdot \pi \cdot f_n \cdot S_n} = \frac{4 \cdot 400^2}{200 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 999000} = 20,04 \mu H$$

Dále si z Thomsonova vztahu pro rezonanci vyjádříme kapacitu, pro kterou bude obvod v rezonanci, a tedy útlum pro frekvenci HDO nejvyšší.

$$C = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_{HDO}^2 \cdot L} = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot 216,7^2 \cdot 20,04 \cdot 10^{-6}} = 26,94 mF$$

, kde f_{HDO} je frekvence HDO a L vypočtená indukčnost.

Z výsledků vidíme, že bude nutné objednat hradící člen s prvky o hodnotách 20 μH a 27 mF.

3.5. Návrh technického řešení

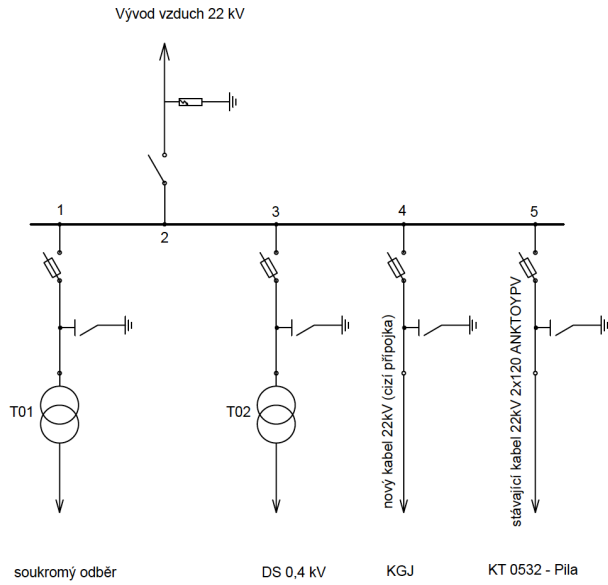
V této podkapitole jsem navrhl technické řešení přípojky i rozvaděče dle podmínek popsanych v předchozích podkapitolách a opět po diskuzi s pracovníkem společnosti ČEZ Distribuce, a.s. Vše je rozděleno dle funkčních bloků, které se jsou součástí celé výstavby.

V technickém řešení stavby je uvedeno pár faktů, které jsou podrobně rozebrány v kapitole č. 4, je na ně však vždy poukázáno.

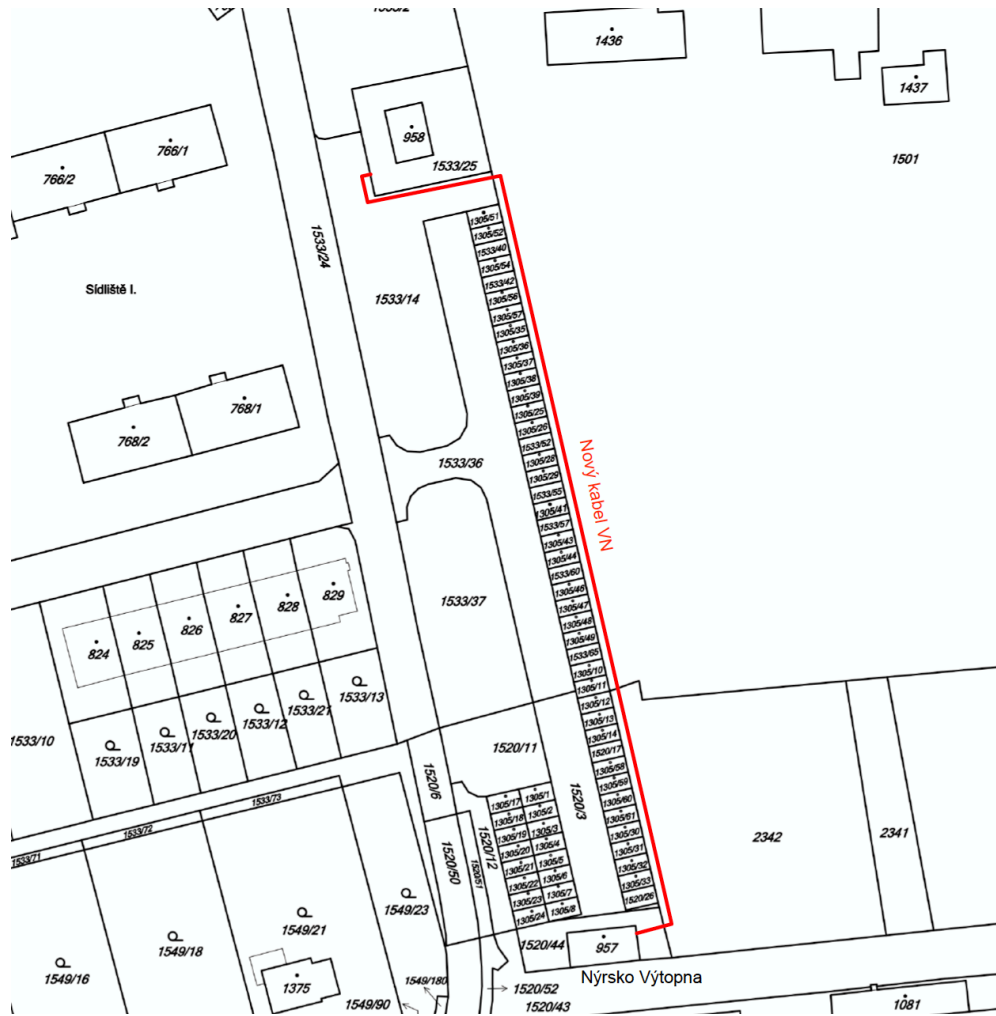
3.5.1. Přípojka VN

V rozvodně pojmenované Nýrsko-výtopna bude připojen VN kabel 22 kV. Tento kabel bude připojen do kobky č.4, což můžeme vidět na jednopólovém schématu zapojení stávající rozvodny na obrázku Obr. 3.2. Místo připojení jsem zmapoval v softwaru GIS, podrobněji se tomuto věnuji v kapitole č. 4, přesně v podkapitole č. 4.1.

Kabel bude veden po přilehlém pozemku okolo stávajících garáží až do objektu stávající výměňkové stanice, kde bude ukončen ve skříni č. 22R1. Na obrázku Obr. 3.3 je znázorněna situace stavby, kde je zakreslen nový kabel VN do katastrální mapy.

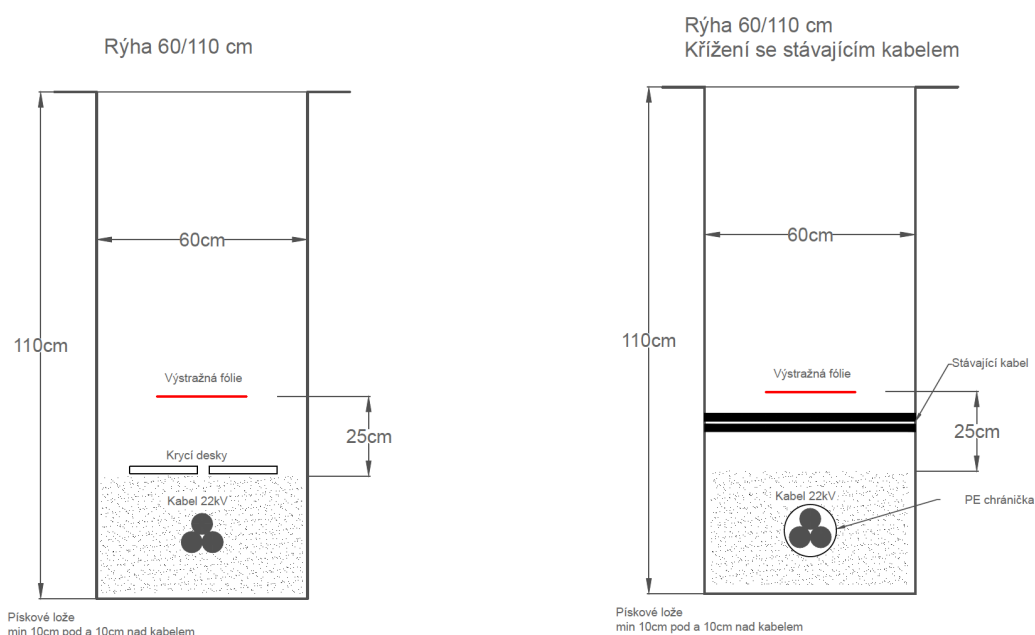


Obr. 3.2: Jednopolové schéma rozvodny Nýrsko-Výtopna



Obr. 3.3: Situace stavby – kabel VN

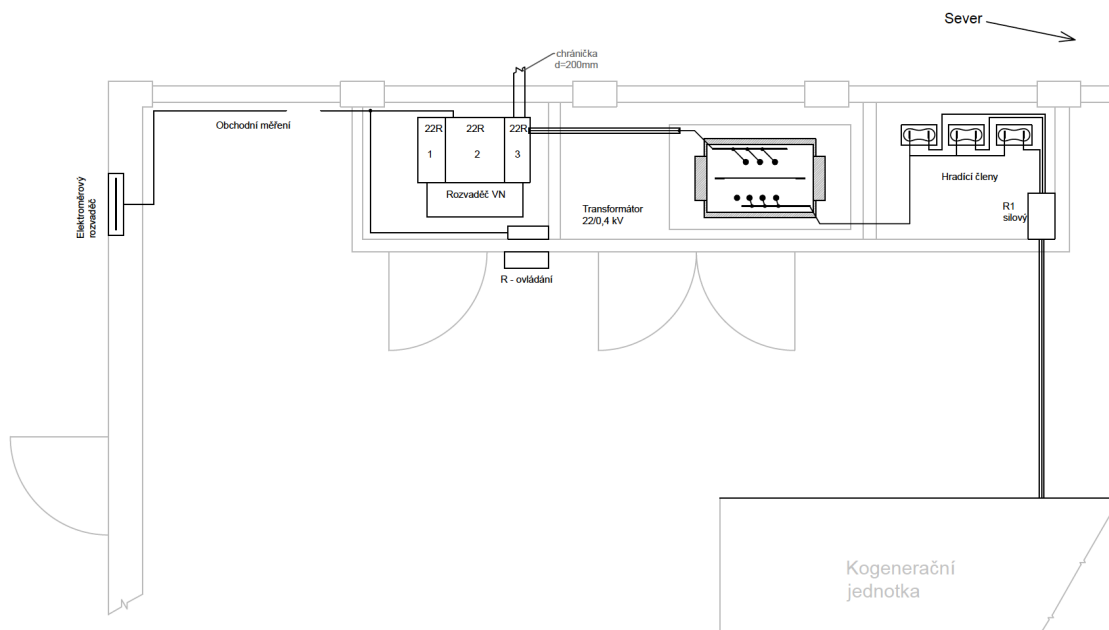
Na obrázku Obr. 3.4 pak můžeme vidět řez kabelovou rýhou. [9] Kabelové vedení bude uloženo v převážné délce trasy na upravené pískové lože ve volném terénu v rýze 60/110 cm. V případě přechodu přes cestu bude uloženo do chráničky a obetonováno. V případě křížení se stávajícím kabelem přejde do druhého typu výkopu znázorněného na obrázku Obr. 3.4. Vstupy do trafostanice a prostupy z budovy výměňkové stanice budou utěsněny proti vodě. Kabel VN bude použit typu 3x 22-AXEKVCEY 1x120 mm² v délce trasy cca 200 m.



Obr. 3.4: Řez kabelovou rýhou [9]

3.5.2. Trafostanice a rozvaděč VN

Pro umístění výrobního zařízení je nutná přestavba části stávající budovy na rozvodnu VN/NN a stání transformátoru pro vyvedení výkonu z nově instalované kogenerační jednotky TEDOM QUANTO 1200 (synchronní generátor). Celkové řešení je zobrazeno na obrázku Obr. 3.5. Technické řešení vyvedení výkonu musí být v souladu s podmínkami stanovenými ČEZ Distribuce ve Smlouvě o smlouvě budoucí. Vestavěná trafostanice bude sloužit k vyvedení a transformaci elektrického výkonu vyrobeného v kogenerační jednotce TEDOM na napěťové úrovni 400 V, do stávající distribuční sítě na napěťové úrovni 22 kV a o vypočteném a povoleném výkonu 941 kW. Tento výkon je specifikován v kapitole č. 4, kde se omezením výpočtu přímo zabývám.



Obr. 3.5: Dispoziční řešení výstavby transformační stanice

Trafo stanice bude rozdělena na 3 části. V první části budou umístěny hradicí členy HDO, které byly navrženy v podkapitole č. 3.4. V druhé části bude umístěn samotný transformátor, jehož jmenovitý výkon jsem zvolil 1250 kVA. V třetí části bude pak skříňový vysokonapěťový rozvaděč s náplní a izolací SF6 pro vyvedení výkonu. Schéma rozvaděče je na obrázku. V jižní straně budovy bude umístěn elektrický rozvaděč splňující podmínku bezproblémového přístupu pracovníků ČEZ Distribuce, a.s.

Specifikujeme ještě soustavy. Rozvodná soustava VN bude typu IT, jmenovité napětí 22 kV, 3 fáze o frekvenci 50 Hz. Rozvodná soustava NN bude typu TN-C-S, jmenovité napětí 0,4 kV, 3 fáze o frekvenci 50 Hz.

Jištění primárních obvodů transformátoru bude osazeno pojistkami s proudovou hodnotou 50 A. V poli č. 22R3 bude umístěna vypínací cívka 230 V s možností využití pro centrální vypínání – takzvaný Total STOP (Tímto tlačítkem lze odpojit transformátor T1, rozvodny NN i rozvaděče KGJ).

3.5.3. Primární obchodní měření

V rozvaděči 22 kV v poli 22R2 budou umístěny dvoujádrové měřicí transformátory proudu 3x30/5/5 A, 10VA pro nepřímé obchodní měření a pro dispečerské řízení. Měřicí transformátory napětí budou osazeny $\frac{22}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}} / \frac{0,1}{\sqrt{3}}$ kV, 10 VA, tř. přesnosti 0,5 úředně ocejchované. Sekundární proudy z těchto měřících transformátorů a napětí budou kabely přivedeny do skříně měření RE1 dle standardu ČEZ Distribuce ER 212 nebo USM. Skříň bude zabudována do vnější zdi výměňkové stanice. Ve skříně bude umístěn čtyř kvadrantový elektroměr, přijímač HDO pro řízení činného výkonu kogenerační jednotky. Pro možnost dálkového odečtu naměřených hodnot elektroměru bude skříň vybavena optočlenem GOU 6.

3.5.4. Stanoviště transformátoru

Stání transformátoru bude v samostatném prostoru. Stání transformátoru bude zabezpečeno zábranou (pletivem s výstražnou tabulkou), bránící přímému vstupu obsluhy k transformátoru. Pod transformátorem bude záchytná jímka opatřená plechovou vanou. Větrání transformátoru bude pomocí ventilačních žaluzií instalovaných do obvodové zdi výměňkové stanice. Na stání bude osazen olejový nízkoztrátový transformátor 1250 kVA, 22/0,4 kV. Přívod VN k transformátoru z rozvaděče 22 kV bude proveden jednožilovými celoplastovými kabely 3x22 AXEKVCEY 1x70 mm². Jednožilové kabely budou přichyceny pomocí příchyttek. Vývody NN od transformátoru budou provedeny kabelem 12xCHBU 1x240 mm² přímo ze sekundárních průchodek T1. Kabely budou vedeny od transformátoru vrchem přes pomocnou konstrukci do prostoru, kde budou připojeny ke svorkám hradících členů HDO.

3.5.5. Dispečerské řízení

V prostoru rozvodny VN/NN bude umístěna skříň řídicího systému distributora DŘ (dispečerské řízení). Do skříně dispečerského řízení budou připojeny kabely povelů a signalizace z polí rozvaděče VN. Dále budou do dispečerského řízení připojeny kabely signalizace a ovládání činného a jalového výkonu a účinníku.

Signalizace stavu pole VN 22R1

- *Signál odpínač vypnutý*

- *Signál odpínač zapnutý*
- *Signál uzemňovač vypnut – neuzemněno*
- *Signál uzemňovač zapnut –uzemněno*

Signalizace o provedené regulaci z rozvaděče dispečerského řízení

- *Signál 100 % nastavení jmenovitého výkonu*
- *Signál 75 % nastavení jmenovitého výkonu*
- *Signál 50 % nastavení jmenovitého výkonu*
- *Signál 0 % nastavení jmenovitého výkonu*

Pro měření napětí bude využito 2. Vinutí MTN označeného TV1 v rozvaděči VN v poli 22R2 (1. vinutí použito pro obchodní měření a 2. vinutí pro dispečerské měření a 3. vinutí pro síťovou ochranu).

Pro měření proudu bude využito MTP označené TA2 umístěné v rozvaděči R1.

3.5.6. Síťová ochrana kogenerační výroby

Síťová ochrana bude snímat hodnoty na straně sítě v rozvaděči VN v poli 22R2 a bude působit na jistič s motorovým pohonem v rozvaděči R1. Tato ochrana bude mít nastaveny parametry požadované distributorem ČEZ Distribuce, které jsem uvedl v podkapitole 3.2 .

V případě, že síťová ochrana zaregistruje na poruchu sítě (výpadek sítě nebo zakolísání sítě s ohledem na nastavené meze napětí), dá povel hlavnímu sekundárnímu jističi k vypnutí. Po obnovení bezporuchového stavu elektrické sítě se ochrana přestaví do polohy bez poruchy. Výrobna se může připojit k distribuční soustavě nejdříve v okamžiku, kdy napětí v distribuční soustavě bylo v předcházejících 20 minutách bez přerušení dle PPDS. Zpoždění připojení KGJ k distribuční soustavě je zajištěno síťovou ochranou.

3.5.7. Hradící člen HDO

Kogenerační jednotka v Nýrsku bude osazena synchronním generátorem 3x400V o elektrickém výkonu 941 kW. Transformátor 22/0,4 kV bude mít výkon 1250 kVA. Výrobna (KGJ) bude připojena do distribuční sítě 22 kV ČEZ Distribuce v blízkosti rozvodny 110/22kV Nýrsko. Vzhledem k požadavkům ČEZ Distribuce, které jsou v souladu s PPDS,

přílohou č.4 a úrovni signálu HDO v daném místě, je nutné zvýšit impedanci výroby v síti pomocí hradícího členu. Hradící členy se vyrábí v jednofázovém provedení. Budou umístěny v prostoru výměníku vedle stání transformátoru. Hradící člen bude připojen na napěťovou úroveň 3x400V a bude mít průchozí výkon rovný zdánlivému výkonu transformátoru 22/0,4kV.

3.5.8. Uzemnění transformační stanice

Uzemňovací soustava bude provedena dle ČSN 33 2000-5-54 a bude společná pro zařízení VN a NN. Maximální odpor zemnicí soustavy je 5 Ω . Mimo prostor stanice bude uložen FeZn pásek ve výkopu hloubky 80 cm a bude doplněn tyčovými zemniči. Zemnicí pásky se svaří nebo se pro spojení použije speciální spojka SR 02. Spoje se musí chránit proti korozi. Uzemňovací přívody pro připojení vnitřního ochranného pospojování se provedou páskem FeZn 30/4, který se ponechá s rezervou v délce 50 cm nad úroveň podlah. [3]

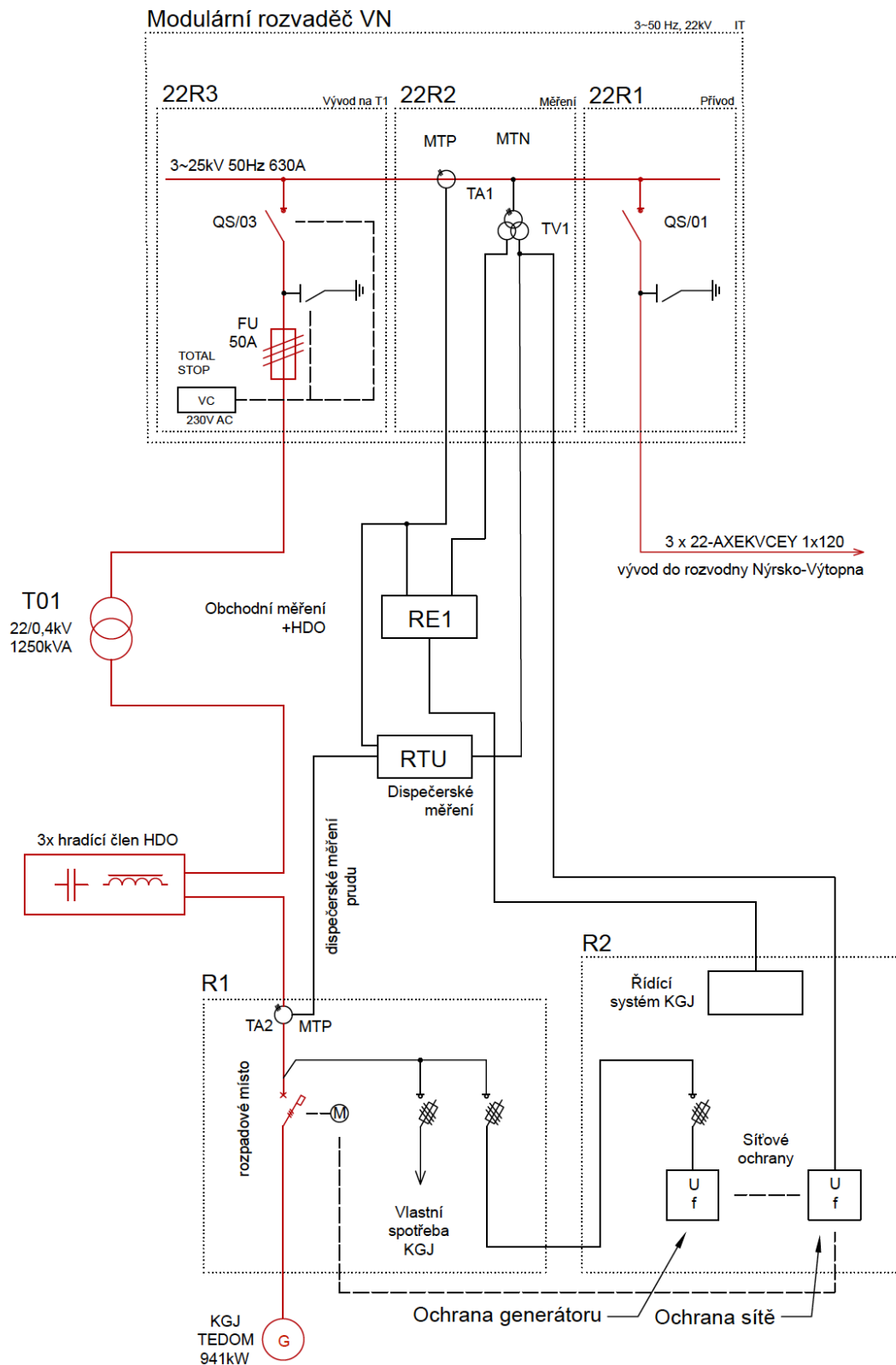
3.5.9. Vývodové jednopólové schéma výroby

Ve vývodovém schématu rozvodny na obrázku *Obr.3.6* je červeně vyobrazena cesta vyvedení výkonu. Začíná v generátoru TEDOM a pokračuje skrz rozvaděč R1, kde se odděluje část výkonu pro vlastní spotřebu a kde se nachází i rozpadové místo výroby. Dále proud teče skrz hradící členy HDO do transformátoru T01, odkud je vyveden na napěťové hladině 22 kV. Přiveden je na přípojnicí modulárního rozvaděče VN do pole 22R3, ze kterého je pak v poli 22R1 vyveden směrem do sítě.

Pole č. **22R1** – pole přívodní s odpínačem uzemňovačem pro připojení kabelového vedení přípojky VN z kobky trafostanice Nýrsko Výtopna.

Pole č. **22R2** – pole obchodního měření

Pole č. **22R3** – pole s odpínačem a pojistkami pro jištění transformátoru T1



Obr. 3.6: Jednopolové vývodové schéma

3.6. Závěr kapitoly Technické podmínky pro připojení

Dle PPDS je možné zanedbat vliv flikru, změny napětí při spínání a vliv produkci vyšších harmonických. Je však nutné uvažovat s vlivem změny napětí na distribuční

soustavu, kterému se podrobně věnuji v kapitole č. 4. Dále je třeba se zabývat útlumem signálu HDO, protože výrobná má jmenovitý výkon vyšší, než 400 kW. Zde jsem provedl návrh hradících členů, které je pak možné u specializované firmy objednat. Je nutné také připojit ochrany, které nastavíme podle tabulky uvedené v podkapitole č. 3.2. Nakonec jsem navrhl samotné technické řešení zahrnující návrh přípojky VN, trafostanice a rozvaděče VN, primárního obchodního měření, dispečerského řízení, síťových ochran, uzemnění a technické řešení pro dříve nadimenzovaný hradící člen HDO. Vytvořil jsem jednopólové vývodové schéma výrobní, na kterém je přehledně zobrazena cesta vyvedení výkonu. Vytvořil jsem mimo jiné i přehlednou dispozici stávající budovy se zákresem plánované výstavby transformační stanice v části této budovy.

4. Výpočet vlivu výrobní na distribuční soustavu

Úkolem této práce je vypracovat návrh připojení kogenerační jednotky do konkrétního místa v distribuční soustavě. V této kapitole zvážím připojitelnost kogenerační jednotky přesně tak, jak to provádí pracovník ČEZ Distribuce.

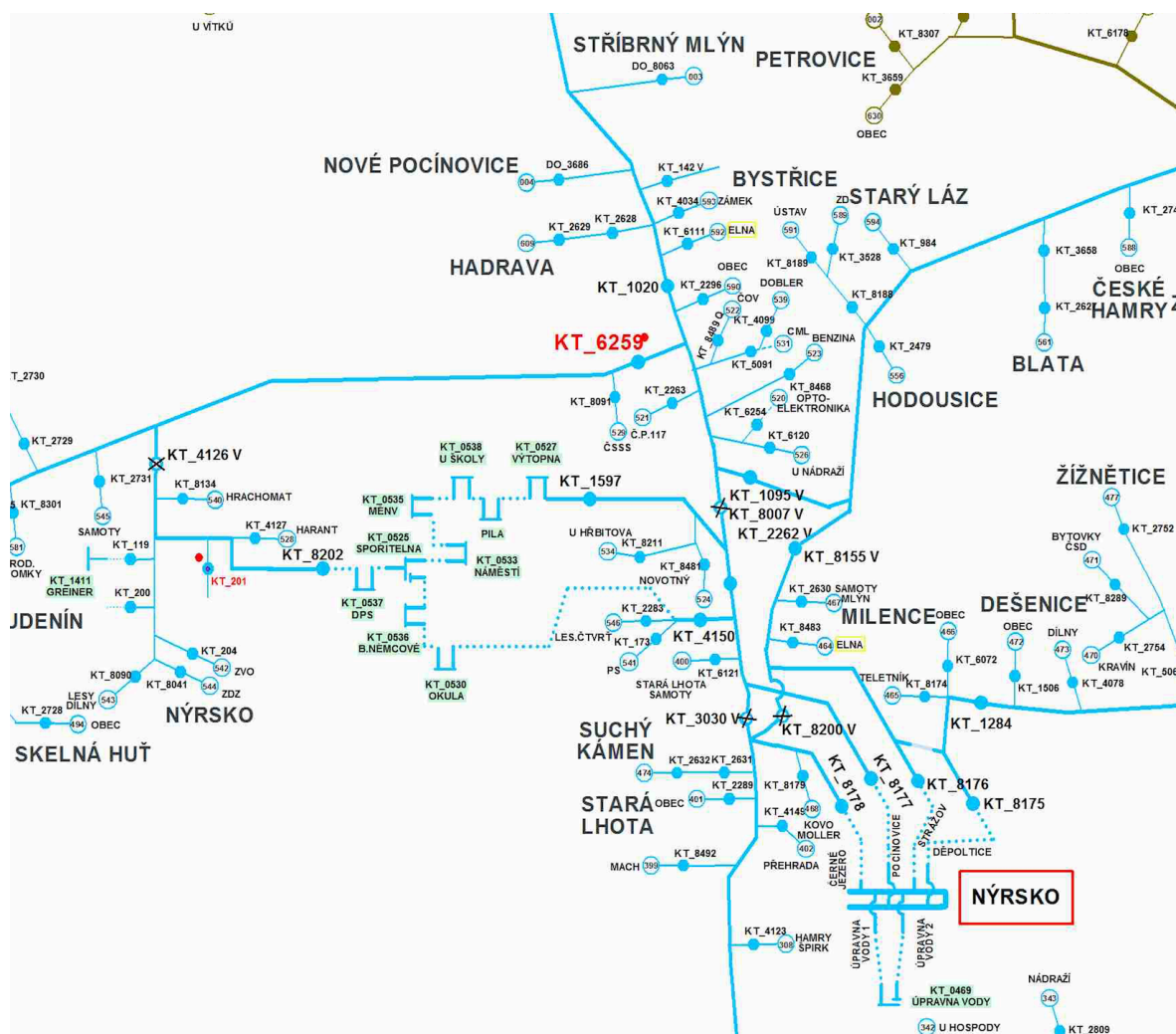
V minulé kapitole jsem zjistil, že mezi hlavní vlivy výrobní na distribuční síť patří změna napětí a ovlivnění signálu HDO. Filtry pro zamezení odsávání signálu HDO jsem navrhl také v minulé kapitole, proto se zde budu soustředit pouze na změnu napětí v DS. Pro tento výpočet má pracovník ČEZ Distribuce k dispozici software E-vlivy, pomocí kterého také stanovíme připojitelnost výrobní. Tento software pracuje s metodou uzlových napětí. Protože je ale práce zaměřena na připojení výrobní v reálném místě, v následující podkapitole nejprve rozeberu toto konkrétní místo v DS.

4.1. Připojované místo

Výrobní budu připojovat v Nýrsku, v malém městečku v Pošumaví. Žije zde zhruba 5000 obyvatel, což představuje dostatečný potenciál i pro tepelný odběr. Město zásobuje teplem teplárna s již zastaralou technologií, která sníží svůj výkon a bude spolupracovat souběžně s novou technologií kogenerační jednotky.

Elektrinou zásobuje město nedaleká rozvodna 110/22 kV Nýrsko, konkrétně její 22 kV vývod označený Pocínovice. Tento vývod je dlouhý několik desítek kilometrů, nicméně naše místo připojení je vzdálené jen asi 6 km. Vývod je provozován jako paprskový, pro

nestandardní stavy je však připraveno náhradní napájení z rozvodny Domažlice. Toto náhradní napájení je realizováno vývodem označeným Pocínovice ze zmíněné rozvodny, standardně je však úsečník mezi vývody rozpojen. Pro přehled jsem si vyžádal výřez dispečerského schématu v oblasti Nýrsko, zobrazeného na Obr. 4.1. Schéma zobrazuje pouze síť 22 kV. Naše přípojné místo je v trafostanici označené VÝTOPNA KT_0527, která s transformátorem 22/0,4 kV zásobuje odběratele na hladině NN v okolí trafostanice.



Obr. 4.1: Výřez dispečerského schématu v oblasti Nýrsko

Dispečerské schéma je vhodné pouze pro přehledné zobrazení oblasti. Pro plně funkční zmapování a veškeré informace o DS používá ČEZ Distribuce software GIS. Tento CAD software umožňuje zadávat, číst a editovat informace o DS do mapy DS podložené katastrální mapou. Funguje na principu reálného měřítka, proto při oddálení je zde možné zobrazit celou Českou republiku a distribuční síť zakreslenou v ní a při postupném

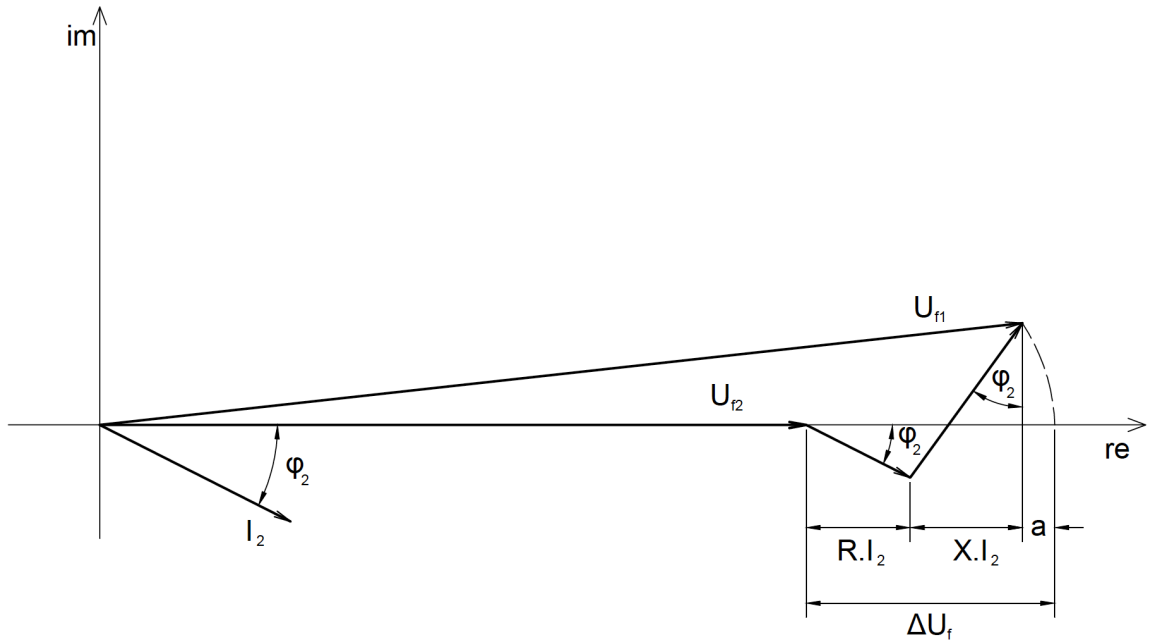
přibližování na kýžené místo se můžete dostat až např. na jednopólové schéma zapojení rozvodny, na kterou jste pohled přiblížili. Při kliknutí na prvek, např. na kabel VN, vidíte veškeré informace o tomto kabelu, jakými jsou nejen průřez, ale i datum výstavby nebo rekonstrukce. Nevýhodou tohoto softwaru je relativní nepřehlednost a na dnešní dobu velice pomalé reakce, zřejmě kvůli tomu, že program si každý pracovník spouští vzdáleně ze serverů ČEZu umístěných v Temelíně.

V GISu jsem si zobrazil přímo místo připojení, kterým je pro nás rozvodna Výtopna. Do této rozvodny bude napojena výrobná na hladině 22kV. Na následujícím obrázku můžete vidět rozložení přímo v katastrální mapě zobrazené v systému GIS.



Obr. 4.2: Vyobrazení místa připojení v GISu

Kogenerační jednotka s veškerou technologií i s vlastním transformátorem bude umístěna v objektu bývalé výtopny na parcele č. st. 888. VN kabel, kterým bude připojena povede souběžně se stávajícím VN kabelem ANKTOPV 3x120 zobrazeným červeně, až do rozvodny Výtopna (na obrázku Obr. 4.3). Zde bude připojena na DS. Pro úplnost jsem zobrazení v GISu přiblížil a otevřel jednopólové schéma rozvodny Výtopna.



Obr. 4.4: Fázorový diagram úbytku napětí na vedení VN [11]

Na fázorovém diagramu [11] můžeme vidět fázory napětí na začátku a na konci vedení označené U_1 a U_2 . Dále je zde proud procházející vedením I_2 a úhel mezi napětím a proudem $\cos \varphi_2$. Velikost úbytku mezi U_1 a U_2 označíme ΔU_f . Z fázorového diagramu pak plyne, že:

$$\Delta U_f = R \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + X \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2 + a$$

, kde pro a platí [11]:

$$a = U_{f1} - \sqrt{U_{f1}^2 - (X \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 - R \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2)^2}$$

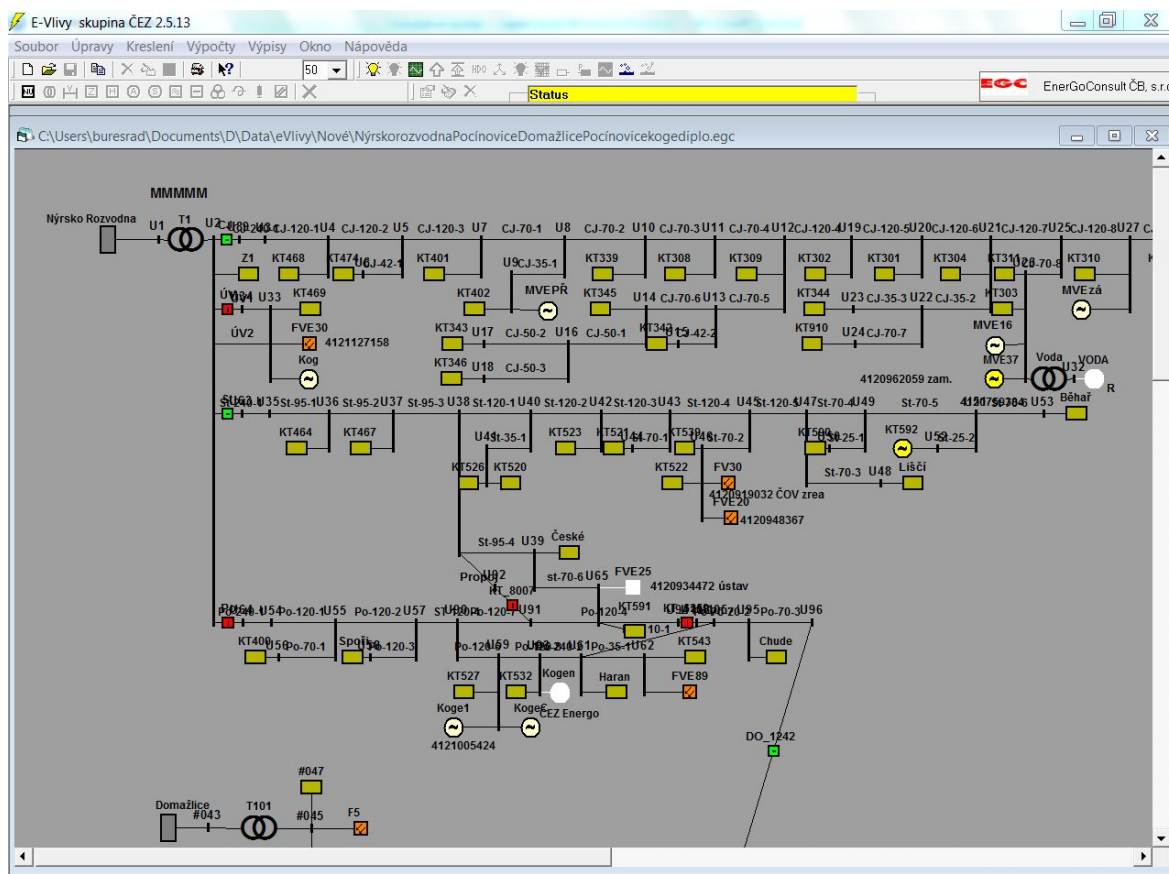
Takto lze spočítat úbytek na vedení VN, nicméně v praxi velice často zanedbáváme třetí člen a neboť je v porovnání s oběma členy velice malý. Vzorec pro úbytek pak dostává konečný tvar [11]:

$$\Delta U_f = R \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 + X \cdot I_2 \cdot \sin \varphi_2$$

Můžeme si všimnout, že nejen pasivní parametry mají vliv na úbytek napětí, ale i průchozí proud. Odběr elektřiny se každou hodinu dne mění dle statistického denního

diagramu zatížení. Proto nelze stanovit přesný odebíraný proud procházející vedení a počítá se s určitou jmenovitou hodnotou. U výroben se pak počítá s jmenovitým výkonem. Jestliže neprojde výrobní kontrolou na změnu napětí, obvykle se zasahuje do jejího instalovaného výkonu a nastaví se maximální instalovaný výkon jako nutná podmínka připojení. Další variantou je posílit distribuční soustavu v problematickém místě vedením s nižšími pasivními parametry, obvykle zvýšením průřezu. Tento zásah do distribuční soustavy však v praxi není reálný, protože je to nákladné řešení a vyhláška č. 16/2016 nepožaduje tyto úpravy po distributorovi. Proto jediným v praxi použitelným řešením je snížení instalovaného výkonu výroby.

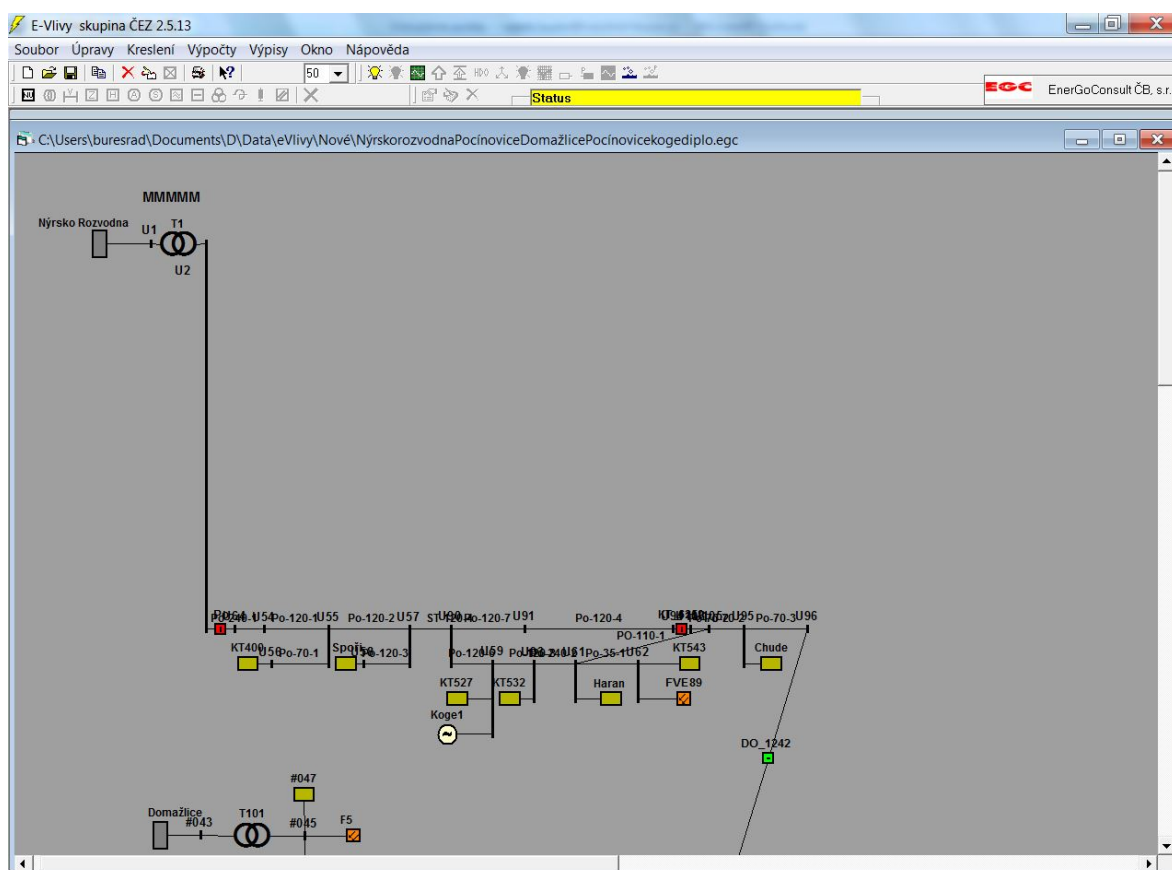
Pro kontrolu napětí si tedy v programu E-vlivy namodelujeme stávající síť se všemi vývody. Pro tuto kontrolu mi byl poskytnut model stávající sítě zobrazený na Obr. 4.5.



Obr. 4.5: Model sítě v programu E-vlivy

Vlevo nahoře můžeme vidět napájecí transformátor 110/22 kV v rozvodně Nýrsko a směrem doprava pak pokračují jednotlivé vývody; Černé jezero, Úpravna vody, Strážov a Pocínovice. Žluté obdélníčky zobrazují trafostanice a představují odběry, oranžové obdélníky zobrazují FV výroby. Naše kogenerační stanice je připojena dole na vývodu Pocínovice.

Korektní postup zahrnuje všechny vývody při porovnávání změny napětí. Protože je však takovýto postup výpočetně velice náročný, je třeba provést zjednodušení. Vymazal jsem tedy všechny vývody kromě vývodu Pocínovice, na kterém je připojená naše výrobná. Toto zjednodušení má na výsledek minimální vliv, nicméně výpočetně to programu opravdu pomůže.

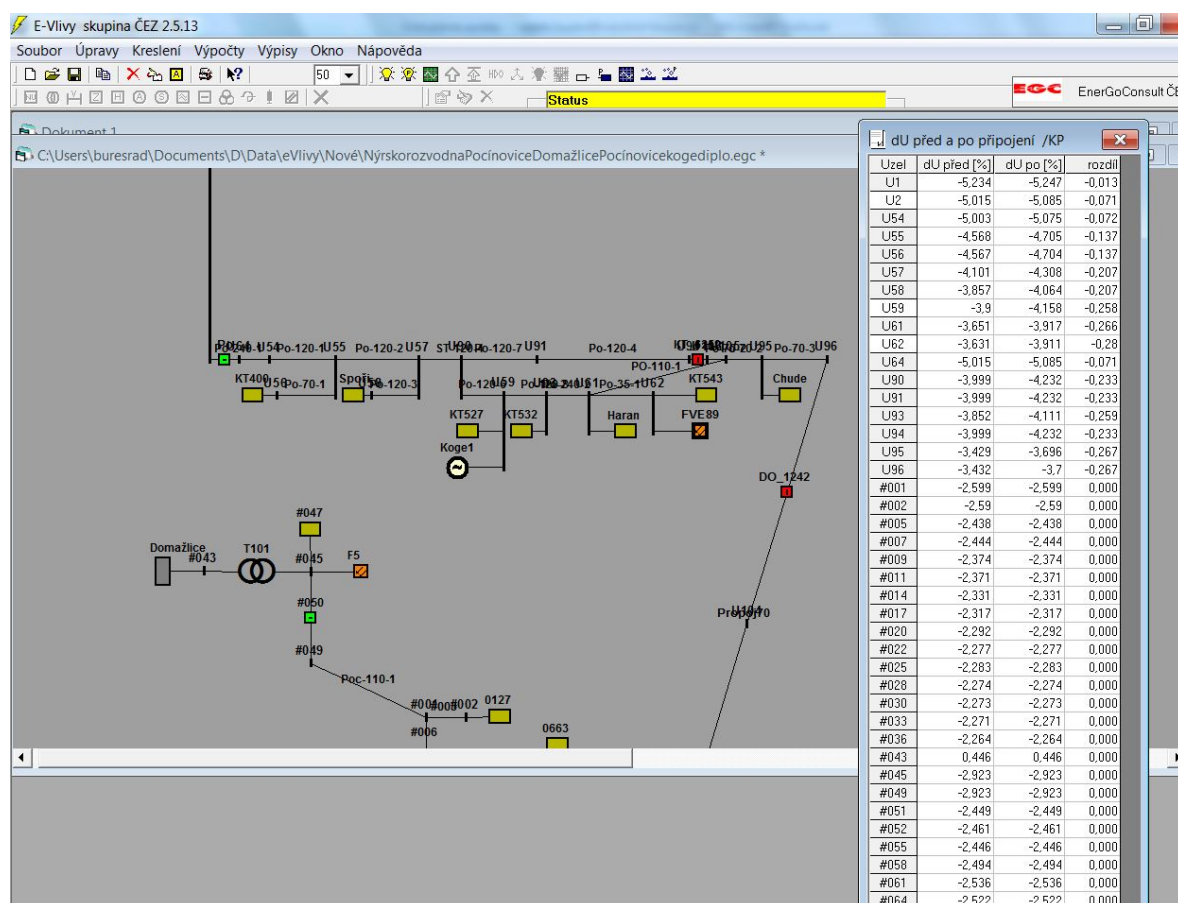


Obr. 4.6: Vyšetřovaný model sítě – po zjednodušení

Na Obr. 4.6 můžeme vidět model sítě po zjednodušení. Zůstal nám pouze napájecí transformátor a vývod Pocínovice. Připojená výrobná je označena Koge1. Instalovaný výkon je nastaven na 1000 kW a cos na 1 - výpočtová hodnota zvolená dle PPDS. Pokud si pozorně všimneme, konec vývodu je napojený směrem dolu. To značí záložní napájení. Kontrola se

4.2.1. Výpočet změny napětí při standartní napájecí konfiguraci sítě

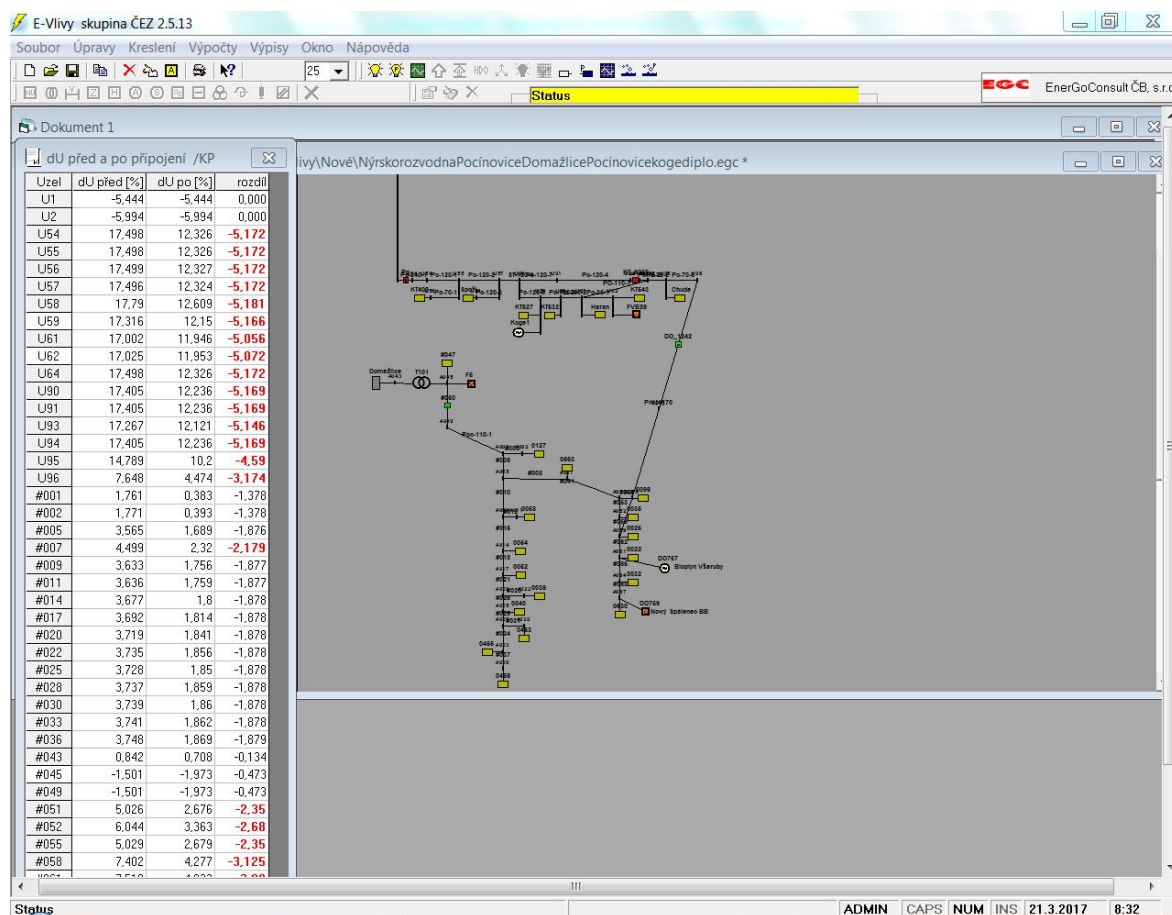
Jako první tedy spustíme simulaci základního stavu. Napájení je nakonfigurováno z rozvodny Nýrsko, výkon kogenerační jednotky nastaven na její instalovaný, úsečník propojující vývod s rozvodnou Domažlice rozpojený. Dle výsledků na Obr. 4.8 můžeme vidět, že změna napětí v žádném bodě nepřekročila stanovená 2 % a plánovaný instalovaný výkon je tedy možné povolit. To, že nám úbytky vyšly v desetinách procent je způsobeno tím, že v místech kolem Nýrska je postavená silná a naddimenzovaná síť s velkými průřezy. Úbytky proto nejsou tak veliké a změna napětí se tolik neprojeví. Pomáhá například i to, že výrobná je připojená do VN, na které běží synchronní generátor výrobní, tekly by síťi obrovské proudy, které by způsobovaly veliké úbytky na vedení a nebylo by v žádném případě možné splnit podmínku o změně napětí.



Obr. 4.8: Výsledky simulace při standartním napájení

4.2.2. Výpočet změny napětí při náhradní napájecí konfiguraci sítě

Druhou kontrolou, která je při posuzování připojitelnosti z hlediska změny napětí v síti, je kontrola na změnu napětí při náhradním napájení. Může se stát, že na transformátoru v rozvodně Nýrsko, který zásobuje celou oblast, bude třeba provést nějaké servisní úkony a dočasně bude postaven mimo provoz. Mimo provoz bude samozřejmě i v nenadálém havarijním stavu. Pro tyto případy je připraven plán náhradního napájení, kdy je síť



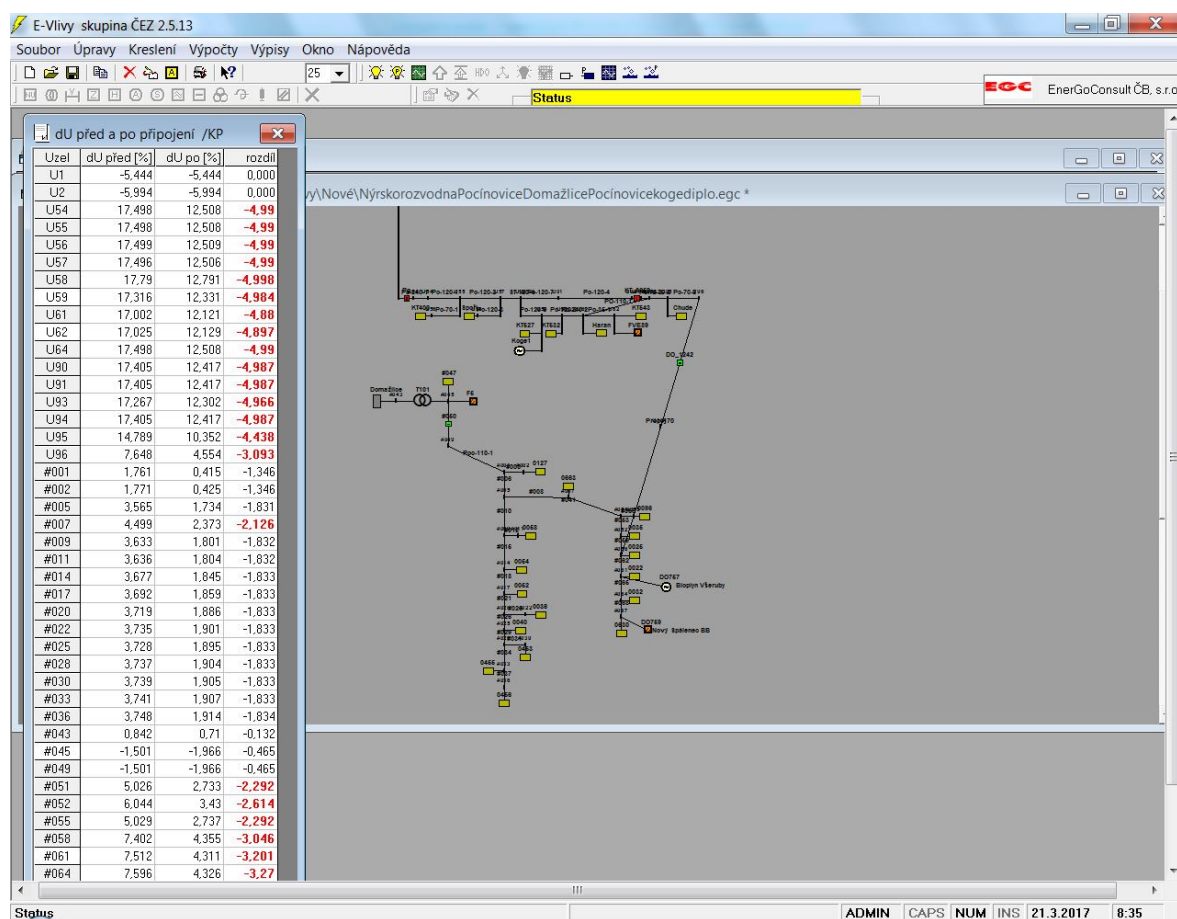
Obr. 4.9: Výsledky simulace při náhradním napájení – žádaný výkon 1000 kW

překonfigurována tak, aby oblast byla zásobena z ostatních rozvodů. V našem případě bude síť napájena z rozvodny Domažlice, jak bylo již výše uvedeno. Při této kontrole se však počítá s většími tolerancemi, právě kvůli tomu náhradnímu charakteru napájení. Tolerovaná změna napětí je tedy 5 % kladně i záporně.

Síť jsem v programu E-vlivy pomocí úsečnicků překonfiguroval tak, aby byla v náhradním provozu a spustil výpočet. Na obrázku Obr. 4.9 můžeme vidět, že v jistých uzlech došlo k navýšení napětí o více než 5 %. Tento stav je nepřijatelný a je nutné navrhnout

náhradní řešení. Jak jsem uvedl výše, jediné řešení je snížení povoleného instalovaného výkonu výroby.

Následuje se tedy postupné snižování výkonu se současnou kontrolou jednotlivých změn napětí, dokud všechny změny neklesnou pod dovolenou hodnotu. Postupnými iteracemi jsme se dostali na hodnotu 941 kW, která jako nejvyšší vyhovuje našemu limitu.



Obr. 4.10: Výsledky simulace při náhradním napájení – výkon 941 kW

4.2.3. Závěr

Pomocí softwaru E-vlivy jsem provedl kontrolu na změnu napětí po připojení výroby, která je jednou z hlavních kontrol při posouzení žádosti o připojení. Kontrola při standardní konfiguraci ukázala, že je možné bez problému připojit výrobu s instalovaným výkonem 1000 kW. Kontrola při náhradním napájení však ukázala, že 1000 kW není možné připojit a je nutné snížit instalovaný výkon na 941 kW. Proto je nutné počítat s tímto výkonem i v dalších fázích práce.

5. Ekonomická bilance projektu

Projekt je samozřejmě nutné v jedné z úvodních fází zhodnotit právě z ekonomického hlediska. V případě, že by se projekt nezaplátil nebo by byla návratnost projektu velmi dlouhá, nemá cenu do projektu investovat jakékoliv finanční prostředky a je lepší od projektu upustit.

V případě kogeneračních jednotek je základní a nutnou podmínkou zajistit odběr tepla jednotky. Teplo z kogenerační jednotky je důležitým zdrojem jejího příjmu. Samotná výroba elektřiny je sice dotována zeleným bonusem, ale jeho výše není nijak závratná. Společně s cenou za silovou elektřinu by nedokázala zaručit rozumnou návratnost projektu. Odběr tepla, stejně, jako odběr elektřiny by měl být zajištěn po celou dobu provozu kogenerační jednotky. Je tedy na důkladném zvážení, zdali, a jak velkou kogenerační jednotku v daném konkrétním případě instalovat. Kogenerační jednotky se vyrábí od výkonu několika kilowatt do několika tisíc kilowatt. Přičemž je běžné, že při velkých odběrech, jako jsou velké výrobní firmy, výtopy, nebo velké sportovní haly se skládají jednotlivé stroje do bloků. Skládáním menších strojů do větších bloků je prevencí proti celkovému výpadku např. v případě poruchy.

Pokud není možno vyroben teplo z kogenerační jednotky okamžitě spotřebovat, má smysl uvažovat i o systému akumulace tepla. Akumulaci je možné zařídit přídatnou vodní nádrží, která se natápí a v potřebnou dobu dodává teplo do topných systémů. V tomto případě je možné nechat kogenerační výrobu pracovat pouze v době, kdy je možné čerpat vyšší zelený bonus (tato doba je určena denním diagramem zatížení, kogenerační jednotka jej pomáhá vyrovnávat) a topit v podstatě pořád, ikdyž kogenerační jednotka není zrovna v provozu.

V případové studii výtopy v Nýrsku se vlastník objektu může rozhodnout dodávku tepla outsourcovat a vypsát výběrové řízení. Uchazeči pak zpravidla postupují tak, že v případě vítězství ve výběrovém řízení založí tzv. SPV, což je účelově založená firma s cílem provozování stroje kogenerační jednotky. Tímto prakticky dojde k očištění vlivů ostatních druhů podnikatelské činnosti a pomůže to ke zpřehlednění nákladů a výnosů z provozu, které je nutné pro získání bankovního financování. Zpravidla se zakládají společnosti typu s.r.o., které jsou pro provozování takového typu zařízení naprosto

dostatečné. Dále je nutné zvolit způsob financování. Zde máme 2 možnosti. Financovat projekt může úvěr, který poskytne banka nebo kapitál z vlastních zdrojů, které společnosti poskytnou společníci. Ve skutečnosti se v 90 % případů jedná o kombinaci obou možností. To zejména z toho důvodu, že banky si participací zdrojů investora snižují riziko návratnosti úvěrových prostředků a dosahují větší zainteresovanosti investora na očekávaných výsledcích celého projektu. Odhad prosté návratnosti.

5.1. Výpočet prosté návratnosti

Pro rychlé posouzení návratnosti investice se provádí rychlý předběžný výpočet, který nezahrnuje vliv času na financování projektu. Tento výpočet využívají především projektanti k demonstraci výhodnosti projektu. Prostou dobu návratnosti vypočteme podíl investičních nákladů a peněžních toků. Pro tento rychlý výpočet jsem sestavil excelovský nástroj, který ze zadaných veličin spočte dva hlavní ukazatele ekonomické výhodnosti projektu. Těmi jsou prostá návratnost v letech a celkový výnos po dobu životnosti.

Předběžný výpočet počítá se základními vstupními daty. Jako první jsem stanovil investiční náklady z reálné cenové nabídky společnosti TEDOM. Investiční náklady byly v této nabídce 13 182 000 Kč. V nabídce byl zmíněn i odhad ostatních nákladů, mezi které patří instalace výměňkové technologie, investice do stávající budovy a investice do elektrické části (nový transformátor atp.). Tento odhad byl společností TEDOM vyčíslen na 4 092 000 Kč, po rozumné konzultaci s odborníky z praxe jsem však přistoupil spíše k částce 10 000 000 Kč. Tato částka zahrnuje právě i nový transformátor, výzbroj transformovny, ale i 200 metrů VN kabelu, který je poměrně drahý (orientační cena se odhaduje na 2000 Kč/m).

Elektrický výkon byl uvažován 941 kW, totiž maximální možný činný výkon, který nám ČEZ dovolí (byl spočten v předešlé kapitole) a tepelný výkon 1031 kW. Ceny energií a paliv byly stanoveny dle aktuální situace. Doba čerpání vyšší sazby zeleného bonusu představuje 3000 hodin ročně [5]. Při překročení této provozní doby klesne podpora z 1560 Kč/MWh na 1160 Kč/MWh, což by znamenalo veliké znevýhodnění projektu.

5.1.1. Výpočet prosté návratnosti – krytí 20 % vlastních zdrojů

Jako první varianta bylo zvoleno 80 % krytí investic úvěrem s úrokem 3 %. Toto je celkem reálná hodnota úrokové sazby, která se na takové projekty poskytuje (zdroj:

konzultace u Raiffeisenbank). Hned v prvních řádcích druhé části výpočtové tabulky Tab. 5.1 si můžeme všimnout poměru mezi ziskem z elektrické a tepelné energie. Tepelná energie tvoří zhruba třetinu z celkově vyrobené energie. Zde je tedy na první pohled vidět, že v případě nedostatečného odběru tepla nemá vůbec cenu uvažovat o výstavbě kogenerační jednotky. Dále jsou zde vyčísleny další roční náklady, většina z nich srozumitelná již z popisu tabulky. Rád bych dovysvětlil položku osobní náklady. Do tich započítáváme především mzdy zaměstnancům, jakými může být údržbář, účetní, ale i samotní jednatelé společnosti, kteří si mohou také vyplácet mzdy. Proč by si měli vyplácet mzdy vysvětlím v závěru podkapitoly 5.1.

Prostá návratnost tedy vyšla přibližně 9,5 roku, celkový výnos pak 24 856 263 Kč.

5.1.2. Předběžný výpočet – krytí z 50 % vlastními zdroji

Jako druhou variantu jsem zvolil 50 % krytí investic úvěrem se stejným úrokem, výpočet je možné vidět v tabulce

Tab. 5.2. Ve výpočtu byl změněn pouze podíl krytí investic a prostá návratnost se prodloužila na 10,64 roku. Celkový výnos se snížil přibližně o 5,8 milionu korun. Logicky však zní, že čím víc z vlastních zdrojů dodáme, tím levnější a výnosnější projekt bude. Proč je to tedy přesně naopak?

vůbec). To je rozdíl např. oproti podporám obnovitelných zdrojů (FVE, VTE, MVE), kdy jsou zelené bonusy nárokovány až na 15 let. V tomto případě by se návratnost pohybovala v rozmezí 13 – 17 let.

5.1.4. Závěr předběžného výpočtu

Hlavním důvodem vyšších nákladů při hrazení většího procenta z vlastních zdrojů je skutečnost, že investice z vlastních zdrojů je zatížena úrokem 6 %. Zdá se poměrně nelogické mít zatížené vlastní náklady úrokem vyšším, než je úrok banky. Pokusím se tedy o vysvětlení.

V případě, že hradím investici z vlastních zdrojů, poskytnu vlastně společnosti (v našem případě kogenerační jednotce = s.r.o.) také úvěr. Tyto peníze jsem mohl jako fyzická osoba v klidu investovat do jiných směrů. Mohl jsem je investovat do spořicíh účtů, akcií jiných společností nebo do podílových fondů. V závislosti na rizikovosti produktu, do kterého jsem vložil peníze je stanovena i výše úroku, který je mi za ochotu vložit peníze vyplácen. V případě spořicíh účtů je úrok nízký, protože je zde vysoká jistota zisku. S podílovým fondy je to lepší, úrok je vyšší, ale i rizikovost ztráty stoupá. A zde se dostáváme k našemu podnikání. Rizikovost neúspěchu je oproti ostatním formám investování vysoká, proto je možné zatížit si tuto investici úrokem okolo 6 %. Nižší úrok by nepokryl rizikovost, vyšší by neakceptovala banka poskytující nám úvěr. Takže v případě vložení vlastních peněz do projektu se vlastně jedná o investování jako každé jiné. Každý rok nám tedy z těchto investovaných peněz bude chodit zpět navíc ještě 6 % úrok.

Z výše vysvětleného nám plyne, že je nejvýhodnější neinvestovat žádné vlastní zdroje a celý projekt zainvestovat z úvěru, přičemž vlastní zdroje, které nemusely být investovány budou použité na investice někde jinde a budou nám vydělávat další “extra” peníze.

To nám ale bohužel nedovolí banka, jakožto poskytovatel úvěru. Banka potřebuje mít určitou záruku, že projekt poběží správně a bude výnosný. Proto se nás snaží zavázat a většinou je to právě minimálním podílem financování z vlastních zdrojů. Ve výjimečném případě, když nemáme žádný kapitál na pokrytí vlastních zdrojů a bance se zdá projekt výhodný, může dojít k dohodě, kdy sice nemusíme vkládat do projektu vlastní finance, ale musíme je nahradit např. ručitelským prohlášením nebo zástavním právem k nemovitému

nebo movitému majetku investora. Můžeme ručit vlastní nemovitostí, auty nebo čímkoliv, co banka uzná za vhodné.

Dále vstupují do hry mzdy jednatelům. Jelikož je tento projekt můj, dá se předpokládat, že budu figurovat i jako jednatel společnosti, která se stará o chod kogenerační jednotky. Jak již bylo zmíněno, tyto mzdy jsou započteny do každoročních nákladů společnosti. Mimo výnosy z úroků investovaných financí a mimo skutečné výnosy ze samotné činnosti elektrárny, které se projeví až po určitém časovém období (zde hraje roli opět banka, která dovoluje vyplácet investory dle ukazatele DSCR – rozebereme později), dovoluje banka platit si za svou práci jednatele samozřejmě měsíční mzdu. Tato mzda se může reálně pohybovat mezi 40–60 tisíci korunami. Její výše není bankou nijak omezena, je však omezena zdravým úsudkem. Méně by dostatečně neocenovalo naší práci a více by bylo pro společnost příliš nákladné. Protože se jedná o mzdu, je nutné odvést z ní nejen daň z příjmu, ale také sociální a zdravotní pojištění. Proto při hrubé mzdě 40 000 Kč se bez veškerých slev dostáváme na čistou mzdu 29 630 Kč. Pro společnost jsou to však náklady na úrovni superhrubé mzdy, a sice 53 600 Kč. Státu se tedy odvede z těchto peněz 23 970 Kč, což je 44 % ze superhrubé mzdy. To je poněkud silné číslo oproti 19 % procentům daně z příjmu, kterou jsou zatíženy samotné zisky společnosti. Zde je vidět, že je výhodnější neplatit si příliš vysokou mzdu jako jednatel, ale získávat finance rovnou ze zisků společnosti, v tom nás však omezuje banka, která diktuje kdy a jak velkou částku můžeme získat v závislosti na splacení úvěru.

5.2. Diskontovaný výpočet

Předchozí výpočet prosté návratnosti je pouze rychlým orientačním nástrojem, díky kterému se můžeme rozhodnout, jestli má o projektu cenu vůbec uvažovat. Pro další postup a získání bankovního financování je však nedostatečný, proto jsem ve spolupráci se zkušeným ekonomem vytvořil nástroj pro případovou studii k tomuto projektu. Tato studie může dále sloužit pro nově vzniklou společnost jako demonstrace reálného financování projektu. Studii vyžaduje banka při zhodnocení žádosti o úvěr a vyžaduje ji i běžný soukromý investor jako obraz zhodnocení svého kapitálu.

Diskontovaný výpočet se od běžného liší uvažováním času a umožní mnohem přesněji stanovit cashflow v jednotlivých letech. Diskontovaný výpočet výpočet v sobě zahrnuje inflační očekávání, která mohou mít vliv na vývoj nákladů a jeho výstupem je vyhodnocení

dvou často používaných nástrojů pro porovnání výnosnosti investice, kterými jsou NPV a IRR.

5.2.1. Kritérium NPV – Čistá současná hodnota

Net Present Value, neboli čistá současná hodnota, vyjadřuje diskontovaný cashflow. Diskont v sobě může zahrnovat inflaci nebo i výnos alternativní investice. Cashflow je pak peněžní tok, který je výsledkem hospodaření společnosti. Jsou to tedy zjednodušeně náklady odečtené od výnosů. Z toho je jasné, že NPV se stará pouze o peněžní tok, který nám investice přinese (popř. vezme). NPV počítá s výsledným cash flow, které je v našem případě výsledkem kalkulace nákladů a výnosů v jednotlivých letech. Pro náš model můžeme NPV použít, protože cashflow lze vypočítat. Známe-li vstupní náklady, očekávané výnosy a provozní náklady, tak můžeme kalkulovat cash flow jednotlivých let např. na 20 let dopředu.

Stanovení diskontu je výsledkem úvahy míry rizika a očekávaného % výnosu např. jiné alternativní investice.

$$NPV = \sum_0^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (5.1)$$

Vzorec č. (5.1) [6] uvádí vztah pro výpočet kritéria NPV, kde CF_t značí cashflow v daném roce, T dobu životnosti a r diskontovou míru. Kladná hodnota NPV v cílovém roce, pak podporuje rozhodnutí k realizaci investice. Záporná hodnota naopak znamená, že investice nedává ekonomický smysl.

5.2.2. Kritérium IRR – Vnitřní výnosové procento

Internal rate of return neboli vnitřní výnosové procento [7] je kritérium podle kterého banka a investoři zhodnocují výhodnost projektu. Vnitřní výnosové procento není nic jiného než trvalý roční výnos investice. Jednoduše řečeno se jedná o diskont, při němž je NPV investice rovno nule.

$$NPV = \sum_0^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (5.2)$$

Pro určení vnitřního výnosového procenta vycházíme ze vzorce pro NPV (5.2), přičemž víme, že právě pro diskantovou míru ve výši IRR je NPV nulové.

$$0 = \sum_1^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (5.3)$$

Vzorec (5.3) [7] je pak definičním vzorcem kritéria IRR. Ze vzorce vidíme, že není snadné najít analytické řešení, a proto se úloha nalezení IRR řeší většinou numericky. Odhadem stanovíme IRR, dosadíme a vypočteme první iteraci. Víme pak, že vyjde-li NPV kladné, je nutné při druhé iteraci odhadnout vyšší IRR a naopak, vyjde-li záporné, volíme IRR nižší. Takto se dá poměrně rychle nalézt skutečné IRR, nicméně pro náš výpočet jsme v excelovském nástroji použili funkci „*vnitřní výnosové procento*“, která pracovala s cashflow jednotlivých let po odečtu investice vlastních zdrojů

Obecně platí stejně jako u NPV, že pokud je IRR vyšší u jednoho projektu než u druhého, pak je projekt výhodnější a rozhodnout bychom se měli pro tento. Jak se ale rozhodneme, pokud u jedno ze dvou porovnávaných projektů vyjde vyšší NPV a nižší IRR?

Pak záleží volba jen a pouze na investiční strategii. Tato situace neznamena nic jiného, než že projekt s vyšším NPV a současně nižším IRR přinese v absolutní hodnotě vyšší částku na náš účet, nicméně procentuální zhodnocení naší investice nebude tak vysoké. Druhý projekt nám pak sice nepřinese takové peníze, ale přinese vyšší zhodnocení našich peněz.

5.2.3. DSCR – Ukazatel míry krytí dluhové služby

Finanční ukazatel *Debt Service Coverage Ratio (krytí dluhové služby)*, je stanoven financující bankou a vypočítává se dle následujícího vzorce: (čistý zisk + odpisy + úroky z Úvěru) / (splátky jistiny a úroků z úvěru dle této smlouvy).

5.2.4. Výpočet NPV a IRR

Pro reálné zhodnocení mého projektu jsem provedl výpočet NPV a IRR, pro který bylo nejprve nutné sestavit tabulkový výpočetní nástroj. Výstupem tohoto nástroje je graf, na kterém je přehledně vidět finanční časová osa celého projektu.

Do tabulky Tab. 5.3 jsem zadal všechny údaje. Začal jsem rokem spuštění, a prvním měsícem výroby elektřiny. Instalovaný výkon jsem zvolil maximálně povolitelný, tedy spočtený v předchozí kapitole – 941 kW. Celkové náklady jsou stejné jako v případě základního výpočtu. Vzhledem k 20 % podílu vlastních nákladů se výše úvěru vyšplhala na 18 545 600 Kč. Datum čerpání úvěru bylo ponecháno na první den provozu elektrárny a úroková sazba zůstala opět na 3 %. Pro zjednodušení zanedbáme ztráty ve vývodovém transformátoru a na vývodovém vedení VN. Výkupní cenu elektřiny jsem stanovil dle pohybu ceny silové elektřiny na burze, ta se v uplynulých měsících pohybuje právě kolem částky 800 Kč/MWh. Cena tepla byla stanovena na úrovni současné ceny tepla dodávané

Tab. 5.3: Zadání vstupních hodnot diskontovaného výpočtu

Vstupní údaje	jednotka	hodnota	eskalace	info
Rok spuštění	[rok]	2017		
První celý měsíc výroby elektřiny	[měsíc]	1		
Instalovaný výkon	[kW]	941		
Celkové náklady	[tis. Kč]	23 182		
Vlastní zdroje	[%]	20,00%		
(Výše úvěru)	[Kč]	18 545 600		
Datum čerpání úvěru (předpokl. jednorázově)	[dd.mm.rrrr]	01.01.17		
Úroková sazba úvěru	[%]	3,00%		
Účinnost transformace a vyvedení výkonu	[%]	100,00%		
Výkupní cena elektřiny za	[Kč/MW]	800	1,50%	
Výkupní cena za teplo	[Kč/MW]	1 260	1,50%	
Zelený bonus	[Kč/MW]	1 560	1,50%	
Provozní hodiny/rok	rok	3 000		
Tepelný výkon	MW/hod.	1,031		
Elektrický výkon	MW/hod.	0,941		
Průměrná vlastní spotřeba elektřiny (příkon KGJ)	[MW]	0,02		
Náklady na plyn	[Kč/hod]	1 968	1,5%	
Osobní náklady (roční)	[tis.Kč/rok]	500	1,5%	
Správa, administrativa (roční)	[tis.Kč/rok]	200	1,5%	
Opravy běžné (roční)	[tis.Kč/rok]	100	1,5%	
Servisní náklady (smluvní servis dodavatel/roční)	[Kč/MWh]	221	0,0%	
Nájem prostor pro umístění KGJ	[tis.Kč/rok]	200	1,5%	
Pojištění (roční)	[tis.Kč/rok]	100	1,5%	

uhelnou výtopnou v Nýrsku. Netrvali na nižší ceně, protože instalací KGJ ušetřili několik desítek milionů na nutné odsíření staré výtopny. Výši Zeleného bonusu určil Energetický regulační úřad ve svém Energetickém regulačním věštníku [5], stejně jako omezil dobu provozu na 3000 hodin při dané výši zeleného bonusu. Náklady na plyn jsem stanovil dle cenové nabídky místně dostupných distributorů. Ostatní náklady jsem s odbornou pomocí odhadl dle dlouhodobých zkušeností. Roční eskalaci výnosů a některých nákladů jsem opět po diskuzi nastavil na 1,5 % ročně (podkladem byl odhad vývoje inflace MPO).

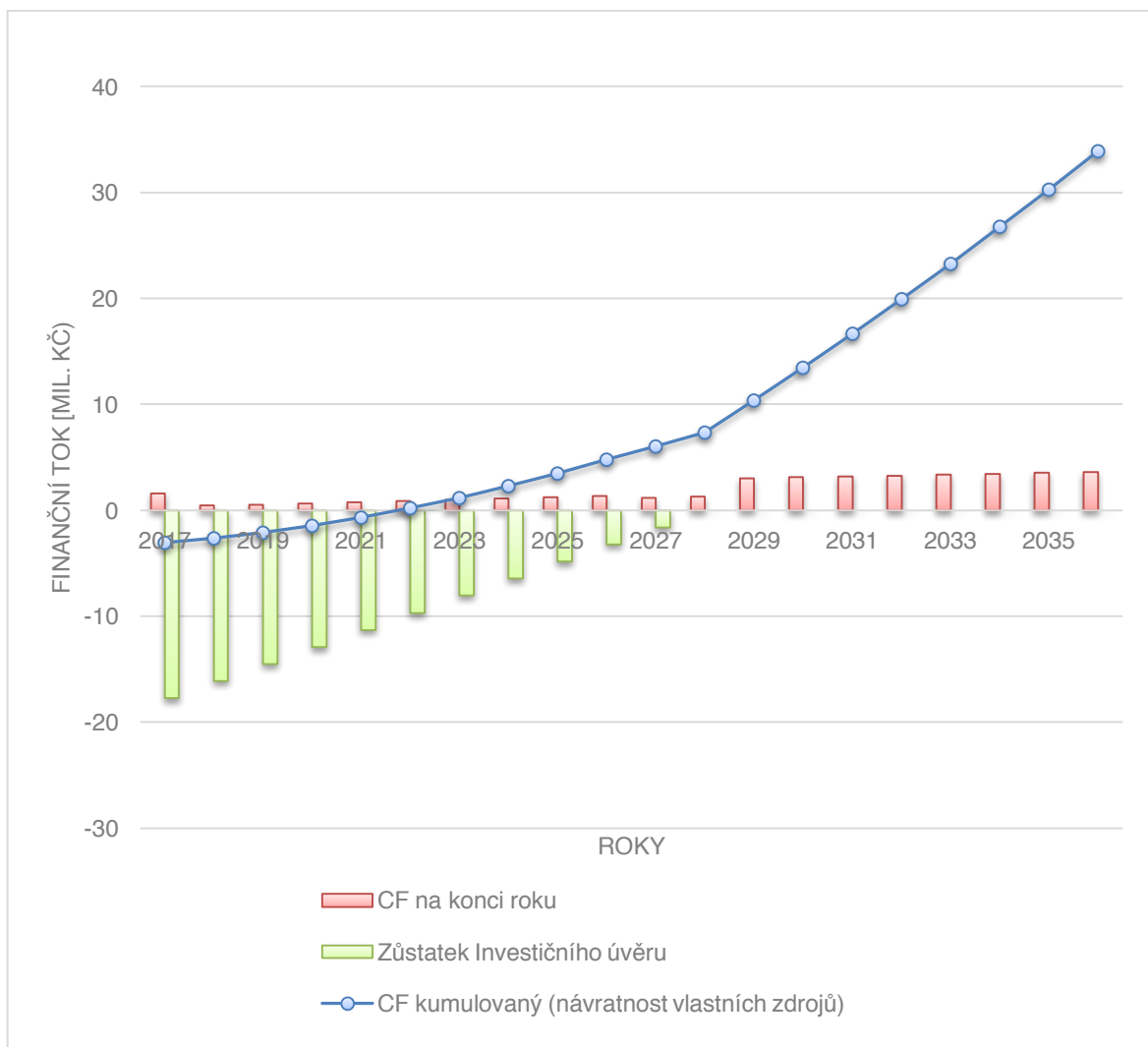
Délku splácení úvěru jsem vyhodnocoval podle výsledků z kapitoly 5.1. Prostá návratnost zde v obou případech vyšla pod 10 let, proto jsem ji nastavil na 11 let ve splátkovém kalendáři tohoto výpočtového nástroje.

V tabulce Tab. 5.4 můžeme vidět konečné zhodnocení projektu, které bylo počítáno pro rok 2036, tedy po uplynutí 20 leté doby životnosti. Diskontní míra byla stanovena ve výši 4 %. Kumulovaný cashflow vyšel 40 431 083 Kč. Tato hodnota lze přibližně zaměnit s hrubým výnosem z výpočtu prosté návratnosti. Ten však vyšel 51 940 500 Kč. Proč je tomu tak zhodnotím v závěru. Vnitřní výnosové procento vyšlo 38,9 %, čímž je vyšší než uvažovaný diskont 4 % a tento projekt je možno doporučit k realizaci.

Tab. 5.4: Zhodnocení projektu pro rok 2036

	2036
Míra výnosnosti IRR	28,2 %
Čistá současná hodnota (NPV)	19 346 747
Kumulovaný CF	33 905 998
Diskont	4,0 %

V grafu na obrázku Obr. 5.1 jsou na ose x znázorněny roky provozu výroby od roku 2017 do roku 2036. Červené sloupce znázorňují cashflow na konci roku, zelené pak výši nesplaceného úvěru. Můžeme si všimnout že roce 2028, tedy po 11 letech dojde ke splacení úvěru a následující rok cashflow povyskočí právě o částku již neplaceného úvěru. Modrá křivka znázorňuje návratnost vlastních zdrojů. Tato křivka je zpočátku záporná stejně jako vlastní zdroje na účtech společníků. Projekt postupně generuje další zdroje, takže vloženou část vlastních zdrojů již vydělá ve 4. roce. Dále roste částka na účtech společníků a jakmile dojde ke splacení úvěru, částka začne růst strměji, protože veškerý zisk už se rozděluje pouze mezi společníky.



Obr. 5.1: Graf finančních toků projektu

Do finančního plánování nám zasahuje ještě jeden ukazatel, tím je výše zmíněný DSCR – ukazatel míry krytí dluhové služby.

Výši DSCR si stanovuje banka sama, standardně to bývá okolo 1,2. V případě dosažení nižší hodnoty v uplynulém roce banka nepovolí nakládat se ziskem společnosti dle uvážení jednatelů. Jakmile je ale ukazatel DSCR vyšší, může být přebytečná hotovost (zisk po zdanění a odpisy) použita ke splátkám půjček společníků, výplatě podílu na zisku nebo pro další investice.

Tab. 5.5: Časově znázornění ukazatele míry krytí dluhové služby

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ukazatel míry krytí dluhové služby (DSCR)	2,7	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6
Míra výnosnosti IRR		-85,9 %	-50,3 %	-24,8 %	-8,6 %	1,9 %	8,9 %	13,7 %
Čistá současná hodnota (NPV)		-2 644 673	-2 144 504	-1 567 226	-916 942	-200 057	578 196	1 412 450

2025	2026	2027	2028
1,7	1,8	1,7	1,8
17,1 %	19,5 %	21,1 %	22,3 %
2 298 852	3 232 565	4 040 210	4 893 471

V tabulce Tab. 5.5 je znázorněn DSCR. Můžeme si všimnout, že v prvním roce je dost vysoký – to je způsobeno nízkou splátkou úvěru. V druhém roce klesne na 1,4, tato hodnota je však v pořádku, banka nás nebude omezovat v nakládání se ziskem. Dále má DSCR rostoucí tendenci, což je samozřejmě výborné a končí na 2,0 v poslední rok splácení úvěru, tedy 2028. Z celkového průběhu DSCR lze tedy usoudit, že banka jakožto poskytovatel úvěru jednatele nebude omezovat v nakládání se ziskem.

5.3. Závěr finanční bilance

Pokud se opět zaměříme na výpočet prosté návratnosti, kde bylo uvažováno s 20% krytí vlastními zdroji, všimneme si, že návratnost vychází mnohem delší než při výpočtu diskontovanou metodou. Jednoduchý výpočet prosté návratnosti totiž počítá jen s penězi jako s balíkem, který postupně nabývá a jakmile dojde k dosažení částky počátečních investic, můžeme říci, že projekt splatil vše a začíná být výnosný. Ve skutečnosti tomu však tak není.

Jako moment návratnosti můžeme totiž vzhledem k diskontovanému výpočtu označit moment, kdy se kumulovaný cashflow překlopí ze záporných čísel do kladných. V tento moment se splatila investice z vlastních zdrojů.

Z výsledků tak můžeme vyčíst, že výpočet prosté návratnosti se hodí spíše jako první nástřel, první informace o tom, jestli je vůbec vhodné se projektem zabývat. Pokud vyjde návratnost v rozumném období, například v půlce doby životnosti, je vše v pořádku. Pokud

však vyjde delší, než je doba životnosti, nemá cenu se projektem zabývat. Diskontovaný výpočet nám pak přesně ukáže to, jak se budou finance pohybovat a pohybovat v čase a umožní výpočty porovnávacích kritérií IRR a NPV, což investorovi dá přesnější informace pro rozhodnutí, zda do projektu vložit své investice a úsilí či nikoliv.

Dále je důležité vzít v úvahu zapojení všech komodit. Projekt má smysl pouze tehdy, je-li výnos generován prodejem silové elektřiny, tepla i zeleným bonusem. V případě, že by byl jedna z komodit chyběla, celý projekt by z podnikatelského hlediska nerentabilní.

Závěr

V této práci jsem nejprve zhodnotil legislativní podmínky projektu. Především Vyhláška č. 16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě udává základní pravidla pro podávání žádostí a chování distributora vzhledem k zákazníkovi. Zmapoval jsem i další postup při realizaci projektu. Dále jsem vyhledal technické údaje o připojované jednotce od společnosti TEDOM, s.r.o. a navštívil místo, kde by se měl celý projekt uskutečnit. Ke stanovení technických podmínek jsem využil především PPDS, zvláště přílohu č.4. Tyto podmínky jsem konzultoval s pracovníkem společnosti a navrhl technické řešení, doplněné o vhodné technické výkresy, v souladu s podmínkami distributora.

Ve čtvrté kapitole jsem se věnoval kontrole změny napětí při připojení výrobní, což je problematika, která je simulována prostřednictvím softwaru E-Vlivy. Společně s pracovníkem ČEZ Distribuce jsem provedl simulaci a stanovil podmínku maximálního povolitelného instalovaného výkonu, ze které jsem vycházel v kapitole poslední. Nakonec jsem projekt zhodnotil ekonomicky, nejprve jsem našel prostou návratnost projektu, poté jsem ve spolupráci se zkušeným ekonomem vypracoval diskontovaný výpočet, který nám ukázal veškeré finanční toky, a hlavně blíže specifikoval, jak se investice do takového projektu vyplatí.

Hlavně poslední kapitola ukázala, že projekt připojení kogenerační výrobní je za současných podmínek smysluplný. V případě změny jen jedné z nich by však bylo nutné celý projekt opět přehodnotit.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 458/2000 Sb.: Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Sbírka zákonů*. Praha: Ministerstvo vnitra ČR, 2000, ročník 2000, 131/2000, 458/2000.
- [2] *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV*. 1. Praha: Provozovatelé distribučních soustav, 2016.
- [3] ČSN 33 2000-5-54: *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. Ed 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [4] ČSN 33 2000-5-52: *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení*. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [5] Energetický regulační věštník. *Energetický regulační věštník* [online]. Jihlava, 2017, 17(1), 6 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV3_2017.pdf/f4f960a4-a03c-43e7-b92b-73c8f645ac30
- [6] Hodnocení investic: Čistá současná hodnota (NPV) stručně a jasně. *Businessvize.cz* [online]. Praha: Zikmund, 2010 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodne-a-jasne>
- [7] Hodnocení investic: Vnitřní výnosové procento (IRR). *Businessvize.cz* [online]. Praha: Zikmund, 2010 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-vnitri-vynosove-procento-irr>
- [8] ČSN 33 2160 (332160): *Elektrotechnické předpisy. Předpisy pro ochranu sdělovacích vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1993.
- [9] ČSN 73 6005: *Prostorové uspořádání sítí technického vybavení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.
- [10] *Vyhláška č. 16/2016 Sb.: Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě*. In: . Praha: Ministerstvo obchodu a průmyslu, 2016, 7/2016.
- [11] MERTLOVÁ, Jiřina, Martin KOČMICH a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Přenos a rozvod elektrické energie*. Plzeň: Západočeská univerzita, 1995. ISBN 80-708-2222-8.