

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

**POSOUZENÍ MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ
KOGENERAČNÍ VÝROBNY 138 MW
V PROSTĚJOVĚ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

Bc.TOMÁŠ VACEK

BRNO 2011

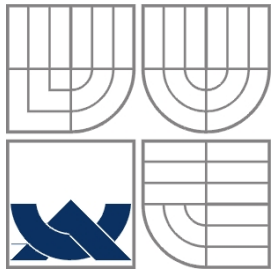
>>Vložit zadání práce<<

Bibliografická citace práce:

VACEK, T. *Posouzení možnosti připojení kogenerační výroby 138 MW v Prostějově*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Branislav Bátora.

Prohlašuji, že jsem svou **diplomovou práci** vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

**Posouzení možnosti připojení
kogenerační výroby 138 MW
v Prostějově**

Tomáš Vacek

vedoucí: Ing. Branislav Bátora

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

**The assessment of connectivity
138 MW combined heat and power
plant in Prostějov**

by

Tomáš Vacek

**Supervisor: Ing. Branislav Batora
Brno University of Technology, 2011**

Brno

ABSTRAKT

Cílem této práce je posouzení možnosti připojení kogenerační výroby 138 MW, která je ve stavu plánování. Tato výroba má být připojena do rozvodny 110 kV v Prostějově a sloužit k výrobě jak elektrické energie, tak tepelné energie pro blízké okolí.

V této práci se budeme zabývat jednak řešením ustáleného stavu stávající sítě o napěťové hladině 110 kV, tak i vlivy plánované výroby na tuto síť.

Kogenerační výroba vykazuje oproti výrobě elektrické energie vyšší účinnost přeměny energií v celém procesu výroby díky výrobě jak tepelné, tak i elektrické energie z primárních zdrojů paliva.

Jak v celém světě, tak i na našem území jsou stále jako palivo do elektráren nejčastěji používány neobnovitelné fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn), jejichž zásoby se postupně snižují. Zároveň jsou zdrojem oxidu uhličitého, který škodí atmosféře a dochází ke globálnímu oteplování. Daleko šetrnější k životnímu prostředí je jaderná elektrárna, která nevypouští škodlivé látky do ovzduší a je schopna vyprodukovat velké množství elektrické energie. Avšak problém nastává s vyhořelým palivem a jeho uložením. Jaderná energetika má společnou vlastnost s obnovitelnými zdroji energie - obě jsou vůči životnímu prostředí maximálně ohleduplné. Jaderné elektrárny však navíc disponují dostatečnou energetickou kapacitou a s nástupem reaktorů čtvrté generace budou schopny vyrábět elektřinu z již použitého jaderného paliva.

Stále více je kladen důraz na obnovitelné zdroje energie, které jsou daleko šetrnější k životnímu prostředí. Výhledově společnost ČEZ, jakožto největší producent elektrické energie počítá s větším využitím vodní energie, která se již dnes hojně využívá jako přehradní elektrárny, nebo přečerpávací. Další energie považovaná za ekologickou formu je energie geotermální a solární (fotovoltaická). Ovšem tyto ekologické formy v naší zeměpisné poloze nemají natolik silný potenciál, abychom jsme se mohli na tyto zdroje spoléhat. Další problematikou je dodávání výkonu do sítě závislé na počasí. Geotermální energie je nejvíce využívána například na Islandu, kde je dostatek vyvěrajících pramenů o vysoké teplotě.

Dnes nejvíce diskutovaná energie jako zdroj elektrické energie, je energie biomasy. Jedná se o využití dřevní hmoty, například odpad z lesní činnosti, z dřevovýroby, nebo spalování odpadů z předešlé lidské produkce či odpadů rostlinného a živočišného původu. Tato biomasa je vhodná jako palivo do tepelných elektráren.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Kogenerační výroba; Rozvodna; Elektrické energie; Tepelná energie; Fosilní paliva; Jaderná energetika; Obnovitelné zdroje energie; Vodní energie; Energie geotermální; Solární energie; Energie biomasy; Tepelné elektrárny

ABSTRACT

The goal of this project is to test the possibility to connect the Cogenerational generation of power 138 MW (still in the development stage) to the control room 110 kV in Prostejov production. This merge would product the electrical energy as well as the heat energy for all local area.

In this dissertation we will be considering the solution of the steady state (stationary state) of system with the voltage level of 110kV, as well as the influence of the generation of power on this system, there by the suggesting a connection.

The Congenerational production indicates higher effectiveness in the transformation of energy during primary production process due to the production of heat energy as well as the electrical energy from the primary power sources.

In our country, as well as around the world, commonly used fuels are fossil fuels- coal, crude oil, and gas. As the demand for energy grows, those supplies are slowly running out. Not to mention that those fuels have a negative environmental impact. They are a source of carbon, which causes damage to the atmosphere and leads to global warming. Power plants which do not produce carbon are much safer for the environment, and much more productive. However, the residue of this energy is challenging to dispose of. Nuclear energy has common attributes with renewing the sources of energies that are extremely friendly to our environment. Nuclear power plants also produce enough energy and with the usage of Fourth generation reactors, they will be able to recycle the nuclear fuels.

Today, more importance is put on renewing sources which are more gentle for the environment. In the near future, CEZ Company, the largest producer of electric energy is planning to use water energy. Water energy comes from water plants or dams. Other ecological forms of energy include geothermal and solar energies. These two types of energy are not as applicable for our geographical position. Geothermal energy is commonly used on islands where there is an abundance of natural hot springs.

The most discussed source of energy is bioenergy. It uses natural wood sources, recycled wood products, and applies bioenergy as a main source for thermal power plants.

Key words:

Cogenerational generation; Control room; Electrical energy; Heat energy; Fossil fuels; Nuclear energy; Renewable resources energy; Water energy; Geothermal energy; Solar energy; Bioenergy; Thermal power station

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	10
SEZNAM TABULEK	11
SEZNAM SYMBOLŮ.....	13
SEZNAM ZKRATEK.....	14
1 ÚVOD.....	15
2 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ A TEPELNÉ ENERGIE	16
2.1 ROZDĚLENÍ KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ	16
2.2 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ A PROPOJOVÁNÍ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK.....	18
2.3 PŘIPOJENÍ KOGENERAČNÍ VÝROBNY DO ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY	20
2.3.1 ŘÍZENÍ JALOVÉHO VÝKONU	21
2.3.2 ZVÝŠENÍ NAPĚTÍ	21
3 ŘEŠENÍ USTÁLENÉHO STAVU VEDENÍ 110KV	22
3.1 VÝPOČET USTÁLENÉHO STAVU JAKO LINEÁRNÍ ÚLOHA	22
3.1.1 ELIMINACE BILANČNÍHO UZLU	23
3.2 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU JAKO NELINEÁRNÍ ÚLOHA.....	24
3.3 MATEMATICKÉ METODY POUŽÍVANÉ PRO ŘEŠENÍ SÍTÍ VVN.....	26
3.3.1 NEWTONOVA METODA.....	27
3.3.2 GAUSS-SEIDELOVA METODA	27
3.4 TYPY CHYB A JEJICH ZDROJE PŘI VÝPOČTU MATEMATICKÝCH MODELŮ	28
3.5 ŘEŠENÍ CHODU SÍTĚ S ODBĚROVÝMI UZLY POMOCÍ GAUSS-SEIDELOVY METODY	28
3.6 ŘEŠENÍ CHODU SÍTĚ S ODBĚROVÝMI A REGULAČNÍMI UZLY POMOCÍ GAUSS-SEIDELOVY METODY	31
4 VÝPOČETNÍ PROGRAM E-VLIVY	32
4.1 VÝPOČETNÍ METODY	32
5 ZADÁNÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI.....	33
5.1 PARAMETRY POSUZOVANÝCH ZAŘÍZENÍ.....	34
5.1.1 PARAMETRY ŠPIČKOVÉHO ZDROJE	34
5.1.2 PARAMETRY PAROPLYNOVÉ TEPLÁRNY	34
6 ŘEŠENÍ USTÁLENÉHO CHODU STÁVAJÍCÍ SÍTĚ 110 KV	35
6.1 STAV PŘED VYBUDOVÁNÍM VEDENÍ KONICE – VELKÉ OPATOVICE.....	35
6.1.1 TECHNICKÉ PARAMETRY MODELOVANÉ SÍTĚ.....	35
6.1.2 VYPOČÍTANÉ HODNOTY USTÁLENÉHO CHODU DS 110 KV	37
6.1.3 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU S UVAŽOVÁNÍM SOUVISEJÍCÍCH ZDROJŮ A VĚTRNÝCH PARKŮ SKŘÍPOV 23 MW A MALÉ HRADSKO 26 MW.....	38
6.1.4 VYPOČÍTANÉ HODNOTY S UVAŽOVÁNÍM SOUVISEJÍCÍCH ZDROJŮ A VTE SKŘÍPOV A VTE MALÉ HRADSKO.....	39
6.2 POROVNÁNÍ VÝPOČTŮ USTÁLENÉHO CHODU	40

6.2.1 ZMĚNA NAPĚTÍ VE SLEDOVANÝCH UZLECH.....	40
6.2.2 ZATÍŽENÍ VEDENÍ.....	41
7 ŘEŠENÍ USTÁLENÉHO CHODU SÍŤE 110KV VČETNĚ NOVÉ VÝROBNY	42
7.1 STAV PO ZMĚNĚ KONFIGURACE A BEZ NOVÉ VÝROBNY	42
7.1.1 TECHNICKÉ PARAMETRY MODELOVANÉ SÍŤE.....	42
7.1.2 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍŤE PO ZMĚNĚ KONFIGURACE A BEZ NOVÉHO ZDROJE	43
7.2 STAV PO ZMĚNĚ KONFIGURACE VČETNĚ NOVÉ VÝROBNY	44
7.2.1 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,96 KAP	45
7.2.2 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,97 KAP	45
7.2.3 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,98 KAP	46
7.2.4 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,99 KAP	46
7.2.5 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 1	47
7.2.6 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,99 IND	47
7.2.7 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,98 IND	48
7.2.8 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,97 IND	48
7.2.9 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,9681 KAP	49
7.2.10 PROVOZ VÝROBNY PŘI ÚČINÍKU 0,9983 KAP	49
7.2.11 SOUHRN POMĚRŮ V PŘEDÁVACÍM MÍSTĚ PO PŘIPOJENÍ VÝROBNY	49
7.2.12 SNÍŽENÝ VÝKON VÝROBNY PŘI RŮZNÝCH ÚČINÍCÍCH A DODRŽENÉ ZMĚNĚ NAPĚTÍ DO 2 % V UZLECH SÍŤE	51
7.3 STAV PO ZMĚNĚ KONFIGURACE VČETNĚ NOVÉ VÝROBNY A BEZ VTE MALÉ HRADISKO	53
7.3.1 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍŤE BEZ NOVÉ VÝROBNY A BEZ VĚTRNÉHO PARKU MALÉ HRADISKO.....	54
7.3.2 SNÍŽENÝ VÝKON VÝROBNY PŘI RŮZNÝCH ÚČINÍCÍCH A DODRŽENÉ ZMĚNĚ NAPĚTÍ DO 2 % V UZLECH SÍŤE BEZ VTE MALÉ HRADISKO.....	55
7.4 KRITÉRIUM N-1.....	57
8 NÁVRH TECHNICKO INVESTIČNÍCH OPATŘENÍ PRO ODSTRANĚNÍ NEGATIVNÍCH VLIVŮ KOGENERAČNÍ VÝROBY NA CHOD DISTRIBUČNÍCH SÍŤÍ.....	58
9 VYHODNOCENÍ VÝPOČTŮ A PŘÍPADNÝCH NAVRŽENÝCH ZMĚN A OPATŘENÍ	59
10 ZÁVĚR.....	61
POUŽITÁ LITERATURA	64
PŘÍLOHA Č.1	65

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr.2-1 Modulové uspořádání kogenerační jednotky se spalovacím motorem [15].....</i>	<i>18</i>
<i>Obr.2-2 Kontejnerové provedení kogenerační jednotky [15]</i>	<i>19</i>
<i>Obr.3-1 ES nahrazená galvanickým spojením prvků [4]</i>	<i>22</i>
<i>Obr.3-2 Fázorový diagram pro zdánlivý výkon induktivního charakteru [4].....</i>	<i>24</i>
<i>Obr.3-3 Nahrazení prvků sítě II článku [4]</i>	<i>26</i>
<i>Obr.3-4 Vedení nahrazené II článkem s vyznačenými toky výkonů [1]</i>	<i>30</i>
<i>Obr.6-1 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu [9].....</i>	<i>35</i>
<i>Obr.6-2 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu včetně souvisejících zdrojů [9].....</i>	<i>38</i>
<i>Obr.7-1 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu po provedených změnách konfigurace bez dodávky výrobnou do sítě [9].....</i>	<i>42</i>
<i>Obr.7-2 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu po provedených změnách konfigurace bez dodávky výrobnou do sítě [9].....</i>	<i>44</i>
<i>Obr.7-3 Graf změny napětí v přípojném místě v závislosti na účinníku generátoru při plném výkonu výrobní.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr.7-4 Hodnoty výkonu prostějovské výrobní včetně VTE Malé Hradisko (ΔU do 2%).....</i>	<i>53</i>
<i>Obr.7-5 Schéma DS 110 kV po změně konfigurace sítě včetně nové výrobní a bez uvažování VTE Malé Hradisko [9].....</i>	<i>54</i>
<i>Obr.7-6 Hodnoty výkonu prostějovské výrobní bez VTE Malé Hradisko (ΔU do 2%)</i>	<i>55</i>
<i>Obr.7-7 Schéma DS 110 kV pro výpočet kritéria N-1 na vedení 5577 a 5578 [9]</i>	<i>57</i>
<i>Obr.1 Schéma č.1</i>	<i>65</i>
<i>Obr.2 Schéma č.2</i>	<i>66</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab.3-1 Posun proudu a napětí v závislosti na charakteru výkonu. [4]</i>	25
<i>Tab.5-1 Parametry generátoru (SS1) [13]</i>	34
<i>Tab.5-2 Parametry transformátoru (T5) [13]</i>	34
<i>Tab.5-3 Parametry generátoru (SS2,SS3) [13]</i>	34
<i>Tab.5-4 Parametry generátoru (SS4) [13]</i>	34
<i>Tab.5-5 Parametry transformátoru (T6,T7) [13]</i>	34
<i>Tab.6-1 Napájecí soustava - Otrokovice</i>	35
<i>Tab.6-2 Transformátory</i>	35
<i>Tab.6-3 Vedení v posuzované oblasti</i>	36
<i>Tab.6-4 Zátěže</i>	36
<i>Tab.6-5 Napětí ve sledovaných uzlech</i>	37
<i>Tab.6-6 Proudý a výkony nejzatíženějších vedeních</i>	37
<i>Tab.6-7 Transformátory VTE Skřípov a VTE Malé Hradisko</i>	38
<i>Tab.6-8 Vedení a přívodní kabely VTE Skřípov a VTE Malé Hradisko</i>	38
<i>Tab.6-9 Vedení 5594</i>	39
<i>Tab.6-10 Související zdroje</i>	39
<i>Tab.6-11 Napětí v uzlech</i>	39
<i>Tab.6-12 Proudý a výkony ve vybraných větvích</i>	39
<i>Tab.6-13 Změny napětí ve sledovaných uzlech při ustáleném stavu sítě</i>	40
<i>Tab.6-14 Změna zatížení vedení mezi obcemi Otrokovice, Prostějov, Konice</i>	41
<i>Tab.7-1 Napájecí soustava - Čebín</i>	42
<i>Tab.7-2 Transformátory přidané po změně konfigurace sítě</i>	43
<i>Tab.7-3 Vedení přidané po změně konfigurace sítě</i>	43
<i>Tab.7-4 Zátěže přidané po změně konfigurace sítě</i>	43
<i>Tab.7-5 Napětí ve sledovaných uzlech</i>	43
<i>Tab.7-6 Proudý a výkony ve vybraných větvích</i>	44
<i>Tab.7-7 Změna napětí při účinníku 0,96 kap</i>	45
<i>Tab.7-9 Změna napětí při účinníku 0,97 kap</i>	45
<i>Tab.7-12 Změna napětí při účinníku 0,98 kap</i>	46
<i>Tab.7-15 Změna napětí při účinníku 0,99 kap</i>	46
<i>Tab.7-18 Změna napětí při účinníku 1</i>	47
<i>Tab.7-21 Změna napětí při účinníku 0,99 ind</i>	47

<i>Tab.7-24 Změna napětí při účinníku 0,98 ind</i>	48
<i>Tab.7-27 Změna napětí při účinníku 0,97 ind</i>	48
<i>Tab.7-30 Změna napětí při účinníku 0,9681 kap</i>	49
<i>Tab.7-33 Změna napětí při účinníku 0,9983 kap</i>	49
<i>Tab.7-36 Souhrn účinníků a změny napětí</i>	50
<i>Tab.7-37 Změna napětí při účinníku 0,96 kap a výkonu 121,5 MW</i>	51
<i>Tab.7-40 Změna napětí při účinníku 1 a výkonu 60 MW</i>	51
<i>Tab.7-43 Změna napětí při účinníku 0,99 ind a výkonu 35 MW</i>	52
<i>Tab.7-46 Změna napětí při účinníku 0,98 a výkonu 30 MW</i>	52
<i>Tab.7-49 Změna napětí při účinníku 0,97 ind a výkonu 27,5 MW</i>	53
<i>Tab.7-55 Napětí ve sledovaných uzlech</i>	54
<i>Tab.7-56 Proudů a výkonů ve vybraných větvích</i>	55
<i>Tab.7-57 Hodnoty výkonů nové výroby pro dané účinníky</i>	55
<i>Tab.7-58 Souhrnné hodnoty změny napětí pro snížené výkony v síti bez VTE Malé Hradisko</i>	56

SEZNAM SYMBOLŮ

Značka	Veličina	Značka jednotky
I	Elektrický proud	A
P	Výkon	W
P_e	Instalovaný elektrický	W_e
Q	Jalový výkon	VAr
S	Zdánlivý výkon	VA
S_k	Zkratový výkon	VA
U	Elektrické napětí	V
Y	Admitance	S
Z	Impedance	Ω
$\cos\varphi$	Účinník	-
f	Frekvence	Hz
φ	úhel	rad

SEZNAM ZKRATEK

Značka	Význam
AS1	Asynchronní generátory větrného parku Skřípov
AS2	Asynchronní generátory větrného parku Malé Hradisko
BHN	Uzel Bahňák v modelované síti
BO	Uzel Boskovice v modelované síti
DS	Distribuční síť
HDO	Hromadné dálkové ovládání
IND	Induktivní účinník (generátoru/zátěže)
KAP	Kapacitní účinník (generátoru/zátěže)
KJ	Kogenerační jednotka
KNC	Zátěž Konice v modelované síti
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
OKC	Uzel Otrokovice v modelované síti
PDS	Provozovatel distribuční sítě
PPDS	Pravidla pro provozování Distribučních soustav
PRT	Uzel Prostějov v modelované síti – předávací místo
SS1,2,3,4	Synchronní generátory kogenerační výroby v Prostějově
UCH	Ustálený chod sítě
U20	Uzel v modelované síti, který odpovídá přípojnici v obci Konice
vn	Vysoké napětí
VTE	Větrná elektrárna
vvn	Velmi vysoké napětí
Tab.	Tabulka
Obr.	Obrázek
atd.	A tak dále

1 ÚVOD

Vzhledem ke stále se zvyšující spotřebě elektrické energie v celosvětovém měřítku, je třeba tento trend moderní doby vyrovnávat výstavbou nových zdrojů. Na území ČR je výroba elektrické energie zajišťována především akciovou společností ČEZ (asi 70 %) a dalších více než 100 nezávislých výrobců. Kromě tepelných elektráren na fosilní paliva pracují na území ČR jaderné elektrárny Temelín a Dukovany, vodní elektrárny, větrné elektrárny, solární elektrárny i elektrárny spalující biomasu.

Elektrina se získává přeměnou jiné formy energie. Základem pro výrobu elektrické energie jsou přírodní zdroje, zejména uhlí, ropa, plyn, uran, voda, ale také sluneční záření a vítr. V mnoha případech se elektrická energie z jiných zdrojů získává několikastupňovou přeměnou. Například v tepelných spalovacích elektrárnách se mění chemická energie paliva nejdříve na energii tepelnou, dále na energii mechanickou z níž se pak pomocí generátorů vyrábí elektřina. Zařízení pro výrobu, přenos, rozvod a spotřebu elektrické energie tvoří soubor, nazývaný elektrizační soustavou. Ještě na počátku 20. století představovala rozvodná elektrická síť na území dnešní ČR pouze několik desítek menších zdrojů elektrické energie a několik málo kilometrů elektrických rozvodů. S postupem času se začaly stavět výkonnější elektrárny a propojovat se elektrickými vedeními do spolupracujících soustav nejen v rámci regionu, ale i mezi jednotlivými státy.

Výstavba nové výroby a následné připojení do elektrizační soustavy je podmíněno jistými předpoklady, které se musí ověřit v tzv. studiích připojitelnosti. Tyto studie zhodnotí například napěťové poměry v místě plánovaného připojení výroby do sítě, omezení signálu HDO, vliv harmonických, změny zkratového poměru v síti apod. Naším úkolem však nebude vytvořit studii připojitelnosti, pouze však určit napěťové a proudové poměry v síti bez a včetně nového zdroje a určení velikosti výkonu dodávaného do sítě při různých provozních stavech (pro různé hodnoty účinníku) a abnormálních stavech (kritérium N-1 pro vedení).

V této práci se budeme zabývat posouzením možností připojení výroby elektrické energie do sítě o napěťové hladině 110kV. Nejprve provedeme pomocí počítačového programu E-Vlivy výpočet ustáleného chodu sítě, do které budeme plánovanou výrobu připojovat, dále provedeme připojení nového zdroje a výpočty provedeme znovu. Důležitým ukazatelem pro možnost připojení nového zdroje do sítě je změna napětí, která po připojení zdroje nesmí překročit určité hodnoty. Pro tuto změnu napětí budeme pomocí výpočtů určovat hodnoty maximálního možného dodávaného výkonu výroby do elektrizační soustavy při daném účinníku. Dále provedeme určení velikosti dodávaného výkonu při kritériu N-1 pro vedení, které je vyústěno v rozvodně 110kV, do které bude připojena i nová výroba.

2 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ A TEPELNÉ ENERGIE

Kombinovaná výroba energií znamená společnou výrobu různých forem konečných energií z primárních zdrojů. Nejčastěji se využívá výroba tepelné a elektrické energie z primárních zdrojů jako např. uhlí, zemní plyn, ale i bioplyn a v neposlední řadě alternativní zdroje (např. vodík). Tento výrobní proces se nazývá Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET), nebo kogenerace.

Obecně se také tento druh výroby nazývá teplárna. Teplárna se od běžné kondenzační elektrárny se liší především v použitém technologickém zařízení a celkovém tepelném schématem. Teplárna je prioritně zdrojem tepla a vedle výtopny jedním z účinných řešení centralizovaného zásobování teplem.

Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie dosahuje vyšší účinnosti využívání primárních zdrojů oproti samotné výrobě elektrické, nebo tepelné energie a to i v případě centralizované, nebo decentralizované výroby. Účinnost oddělené výroby elektrické energie dosahuje 35% a tepla 85% z jednoho primárního zdroje. V případě účinnosti přeměny energií při KVET dosahujeme z primárního zdroje 30% elektrické a 50% tepelné energie. Zbytek představují ztráty. [2] [7]

Obecné výhody KVET:

- Společná produkce elektrické a tepelné energie, což vede ke zvyšování účinnosti využití primárního paliva.
- Možnost umístění výroby blízko místu energetického využití, čímž snižujeme ztráty vzniklé přenosem a distribucí elektrické (tepelné) energie.
- Relativně snadná připojitelnost k již existujícím technologiím a aplikacím v průmyslovém, komerčním a bytovém sektoru.
- Zvýšení podílu výroby z obnovitelných zdrojů v případě biopaliv.
- Omezení znečištění životního prostředí.
- Zvýšení konkurence mezi jednotlivými systémy energetického zásobování.[2][7]

2.1 Rozdělení kogeneračních technologií

Dělení přímých a nepřímých kogeneračních systémů lze provádět podle několika hledisek. Základní prvek, který určuje typ kogenerační technologie je primární jednotka (tepelný motor, palivový článek). Kogenerační technologie je dále možné dělit podle :

- použitého primárního paliva
- maximálního dosažitelného výkonu
- účelu využití
- samotné technologie a efektivnosti nasazení KJ

Využití primárních paliv (kapalných, plyných a pevných) v KVET je dále děleno podle využívání zdrojů:

- obnovitelné primární zdroje – sluneční energie, energie okolního prostředí (geotermální en.), biomasa
- neobnovitelné primární zdroje- fosilní paliva

Každá kogenerační jednotka (KJ) je schopna pracovat s určitým typem paliva, případně s více druhy paliv. V případě využití obnovitelných i neobnovitelných zdrojů v jedné výrobně, nazývá se hybridní. Dále lze rozdělovat počet použitých paliv. V případě použití například kapalných a plyných paliv zároveň, jedná se o tzv. duální systém.

Maximální dosažitelný výkon určuje mezní hodnoty elektrického a tepelného výkonu, které lze z kogenerační jednotky odebírat. Samotné kogenerační jednotky mají široké výkonové rozmezí od 1kW_E do 500kW_E . Dělení kogenerační výroby podle výkonu je následující:

- mikrokogenerace - do výkonu 50kW_e
- minikogenerace - do výkonu 500kW_e
- kogenerace malého výkonu - do výkonu 1kW_e
- kogenerace středního výkonu - do výkonu 50MW_e
- kogenerace velkého výkonu - nad výkon 50MW_e

Hodnota výkonu je také dána v závislosti na centralizované, nebo decentralizované výrobě.

Centralizované systémy využívají velkokapacitní výrobu ve velkých energetických výrobnách. Takovéto výroby lze umístit v blízkosti výskytu primárních zdrojů.

Decentralizované systémy se nachází blíže k místu spotřeby a mohou být provozovány energetickými výrobci a dodavateli nebo samotnými spotřebiteli.

Účel využití kogenerační technologie závisí na způsobu aplikace do systémů zásobování elektrickou a tepelnou energií.

Dělení podle účelu využití:

- základní
- špičkové
- záložní
- rezervní
- specifické

Pro vhodnější využití kogenerační jednotky pro určitý druh spotřeby elektrické a tepelné energie je dobré umístit KJ blíže ke spotřebě tepelné energie, než elektrické energie. Odběr tepelné energie rozhoduje o použití kogenerační jednotky.

Dělení kogenerační jednotky podle druhu spotřeby:

- centralizované zásobování teplem
- průmyslová kogenerace
- kogenerace pro komerční sféru
- kogenerace pro komunální sféru
- kogenerace pro bytovou sféru

Snahou o úsporu primárních zdrojů paliv, byl zaveden pojem vysoce účinná kogenerace definující úspory množství paliva, které musí být dosaženo jednotlivými kogeneračními technologiemi. Úspora množství paliva při KVET oproti oddělené výrobě musí být minimálně 10%.

Využívané kogenerační technologie při KVET, které se efektivností mohou porovnávat s oddělenou výrobou:

- kombinovaný cyklus s rekuperací tepla
- parní protitlaká turbína
- kondenzační turbína s odběrem páry
- motor s vnitřním spalováním
- mikroturbíny
- motory Stirling
- palivové články
- parní turbíny
- organické Rankinovy cykly
- jiné typy technologie představující kogenerační výrobu [2]

2.2 Konstrukční provedení a propojování kogeneračních jednotek

V současné době se jednotlivé kogenerační jednotky ve svém konstrukčním provedení od sebe příliš neliší. Dnes se prakticky nejvíce využívají dva systémy uspořádání – modulové a stavebnicové.



Obr.2-1 Modulové uspořádání kogenerační jednotky se spalovacím motorem [15]

Pro kogenerační jednotky menšího výkonu se provádí modulové uspořádání podle obrázku Obr.2-1 [15]. V takovémto provedení jsou zařízení umístěna v jednom modulu co nejbližší k sobě. Tím lze jednotlivé součásti snadněji propojovat a uspořit investiční náklady na výrobu takového zařízení. Další výhodou je snadné zapojení do kogeneračního systému, dále odpadá nutnost kontroly napojení jednotlivých částí kogenerační jednotky od stejného dodavatele. Moduly splňují předepsané normy pro provoz technologických celků, jejich instalace

je velice rychlá a provoz je plně automatizovaný. Připojovací podmínky pro instalaci modulu jsou přesně určeny například pro vyústění přírub pro připojení otopného okruhu, plynu, spalin, ventilačního vzduchu, vyvedení elektrického výkonu a zároveň parametry jednotlivých médií. Takové to moduly kogeneračních jednotek lze umísťovat do vnitřních i venkovních prostor. V případě potřeby je vhodné opatřit modul protihlukovými kryty.

Pro venkovní umístění kogenerační jednotky se používají kontejnerové provedení jako je na Obr.2-2 [15].



Obr.2-2 Kontejnerové provedení kogenerační jednotky [15]

Umístění jednotky závisí na možnosti připojení do elektrické sítě, přívodu paliva, statické únosnosti pod modulem, velikostí potřebného prostoru apod.

Pro kogenerační jednotky vyšších výkonů se provádí stavebnicové uspořádání. Výrobce dodá zákazníkovi kogenerační jednotku rozloženou na základní části, případně je složena z částí od různých dodavatelů. Celkové uspořádání souvisí se stavebním a technologickým projektem, který se řídí náležitostmi kogeneračního systému. Stavebnicové uspořádání má relativně nízké výrobní náklady a tím i nižší ceny jednotek. Snížení výrobních nákladů je vykoupené například vypracováním projektu na uspořádání kogenerační jednotky ve strojovně, samostatně řešit odvod odpadního tepla a další práce spojené s realizací. Protihlukový kryt se většinou řeší podle konkrétního uspořádání kogenerační jednotky.

Další vývoj konstrukčního uspořádání kogeneračních jednotek směřuje zlepšováním účinností, snižováním emisí, prodlužováním lhůt plánovaných oprav a životnosti, zkvalitňováním servisních služeb apod.

Z pohledu konstrukce dochází zejména ke zmenšování rozměrů jednotlivých modulů a k umístění elektrického rozvaděče do společného bloku.

Zmenšování rozměrů modulů závisí na rozměrech sestavy motoru s generátorem. Řeší se zejména půdorysná plocha, přičemž výška jednotky obvykle omezena není. Zmenšením rozměrů se zlepší manipulovatelnost s jednotkou a sníží se nároky na rozměry strojovny, zejména při instalaci většího počtu jednotek.

Umístování rozvaděče do společného bloku s jednotkou výrazně sníží náklady při zkoušení jednotky při výrobě, protože není zapotřebí propojit vyrobenou jednotku se zkušebním rozvaděčem a po přezkoušení opět zapojení demontovat. Další výhodou snižuje investice na propojovací kabeláž v případě umístění rozvaděče společně s jednotkou.

Kromě zlepšování parametrů kogeneračních jednotek, se dává také důraz na vzhled jednotky. Přestává tak být pouze funkčním zařízením přinášejícím jisté úspory, ale snaží se zaujmout vnějším provedením a vzhledem.

Kogenerační jednotky lze propojovat paralelně i seriově. Paralelní spojení je vhodné pro nové systémy, zejména pokud pokrývají větší část tepelného zatížení. Seriové zapojení kogeneračních jednotek je vhodnější při umístění do stávajících kogeneračních systémů, protože jsou zde menší nároky na změnu průtoků teplotních medií a na změnu v řídicích systémech.

Seriové i paralelní zapojení kogenerační jednotky lze provést u stávajícího kogeneračního systému, aby vytvářel dostatečný tepelný výkon. Kogenerační systém může pracovat v záložním nebo špičkovém režimu. Pokud je tepelný výkon dodávaný kogenerační jednotkou do systému vyšší, než který lze užitečně využít k tepelné spotřebě a je potřeba vyrábět elektrickou energii, musí systém obsahovat zařízení pro eliminaci, případně odvod nevyužitého tepla. Toto zařízení je řízeno podle teploty vratné vody do kogenerační jednotky.

Elektrický proud vyráběný kogenerační jednotkou je většinou střídavý třífázový. Napěťová hladina závisí na jmenovitém elektrickém výkonu jednotky a také na napěťové hladině v místě připojení do elektrizační sítě spotřebitele, případně do elektrizační soustavy. Jednotky o menších výkonech mají napětí 400 V, zatímco jednotky středních a velkých výkonů pracují na napěťové hladině vysokého napětí. V případě připojení jednotky do elektrizační soustavy pracuje výroba elektrické energie paralelně s ostatními elektrickými zdroji. Paralelní spolupráce výroby s ostatními zdroji do elektrizační soustavy značně zvyšuje možnosti provozních režimů kogeneračních jednotek a tím i zvyšuje možnosti jejich použití. Elektrizační soustava může jednak pokrývat špičkové elektrické zatížení spotřeby, případně může být přebytečná elektrická energie dodávána zpět do sítě. Elektrickou energii ze sítě lze také využít jako záložní zdroj. [2]

2.3 Připojení kogenerační výroby do elektrizační soustavy

V případě paralelního chodu kogenerační jednotky s elektrizační sítí je nutné, aby byly splněny podmínky podle Pravidel provozování distribučních soustav, zejména příloha č.4 (PPDS [10] [11]). Tyto pravidla je důležité dodržovat, aby bylo vyloučeno rušivé zpětné působení na síť nebo na zařízení dalších odběratelů.

Dle PPDS se stanoví způsob a místo připojení s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, výkonu a způsobu provozování vlastní výroby. Takto vybrané místo připojení a způsob provozu výroby zajistí, že vlastní výroba bude provozována bez rušivých vlivů na napájení dalších odběratelů. Při posuzování možnosti připojení z hlediska zpětných vlivů na síť se vychází z parametrů právě společného napájecího bodu, neboli místa připojení. Tyto parametry jsou například: zkratový výkon, resonance, připojovaný výkon výroby, ale i druh a způsob provozu vlastní výroby. [10] [11]

2.3.1 Řízení jalového výkonu

Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí uvádějí, že zdroje s výkonem 5 MW a výše (případně 1 MW a výše, pokud je potřeba) musí být vybaveny řízením jalového výkonu pro některý z následujících režimů:

- udržování zadaného účinníku
- udržování zadané hodnoty jalového výkonu (odběr/dodávka) podle provozního diagramu stroje (PQ diagramu)
- udržování napětí v předávacím místě (na výstupu generátoru, za blokovým transformátorem nebo v pilotním uzlu distribuční sítě) podle omezení PQ diagramu stroje.

Způsob řízení jalového výkonu výroby určuje provozovatel distribuční sítě (PDS) podle konkrétního místa připojení výroby do distribuční sítě (DS). Stejně tak velikost dodávaného (odebíraného) výkonu závisí na poměrech v daném místě DS. Provozovatel DS proto určuje účinník zdroje, dodávaný jalový výkon nebo velikost regulovaného napětí.

Obecně lze říci, že generátor musí být schopen pracovat s účinníkem 0,95 jak induktivního charakteru, tak kapacitního charakteru (přebuzený nebo podbuzený stav). Rozsah napětí na generátoru v mezích $\pm 5\%$ U_n a při kmitočtu 48,5 až 50,5 Hz. Dovolené hodnoty jalového výkonu se určí podle provozních diagramů alternátorů, která jsou použita ve výrobě

Výše uvedené hodnoty regulačního rozsahu mohou být modifikovány například z důvodu potřeby odlišné velikosti regulace jalového výkonu v dané lokalitě DS, nebo z důvodu jiného technologického zařízení (asynchronní generátory). Taková modifikace musí být povolena na základě uzavření zvláštní dohody mezi provozovatelem výroby a PDS. [10] [11]

2.3.2 Zvýšení napětí

Zvýšení napětí, které je následováno připojením nové výroby do DS nesmí ani v nejnepříznivějším případě překročit hranici 2 %. Tato hranice platí pro výroby připojené na síť vn a o napěťové hladině 110 kV. V podstatě jde o porovnání velikosti napětí před a po připojení výroby do DS, která nesmí být větší než 2 %.

Změna napětí při spínání jednotlivých generátorů nebo zařízení výroby nesmí taktéž v sítích vn a v sítích 110 kV překročit změnu 2 % před a po sepnutí zařízení. Dodržení těchto mezí zaručuje, že nedojde k vyvolání nepřijatelných zpětných vlivů. Dále nastává omezení při spínání zařízení výroby připojené na 110 kV pro častější spínání než desetkrát za hodinu na změnu napětí místo 2 % na 1,5 %.[8] [11]

Další důležitou kapitolou při posuzování možnosti připojení nového zdroje do DS je ovlivnění zpětnými vlivy na napájecí síť. Kromě již zmíněné změny napětí se jedná také o flickr, proudy harmonických, ovlivnění zařízení HDO. Většina těchto negativních vlivů jsou zejména vázány s výrobou elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie, zejména solární a větrné elektrárny. Pro posuzování možnosti připojení paroplynové výroby, která jako palivo bude používat zemní plyn se nebudeme blíže zabývat zpětnými vlivy na napájecí síť, kromě změny napětí v místě připojení výroby. Ovlivnění sítě flickrem a proudy harmonických není spojeno s tímto druhem výroby. Ovlivnění signálu HDO nebude posuzováno v této práci z důvodu již vypracované zprávy, která se tímto bodem již zabývala.

3 ŘEŠENÍ USTÁLENÉHO STAVU VEDENÍ 110kV

Vedení 110 kV má charakter distribučních vedení, ale považuje se za vedení velmi vysokého napětí. Vedení velmi vysokého napětí a zvláště vysokého napětí o napětíových hladinách 400 kV a 220 kV (110 kV) má charakter přenosových vedení, délky úseků dosahují často vzdáleností 100 km a přenášený výkon je ve stovkách MW.

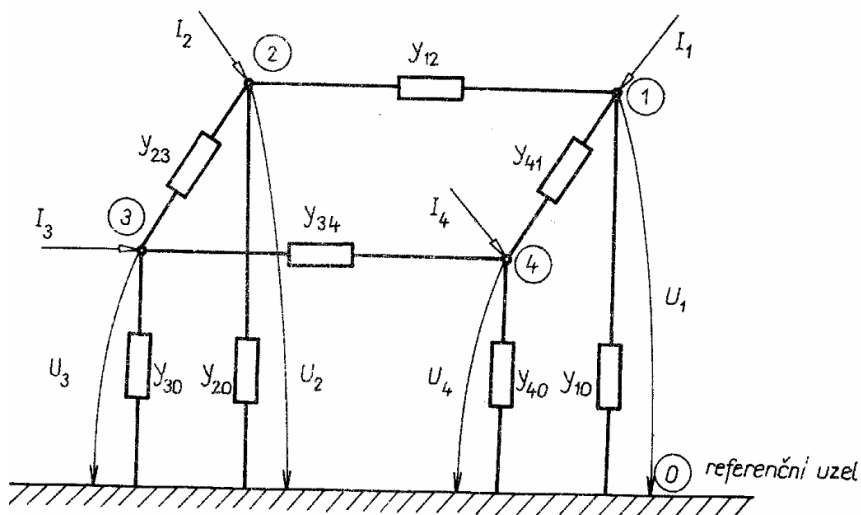
Vzhledem k rozlehlosti těchto sítí nemůžeme pro řešení ustáleného stavu použít zjednodušující předpoklady jako pro řešení sítí vn a nn. Musíme uvažovat proudy v příčném směru přenosu (kapacitami vodičů a konduktancí), které jsou řádově srovnatelné s proudy odběrů a mají podstatný vliv na ztráty výkonu a úbytky napětí.

V praxi jsou odběry a dodávky do sítě zadávány činnými a jalovými výkony. To má za následek, že chod sítě nelze popsat soustavou lineárních rovnic. Dostáváme tedy soustavy nelineárních rovnic, na které lze pro výpočet použít některé z iteračních metod.

Při sestavení základních rovnic ustáleného chodu můžeme použít některou z metod řešení lineárních obvodů, jako je metoda uzlových napětí nebo metoda smyčkových proudů.[4] [1]

3.1 Výpočet ustáleného stavu jako lineární úloha

U výpočtu ustáleného chodu pomocí lineární úlohy předpokládáme, že jsou zadány odebírané a dodávané proudy do uzlů sítě. Dále jsou známy prvky podélných a příčných admitancí. Příčné admitance spojují referenční uzel (zem) o nulovém potenciálu, s příslušným uzlem sítě. Pro přenosová vedení se nejčastěji používá náhrada vedení dvojbranem typu Π článku. Předpokládáme homogenně rozložené parametry v ustáleném stavu s dostatečnou přesností až do délky vedení 400 km. Vedení o kratších vzdálenostech lze nahradit také T článkem, ovšem tím nám v obvodu vznikne další uzel. Transformátory nahrazujeme Γ články. Předpokládáme, že všechny prvky sítě jsou přepočteny na vztažné napětí a proto můžeme použít zapojení na Obr.3-1 [4]. [4] [1]



Obr.3-1 ES nahrazená galvanickým spojením prvků [4]

Pro síť na Obr.3-1 můžeme použít matematický zápis soustavy rovnic pomocí metody uzlových napětí.

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (\mathbf{A}; \mathbf{S}, \mathbf{V}) \quad (3.1)$$

Indexy 1 až 4 značí příslušnost k danému uzlu v síti. Neznámá uzlová napětí značíme $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_4$. Zadané uzlové proudy značíme $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3, \bar{I}_4$, kde kladně jsou značeny dodávky do uzlu a záporně odběry z uzlů.

Pro předchozí soustavu můžeme použít zkrácený zápis v maticovém tvaru.

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}] \cdot [\bar{U}] \quad (\mathbf{\Omega}; \mathbf{U}, \mathbf{I}) \quad (3.2)$$

Z druhého Kirchhoffova zákona vycházíme při sestavování prvků admitanční uzlové matice $[\bar{Y}]$. Diagonální prvek \bar{Y}_{ii} je tvořen součtem incidenčních admitancí s i-tým uzlem. Mimo diagonální prvek \bar{Y}_{ij} pro $j \neq i$ je tvořen záporným součtem admitancí všech větví spojujících i-tý uzel s j-tým uzlem. Za předpokladu, že větve nemají induktivní vazby, můžeme podle Obr.3-1 zapsat :

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{22} &= \bar{y}_{12} + \bar{y}_{23} + \bar{y}_{20} \\ \bar{Y}_{21} &= \bar{Y}_{12} = -\bar{y}_{12} \end{aligned} \quad (\mathbf{S}; \mathbf{S}) \quad (3.3)$$

Pro přehlednost budeme značit admitance jednotlivých větví a větvové proudy malými písmeny a prvky admitanční uzlové matice a uzlové veličiny velkými písmeny.

Další možný zápis soustavy rovnic (3.2) ve tvaru :

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^i \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i=1,2,3,\dots,n \quad (\mathbf{A}; \mathbf{S}, \mathbf{V}) \quad (3.4)$$

kde n je počet uzlů v síti, bez referenčního uzlu, který je označen číslem 0.

Pokud neuvažujeme příčné admitance v síti, pak se nám matice $[\bar{Y}]$ stává singulární a soustava rovnic (3.2), případně (3.4) stává závislou. Tuto závislost odstraníme eliminací bilančního uzlu. [4] [1]

3.1.1 Eliminace bilančního uzlu

Bilanční uzel je nazýván takový uzel v síti, který obsahuje neznámý uzlový proud. Jeho úkolem je hradit neznámé proudy tekoucí v příčných větvích a vyrovnávat stav mezi dodávkami a odběry. Bilančnímu uzlu se zpravidla přiřazuje číslo 1. Abychom dostali v rovnicích (3.1), (3.2) a (3.4) stejný počet neznámých veličin, jako je počet rovnic, musíme v bilančním uzlu zadat známé napětí. [4] [1]

Z Obr.3-1 vyplývá, že v bilančním uzlu (uzel číslo 1) máme zadáno napětí \bar{U}_1 , můžeme soustavu rovnic (3.1) vyjádřit ve tvaru:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{21} \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{31} \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{41} \bar{U}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{Y}_{22} \bar{Y}_{23} \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{32} \bar{Y}_{33} \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{42} \bar{Y}_{43} \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (\text{A;S,V}) \quad (3.5)$$

Obdobně přepíšeme rovnici (3.4) na tvar:

$$\bar{I}_i = \bar{Y}_{i1} \cdot \bar{U}_1 + \sum_{j=2}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i=2,3,\dots,n \quad (\text{A;S,V}) \quad (3.6)$$

Nejprve určíme neznámá napětí \bar{U}_2, \bar{U}_3 až \bar{U}_n . Dále pro určení neznámého proudu \bar{I}_1 , provedeme výpočet jednotlivých proudů ve větvích sítě. K tomu potřebujeme provést eliminaci bilančního uzlu, neboli vypustíme první řádek, jak to je znázorněno v rovnicích (3.5) a (3.6). Soustavu rovnic (3.6) lze například řešit eliminační metodou, případně iteračními metodami. Další možností je přímá inverzní admitanční uzlová matice řádu $n-1$. Rozdělení proudů ve větvích náhradního schématu provedeme pomocí vztahu :

$$\bar{i}_{pq} = \bar{y}_{pq} (\bar{U}_p - \bar{U}_q) \quad (\text{A;S,V}) \quad (3.7)$$

kde proud tekoucí větví je \bar{i}_{pq} a \bar{y}_{pq} je admitance dané větve z uzlu p do uzlu q.

V případě uvažování příčných admitancí, můžeme proud v bilančním uzlu volit libovolně, ale zjištěné hodnoty uzlových napětí mohou být z praktického hlediska nesmyslné. [4] [1]

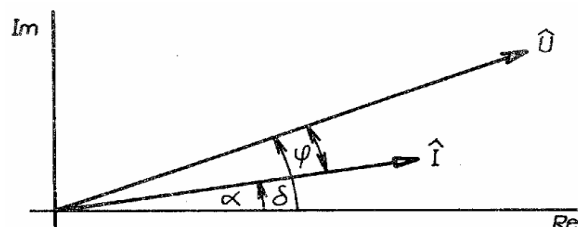
3.2 Výpočet ustáleného chodu jako nelineární úloha

Odběr výkonu z uzlu, nebo naopak dodávka výkonu do uzlu, je nejčastější zadání z praxe pomocí činného, nebo jalového výkonu. Z toho vyplývá, že pro i-tý uzel sítě máme zadaný výkon následujícím způsobem:

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{U}_i \bar{I}_i^* \quad (\text{VA;V,A}) \quad (3.8)$$

kde \bar{I}_i^* je komplexně sdružený proud k proudu \bar{I}_i .

Znaménka u jednotlivých výkonu ve vztahu (3.8) vycházejí z fázorového diagramu napětí a proudu, který je zobrazen jako Obr.3-2 [4]. [4]



Obr.3-2 Fázorový diagram pro zdánlivý výkon induktivního charakteru [4]

Předpokládáme-li dodávku činného a jalového výkonu s induktivním charakterem ze zdroje do sítě, pak vztah pro zdánlivý výkon ze zdroje do uzlu sítě bude :

$$\bar{S} = P + jQ = \bar{U}_i \bar{I}_i^* = U \angle \delta \cdot I \angle -\alpha = UI \angle \varphi = S(\cos \varphi + j \sin \varphi) \quad (\text{VA;rad}) \quad (3.9)$$

Výsledný fázový posuv pro induktivní charakter je tedy $\varphi > 0$ a hodnoty výkonů $P > 0, Q > 0$.

U odběrového uzlu předpokládáme záporný proud a z toho nám vychází opačná znaménka u činného a jalového výkonu v odběrovém uzlu, oproti uzlu dodávajícímu. Pro přehlednost si uvedeme následující tabulku.

Tab.3-1 Posun proudu a napětí v závislosti na charakteru výkonu. [4]

Uzel		Zdroj	Odběr
Posun proudu		$P > 0$	$Q > 0$
Induktivní	$\varphi > 0$	$Q > 0$	$Q < 0$
Kapacitní	$\varphi < 0$	$Q < 0$	$Q > 0$

Z tabulky je patrné, že v případě generátorického chodu, kdy dodáváme induktivní jalový výkon a kapacitního odběru jalového výkonu, jsou znaménka stejná. V praxi to znamená, že pro kompenzaci jalového induktivního výkonu můžeme použít výraz „výroba jalového výkonu“ pro místo spotřeby induktivního jalového výkonu.

Nyní přistoupíme k vyjádření vztahů pro proudy v uzlech. Pomůže nám k tomu rovnice (3.8), ze které dostáváme vztah:

$$\bar{I}_i = \frac{\bar{S}_i^*}{\bar{U}_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} \quad (\text{A}; \text{VA}, \text{V}) \quad (3.10)$$

Následným dosazením do rovnice (3.6) dostávám:

$$\bar{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i=2,3,\dots,n \quad (\text{A}; \text{S}, \text{V}) \quad (3.11)$$

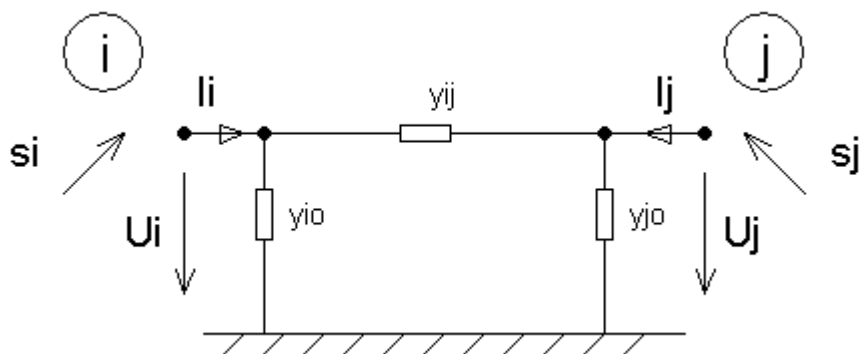
Z rovnic (3.6) a (3.11) je patrné, že byla provedena eliminace bilančního uzlu, jak je popsáno v kapitole 3.1.1. V našem případě, kdy máme zadány uzlové výkony, nám bilanční uzel hradí rozdíl mezi odběry a dodávkami a ještě ztráty činného a jalového výkonu v síti.

Soustava rovnic (3.11) se určí pomocí iterační metody, nejpoužívanější je Gauss-Seidlova nebo Newtonova metoda. Zadání pomocí výkonů v uzlech sítě, napětí bilančního uzlu a admitance Y_{ij} nám vytváří výslednou soustavu nelineárních (kvadratických) rovnic (3.11). Po výpočtu hledaných uzlových napětí, určíme toky výkonů v síti a výkonové ztráty. [4] [1]

Předpokládáme-li nahrazení jednotlivých prvků sítě Π články podle Obr.3-3 [1], můžeme proud a výkon vtékající do i -tého uzlu popsat rovnicemi :

$$\bar{I}_i = (\bar{U}_i - \bar{U}_j) \cdot \bar{y}_{ij} + \bar{U}_i \bar{y}_{i0} \quad (\text{A}; \text{V}, \text{S}) \quad (3.12)$$

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{U}_i \bar{I}_i^* \quad (\text{VA}; \text{V}, \text{A}) \quad (3.13)$$

Obr.3-3 Nahrazení prvků sítě Π články [4]

Obdobně určíme proud a výkon tekoucí do uzlu j :

$$\bar{I}_j = (\bar{U}_j - \bar{U}_i) \cdot \bar{y}_{ij} + \bar{U}_j \bar{y}_{j0} \quad (\text{A}; \text{V}, \text{S}) \quad (3.14)$$

$$\bar{S}_j = P_j + jQ_j = \bar{U}_j \bar{I}_j^* \quad (\text{VA}; \text{V}, \text{A}) \quad (3.15)$$

Nakonec určíme činné a jalové ztráty výkonů, které podle Obr.3-3 dostaneme algebraickým součtem výkonů tekoucích do uzlů i, j :

$$\Delta P_{ij} = P_i + P_j \quad (\text{W}) \quad (3.16)$$

$$\Delta Q_{ij} = Q_i + Q_j \quad (\text{VAr})$$

Předešlé výpočty jsou za předpokladu, kdy jsme trojfázovou síť nahradili jednofázovým náhradním schématem. Všechny rovnice jsou tedy uvedeny pro fázové hodnoty. [4] [1]

3.3 Matematické metody používané pro řešení sítí vvn

Pro řešení výpočtů v sítích vvn používáme iterační metody, které na rozdíl od přímých metod, nevedou k přesnému řešení po konečném, předem daném kroku. V iterační metodě zvolíme počáteční aproximaci řešení, kterou daným postupem v každém kroku iterace zpřesňujeme. Postupným zpřesňováním výsledků se obecně řečeno dostáváme k výsledkům až v limitě. Protože výpočet nelze provádět do nekonečna, po jisté době výpočet ukončíme. Ukončení výpočtu může být tehdy, pokud splníme stanovenou podmínku. Řešením soustavy je přibližný výpočet.

Iterační metody jsou vhodné k řešení soustav s velkým počtem rovnic a s řídkou maticí koeficientu. Pro malý počet rovnic je vhodnější použít eliminace.

Nejčastěji používaná je metoda Gauss-Seidlova a Newtonova metoda, někdy také nazývána Newton–Raphsonova metoda. Obě tyto metody se od sebe liší použitým matematickým aparátem. Mají svá specifika a také jisté výhody a nevýhody jejich použití. [4] [3]

3.3.1 Newtonova metoda

Jedná se o iterační metodu, která se nejvíce využívá k výpočtu nelineárních rovnic. Vychází s Taylorova polynomu a převádí řešení nelineárních rovnic na řešení lineárních, za postupného zpřesňování původního odhadu.

Newtonova metoda velmi rychle konverguje a většinou potřebný počet iterací málo závisí na velikosti sítě při zadané přesnosti ε . Nevýhodou této metody je značný nárok na paměť počítače, který vypočítává diferenciální kořeny. Dále také řešení soustav Jacobiánu značně prodlužuje čas výpočtu na jednu iteraci.

3.3.1.1 Shrnutí vlastností Newton-Raphsonovy metody

Výhody:

- Práce pouze s reálnými čísly, jednodušší vývojový diagram metody.
- Malý počet iterací k získání řešení.
- Kratší doba výpočtu, která nezávisí na rozloze sítě.

Nevýhody:

- Složitý algoritmus výpočtu (matice, derivace, součtové funkce, a další). [4] [3]

3.3.2 Gauss-Seidelova metoda

Tato iterační metoda se používá k výpočtu nelineárních rovnic. Konvergenci nám zajišťuje řádková a sloupcová diagonální dominance a také pozitivní definitnost matice. Je velmi podobná Jacobiho metodě (touto metodou se nebudeme blíže zabývat) s tím rozdílem, že při postupném výpočtu hodnot vektoru se do dalšího iteračního kroku zadávají hodnoty vypočítané v předchozím iteračním kroku. Tím dochází ke zpřesňování výsledků. Obecně se dá říci, že Gauss-Seidelova metoda konverguje rychleji než Jacobiho metoda, proto se používá častěji. Další výhodou oproti Jacobiho metodě je použití menší paměti počítače při ukládání předběžných výsledků.

Tuto metodu si v následující kapitole (3.5) popíšeme podrobněji z hlediska výpočtu ustáleného chodu sítě. [4] [3]

3.3.2.1 Shrnutí vlastností Gauss-Seidelovy metody

Výhody:

- Jednoduchý matematický výpočet (žádné derivace, matice a podobně).
- Téměř jistá konvergence k hledanému řešení.

Nevýhody:

- Při výpočtu pracujeme s komplexními čísly.
- Velký počet iterací k nalezení řešení.
- U velkých sítí je delší doba výpočtu. [4] [3]

3.4 Typy chyb a jejich zdroje při výpočtu matematických modelů

Pokud nebudeme uvažovat člověka jako zdroje chyb, můžeme chyby rozdělit na :

- Chyby matematického modelu, vznikající nahrazením reálné fyzikální situace matematickým modelem.
- Chyby vstupních dat, které jsou vnášeny vlivem nepřesného měření fyzikálních veličin.
- Chyby numerické metody, které vnášíme do výpočtu nahrazením původní matematické úlohy jednodušší úlohou numerickou. Vzniká při náhradě nekonečného procesu procesem konečným. Například při výpočtu hodnoty některé Taylorovy řady, dále při aproximaci určitého integrálu součtem konečného počtu funkčních hodnot. Odhadnutí této chyby je pro řešení jakékoli numerické úlohy velice důležitý.
- Chyby zaokrouhlovací, vznikající tím, že při výpočtech provádíme jisté zaokrouhlení čísel na určitý nevelký počet míst. Zaokrouhlovací chyby se nám při výpočtu mohou hromadit, nebo naopak navzájem rušit. Při rozsáhlém výpočtu je odhad této chyby velmi náročný. [3]

3.5 Řešení chodu sítě s odběrovými uzly pomocí Gauss-Seidelovy metody

Vycházíme ze soustavy výkonových rovnic sítě (3.17). Z hlediska neznámých napětí, se jedná o kvadratické komplexní rovnice, které budeme řešit přibližným výpočtem pomocí iterační metody.

$$\bar{S}_i^* = 3 \cdot \left(Y_{ii} U_i^2 - U_i^* \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ij} U_j \right), \text{ pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.17)$$

Předpoklad:

- V řešené síti uvažujeme pouze dva typy uzlů. Jeden uzel bilanční a ostatní uzly odběrové, nebo zdrojové.
- Bilanční uzel má číslo 1 a zadané napětí s fází je $U_1 = U_1 \angle 0^\circ$.
- Ostatní uzly mají označení 2 až n a jsou zadány činnými a jalovými výkony odběrů, nebo zdrojů.
- Jsou známy prvky uzlové admitanční matice [Y] řešené sítě.

Za těchto předpokladů přepíšeme výkonové rovnice (3.17) do tvaru:

$$U_i = \frac{1}{Y_{ii}} \cdot \left(\frac{P_i - jQ_i}{3U_i^*} + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n Y_{ij} U_j \right), \text{ pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.18)$$

Postup výpočtu vychází z odhadu napětí U_2, U_3, \dots, U_n a následnému srovnání s vypočítanými hodnotami podle (3.18). Správnost tohoto odhadu, závisí na porovnání

odhadnutých a vypočítaných hodnot, respektive na jejich rozdílu. Při větších rozdílech, než je stanovená přesnost ε , se opakuje odhad a následný výpočet.

Je však potřeba volit vysokou přesnost výpočtu (velmi malé ε), jinak se může stát, že nepřesně vypočítaná napětí způsobují značnou chybu v tocích výkonů a uzlových bilanci výkonů. Tyto nevýhody částečně odstraňuje Newtonova iterační metoda.

Jednotlivé kroky iteračního výpočtu:

1. Provedeme první odhad napětí $U_i^{(0)}$, pro $i = 2, 3, \dots, n$. Většinou se toto napětí volí stejné ve všech uzlech jak v modulu, tak i ve fázi. Například napětí bilančního uzlu, nebo jmenovité napětí sítě.
2. Odhadnuté napětí se dosadí do pravé strany rovnice (3.18), při $i = 2$.

$$U_2^{(1)} = \frac{1}{Y_{22}} \cdot \left(\frac{P_2 - jQ_2}{3U_2^{(0)*}} + Y_{12}U_1 + \sum_{j=3}^n Y_{2j}U_j^{(0)} \right), \text{ pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.19)$$

3. Nyní původní odhad napětí z bodu 1., zpřesníme o hodnotu z bodu 2. určenou pomocí (3.19), a sice $U_1, U_2^{(1)}, U_3^{(0)}, U_4^{(0)}, \dots, U_n^{(0)}$.

$$U_3^{(1)} = \frac{1}{Y_{33}} \cdot \left(\frac{P_3 - jQ_3}{3U_3^{(0)*}} + Y_{13}U_1 + Y_{13}U_2^{(1)} + \sum_{j=4}^n Y_{3j}U_j^{(0)} \right), \text{ pro } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.20)$$

Před výpočtem čtvrtého uzlu $U_4^{(1)}$, zpřesníme hodnotu o $U_3^{(1)}$, takže vycházíme z hodnot $U_1, U_2^{(1)}, U_3^{(1)}, U_4^{(0)}, \dots, U_n^{(0)}$.

Tímto postupem určíme hodnoty uzlových napětí a zpřesňujeme odhad v n krocích až po napětí n -tého uzlu..

Následně pro všechna neznámá napětí určíme jejich rozdíly:

$$|U_i^{(0)} - U_i^{(1)}|, \text{ pro } i=2, 3, \dots, n \quad (3.21)$$

Pokud rozdíl z rovnice (3.21) vychází větší než požadovaná přesnost ε , opakujeme celý postup od bodu 1. Opakujeme s počáteční odhadem z konce první iterace.

Matematické vyjádření celého postupu lze znázornit následovně :

$$U_i^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \cdot \left(\frac{P_i - jQ_i}{3U_i^{(k)*}} + \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij}U_j^{(k+1)} + \sum_{j=i+1}^n Y_{ij}U_j^{(k)} \right) \quad (3.22)$$

$$\text{pro } U_1, U_2^{(0)}, U_3^{(0)}, \dots, U_n^{(0)}, i = 2, 3, \dots, n \quad k = 0, 1, 2, \dots, m$$

kde $(k+1)$ a k jsou čísla iterací.

Výpočet se ukončí tehdy, platí následující podmínka:

$$|U_i^{(k)} - U_i^{(k+1)}| \leq \varepsilon, \text{ pro } i=2, 3, \dots, n \quad (3.23)$$

Nyní je zapotřebí stanovit výkony na vstupu a výstupu z vedení. Díky tomu následně určíme ztráty činného a jalového výkonu a také zhodnotíme využití vedení. Z předešlého řešení výkonových rovnic již známe napětí ve všech uzlech a pokud použijeme náhradu vedením Π článkem podle Obr.3-4 [1], můžeme proud tekoucí do vedení mezi uzly i a j ze strany i -tého uzlu napsat následovně:

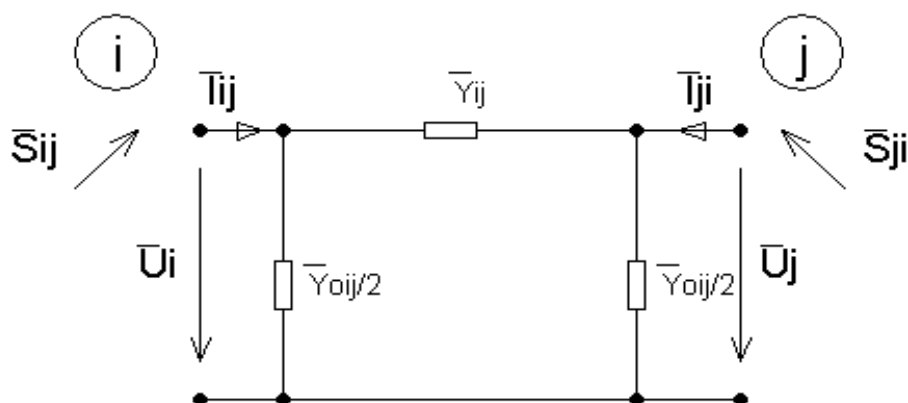
$$I_{ij} = (U_i - U_j)Y_{ij} + U_i \frac{Y_{0ij}}{2} \quad (3.24)$$

Potom výkon, do stejného uzlu vedení bude určen rovnicí:

$$\bar{S}_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = 3U_i I_{ij}^* = 3U_i \left[(U_i - U_j)Y_{ij} + U_i \frac{Y_{0ij}}{2} \right]^* \quad (3.25)$$

Analogicky určíme zatěžující výkon z j -tého uzlu:

$$\bar{S}_{ji} = 3U_j I_{ji}^* = 3U_j \left[(U_j - U_i)Y_{ij} + U_j \frac{Y_{0ij}}{2} \right]^* \quad (3.26)$$



Obr.3-4 Vedení nahrazené Π článkem s vyznačenými toky výkonů [1]

Ztráty činného a jalového výkonu uvažovaném vedení :

$$\begin{aligned} \Delta P_{ij} &= P_{ij} + P_{ji} \quad (\text{W}) \\ \Delta Q_{ij} &= Q_{ij} + Q_{ji} \quad (\text{VAr}) \end{aligned} \quad (3.27)$$

[4] [1] [5]

3.6 Řešení chodu sítě s odběrovými a regulačními uzly pomocí Gauss-Seidelovy metody

V tomto případě uvažujeme síť nejen s bilančním uzlem a odběrovými uzly, ale i s uzly regulačními. Regulační uzly jsou zadány činným výkonem P_i a modulem napětí U_i . V těchto uzlech je zapotřebí určit jalový výkon Q_i a fázi napětí Θ_i .

Před výpočtem napětí v regulačním uzlu je zapotřebí v každé iteraci odhadnout jalový výkon v daném uzlu.

$$Q_i^{(k+1)} = 3 \operatorname{Im}\{U_i^{(k)} I_i^{(k)*}\} \quad (3.28)$$

Následně do rovnice (3.28) dosadíme za proud $I_i^{(k)}$ a dostaneme následující rovnici.

$$Q_i^{(k+1)} = 3 \operatorname{Im}\left\{U_i^{(k)} \left(Y_{ii} U_i^{(k)} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} U_j^{(k+1)} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} U_j^{(k)} \right)^*\right\} \quad (3.29)$$

Nyní máme provedený k-tý odhad jalového výkonu regulačního uzlu, který následně použijeme k výpočtu napětí ve stejném uzlu.

$$U_{iQ}^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \cdot \left(\frac{P_i - jQ_i^{(k+1)}}{3U_i^{(k)*}} + \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} U_j^{(k+1)} + \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} U_j^{(k)} \right) \quad (3.30)$$

Dále z určeného napětí $U_{iQ}^{(k+1)} \angle \Theta_{iQ}^{(k+1)}$ provedeme zpřesnění odhadu. Použijeme pouze uhel $\Theta_{iQ}^{(k+1)}$, protože velikost napětí U_i je zadána.

$$U_i^{(k+1)} = U_i \angle \Theta_{iQ}^{(k+1)} \quad (3.31)$$

Následné výpočty jsou shodné s předchozím případem řešení sítě bez regulačních uzlů, jak je uvedeno v kapitole 3.5. [4] [1]

4 VÝPOČETNÍ PROGRAM E-VLIVY

Distribuční (přenosové) systémy, nemají za úkol jen dodávat potřebné množství elektrické energie v čase, ale hlavně v kvalitě. Tuto kvalitu elektrické energie je náročně dodržet, vzhledem k rozloze sítě a připojením různých typů zdrojů do této sítě. Zdroje elektrické energie sítí ovlivňují různými způsoby jak lokálně, tak i v nejrozlehlejších částí celé sítě v návaznosti na různé napěťové hladiny. Kontrolou kvality elektrické energie před připojením a po připojení nového zdroje do sítě předcházíme problémům s narušením kvality dodávané elektrické energie ke spotřebitelům.

K výpočtu chodu konkrétní sítě 110 kV v oblasti Prostějovska použijeme program E-Vlivy, se kterým pracuje společnost E.ON Česká Republika, s.r.o. pro kterou tyto výpočty jsou určeny. Tento program byl vyvinut firmou EGC – EnerGoConsult ČB, s.r.o. Jedná se o program určený k modelování sítí nn, vn a vvn. Zejména pro zjišťování vlivu připojovaných zařízení na úroveň a změnu sledovaných parametrů kvality.

Program E-Vlivy používá výpočetní metody, které vychází z norem ČSN IEC 1000-2-2, ČSN EN 61000-3-2, ČSN EN 50160 a souboru norem PNE 33 3430.

Účelem programu je poskytnout uživateli nástroj pro analýzu posuzovaných sítí s využitím prostředků k tvorbě sítě a výpočetních metod aplikovaných v programu E-Vlivy. Program E-Vlivy navazuje na vývojovou řadu programů Vlivy pro posuzování zpětných vlivů v distribučních sítích. [14]

4.1 Výpočetní metody

Základ výpočtu chodu sítě je založen na principu superpozice a metodě uzlových napětí. Výpočet vychází ze vstupních dat, jakožto parametry prvků modelované sítě pro základní harmonickou. Výpočet dále spočívá v určení jednopólového matematického modelu sítě, ze kterého pomocí metody uzlových napětí získáváme soustavu lineárních rovnic s komplexními koeficienty. Tuto soustavu program vyřeší pomocí Gaussovy eliminační metoda.

Při exaktním výpočtu harmonické analýzy sítě by bylo třeba uvažovat celou řadu faktorů jako nelinearity a frekvenční závislost prvků sítě, jejich proměnlivost v čase, nesymetrii trojfázové soustavy atd. Všechny tyto aspekty by vedly k neúměrně složitému matematickému modelu sítě, pro který bylo prakticky nemožné opatřit hodnoty vstupních dat. Aby bylo přesto možné s přijatelnou přesností provádět výpočty, které jsou i tak velmi náročné na výpočetní výkon počítače, je nutno zavést řadu zjednodušujících předpokladů.

Výpočet flikru je pomocí postupu popsáno v PNE 33 3430 - 0. Výpočet příspěvku od VTE je využíváno postupu, který vychází ze zahraničních materiálů, které jsou postupně přebírány do doporučených postupů v ČR.

Při výpočtu zkratů je v programu aplikovaný přístup definovaný normou ČSN 33 30 20, jež stanovuje poměry v místě poruchy. Vzhledem k nutné znalosti poměrů v celé síti při těchto poruchových stavech je v programu zároveň aplikována metoda zkratové impedanční matice, která je vhodnou metodou pro zpětné rozpočítávání poměrů v síti. Program tedy nejprve vytvoří admitanční matici, která je poté invertována do podoby impedanční matice, jež je ve výpočtu využívána. [14]

5 ZADÁNÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Tato studie o posouzení možnosti připojení kogenerační výroby má sloužit společnosti E.ON Česká Republika, s.r.o. pro posouzení vlivů výroby na síť a pro stanovení možných provozních stavů pro tuto výrobu, aby byla zaručena kvalita dodávané elektrické energie ostatním spotřebitelům.

Jedná se o plánovanou kogenerační výrobu v Prostějově 58+80 MW připojenou v rozvodně 110 kV v Prostějově v síti E.ON Distribuce, a.s. Elektrárna bude složena ze špičkového zdroje 58 MWe se spalovací turbínou TREND a paroplynové teplárny 80 MWe, o dvou spalovacích turbínách RB211 a parní turbíny.

Vyvedení výkonu z elektrárny Prostějov bude provedeno kabelovým vedením 110 kV do stávající rozvodny 110 kV/vn Prostějov Letecká, která bude rozšířena o pole pro připojení nového zdroje.

V této studii se budeme zabývat, zda je z technického hlediska možné připojení požadovaného výkonu do sítě, aniž by byly překročeny meze dovolené změny napětí v místě připojení a v ostatních uzlech sítě v okolí Prostějova. Dále budeme kontrolovat zatížení prvků sítě a hodnoty napětí v uzlech sítě. Posouzení možnosti připojení elektrárny Prostějov 58+80MW bude provedena pro následující stavy:

1. Stav před vybudováním vedení Konice – Velké Opatovice: související zdroj VTE Skřípov 23 MW je připojen dvojitým vedením 110 kV – 240 ALFe v délce cca 9,5 km do rozvodny 110 kV Konice.
2. Stav po vybudování vedení Konice – Velké Opatovice: VTE Skřípov je zasmyčkována na budoucí vedení Konice – Velké Opatovice a provozována proti napájecímu uzlu 400/110 kV Čebín. V tomto napájecím stavu bude uvažován jako související zdroj VTE Malé Hradisko 26 MW.
3. Stav po vybudování vedení Konice – Velké Opatovice, ale bez souvisejícího zdroje VTE Malé Hradisko
4. Kontrola zatížitelnosti vedení podle kritéria N-1. Kontrola bude provedena pro vedení mezi napájecím uzlem Otrokovice a uzlem Prostějov s označením 5577 a 5578. [13]

5.1 Parametry posuzovaných zařízení

5.1.1 Parametry špičkového zdroje

Tab.5-1 Parametry generátoru (SS1) [13]

Dodávaný činný výkon	58000 kW
Jmenovitý činný výkon	69380 kW
Typ	Synchronní 2 pólový
Jmenovité napětí	11,5 kV
Frekvence	50 Hz
Rázová reaktance X_d''	21,8

Tab.5-2 Parametry transformátoru (T5) [13]

Jmenovitý výkon	78000 kVA
Napětí vn	110 kV
Odbočky	$\pm 2 \times 2,5 \%$
Nízké napětí	11,5 kV
Ztráty nakrátko	290 kW
Napětí nakrátko	7,5 %

5.1.2 Parametry paroplynové teplárny

Tab.5-3 Parametry generátoru (SS2,SS3) [13]

Dodávaný činný výkon	30000 kW
Jmenovitý činný výkon	39200 kW
Typ	Synchronní 4 pólový
Jmenovité napětí	11,5 kV
Frekvence	50 Hz
Rázová reaktance X_d''	22,7

Tab.5-4 Parametry generátoru (SS4) [13]

Dodávaný činný výkon	20000 kW
Jmenovitý činný výkon	23330 kW
Typ	Synchronní 4 pólový
Jmenovité napětí	11,5 kV
Frekvence	50 Hz
Rázová reaktance X_d''	17,6

Tab.5-5 Parametry transformátoru (T6,T7) [13]

Jmenovitý výkon	78000 kVA
Napětí vn	110 kV
Odbočky	$\pm 2 \times 2,5 \%$
Nízké napětí	11,5 kV
Ztráty nakrátko	290 kW
Napětí nakrátko	7,5 %

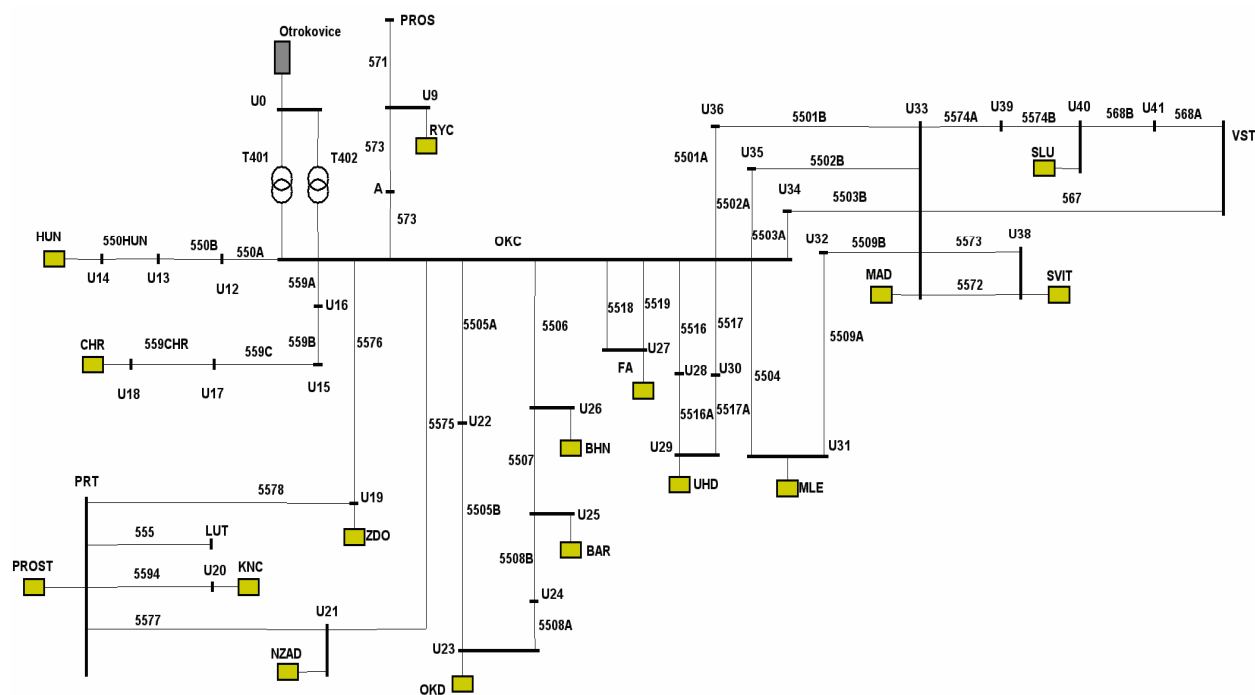
6 ŘEŠENÍ USTÁLENÉHO CHODU STÁVAJÍCÍ SÍTĚ 110 kV

V této kapitole se budeme zabývat ustáleným chodem sítě, která je v příloze č.1 na schématu č.1. V tomto schématu se budeme držet červeně zvýrazněného vedení, které znázorňuje síť 110 kV námi řešené oblasti napájené z transformátoru T401 a T402. Podle tohoto schématu namodelujeme síť v programu E-Vlivy, který nám následně vypočítá ustálený chod sítě a určí další potřebné informace, které nám poslouží k vyhodnocení situace pro připojení plánovaného zdroje do této sítě.

6.1 Stav před vybudováním vedení Konice – Velké Opatovice

Vedení spojující rozvodny Konice a Boskovice je znázorněno v příloze č.1 na schématu č.2 jako - Výhledová konfigurace včetně návrhu provozu DS 110 kV po roce 2015, která byla zhotovena pro plánování budoucího rozvoje DS. Při výpočtu ustáleného chodu sítě 110 kV toto vedení uvažovat nebudeme. V úvahu ho vezmeme až při připojení nové výroby v Prostějově.

Nyní přistoupíme k výpočtu ustáleného chodu sítě 110 kV. Výpočty provedeme pomocí programu E-Vlivy a budeme vycházet z konfigurace sítě uvedené na Obr.6-1.



Obr.6-1 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu [9]

6.1.1 Technické parametry modelované sítě

Tab.6-1 Napájecí soustava - Otrokovice

Název	Uvnt [kV]	Uprv [kV]	Izkr [kA]	Szkr [MVA]
Otrokovice	400	400	18,161	12582

Tab.6-2 Transformátory

Název	U1 [kV]	U2 [kV]	St [MVA]	Pk [kW]	Uk [%]	In1 [A]	In2 [A]
T401	400	121	350	680	14,23	1670	5498
T402	400	121	350	680	14,23	1670	5498

Tab.6-3 Vedení v posuzované oblasti

Název	Druh	Typ	R/km	X/km	B/km	Délka [km]	I _{max} [A]
5575	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	40,904	522
5576	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	22	522
5577	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	23,396	522
5578	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	38,1	522
5594A	venko-110	JJ185F	0,156	0,402	2,94	8,663	443
5594B	venko-110	JJ185F	0,156	0,402	2,94	17,892	443

V tabulce Tab.6-3 jsou uvedeny pouze vedení v okolí Prostějova, což je posuzovaná oblast z hlediska připojení nového zdroje. Tabulka se všemi vedeními je uvedena ve výpočtové příloze A. Tyto vedení budou následně uvažovány pro výpočet ustáleného chodu sítě 110kV. Dále je uvedena tabulka Tab.6-4 s uvažovanými zátěžemi v síti.

Tab.6-4 Zátěže

Název	U [kV]	I [A]	cosφ	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]
SLU	110	50,86	0,97	9400	2355,86	9690,72
SVIT	110	41,66	0,97	7700	1929,8	7938,14
UHD	110	139,6	0,97	25800	6466,09	26597,94
MLE	110	13,53	0,97	2500	626,56	2577,32
MAD	110	132,03	0,97	24400	6115,22	25154,64
BAR	110	188,84	0,97	34900	8746,76	35979,38
BHN	110	75,21	0,97	13900	3483,67	14329,9
RYC	110	38,42	0,97	7100	1779,43	7319,59
HUN	110	95,77	0,97	17700	4436,04	18247,42
CHR	110	15,69	0,97	2900	726,81	2989,69
ZDO	110	54,65	0,97	10100	2531,3	10412,37
PROST	110	172,07	0,97	31800	7969,83	32783,51
FA	110	7,58	0,97	1400	350,87	1443,3
OKD	110	3,25	0,97	600	150,37	618,56
NZAD	110	3,25	0,97	600	150,37	618,56
KNC	110	33,55	0,97	6200	1553,87	6391,75

V této kapitole jsou uvedeny parametry modelované sítě, ze kterých budeme následně vycházet při výpočtech.

Výpočet ustáleného chodu uvažované sítě provedeme pro dvě varianty. Nejprve provedeme výpočet ustáleného chodu samotné sítě 110 kV. Poté upravíme schéma sítě podle Obr.6-2, čímž domodelujeme větrné parky a další související zdroje, které jsou nutné při výpočtu uvažovat.

6.1.2 Vypočítané hodnoty ustáleného chodu DS 110 kV

Z vypočtených hodnot uvedeme pouze výčet jednotlivých napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích uvažované sítě. Tabulky obsahující všechny vypočtené hodnoty jsou uvedeny ve výpočtové příloze B. Uzel U20 koresponduje s přípojnici v rozvodně Konice podle obr.6-1 případně obr 6-2.

Tab.6-5 Napětí ve sledovaných uzlech

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	ΔU_n [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
PRT	117,505	-5,772	-6,823	16,73	76,186	795,564
U20 (Konice)	117,143	-6,064	-6,494	28,145	73,171	472,911

Tab.6-6 Proudů a výkonů nejzatíženějších vedeních

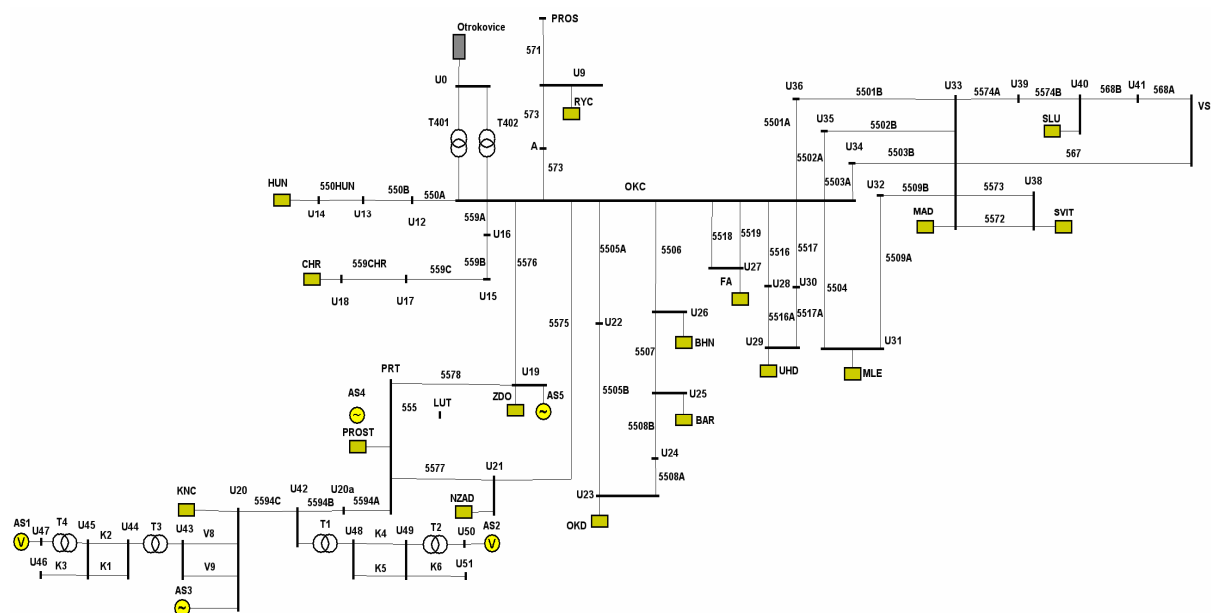
Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]
5505A	OKC	137,795	161,528	0,137	72,343	-27543	-7403,21	28520,57
5505A	U22	137,812	161,501	0,137	72,343	27540,61	7409,72	28519,98
5505B	U23	137,949	-18,71	1,198	64,535	27511,29	7456,534	28503,88
5505B	U22	137,813	-18,499	1,198	64,535	-27540,7	-7409,81	28520,07
5506	U26	151,711	-16,39	1,102	64,535	30568,14	6974,937	31353,8
5506	OKC	151,604	-16,212	1,102	64,535	-30600,8	-6943,83	31378,79
5507	U25	70,275	-15,405	1,226	64,535	14205,35	2970,563	14512,62
5507	U26	70,167	-14,977	1,226	64,535	-14213,2	-2876,19	14501,25
5508A	U24	134,45	-18,768	0,137	72,343	26803,79	7287,384	27776,77
5508A	U23	134,432	-18,74	0,137	72,343	-26806	-7280,56	27777,15
5508B	U24	134,444	161,235	0,382	72,343	-26803,1	-7285,68	27775,66
5508B	U25	134,494	161,158	0,382	72,343	26796,82	7304,676	27774,59

Z vypočítaných hodnot napětí v uzlech, proudů a výkonů ve větvích a jejich porovnáním s dovolenými hodnotami lze konstatovat, že nedochází k přetěžování žádného z prvků sítě a hodnoty napětí v uzlech jsou v patřičných mezích ($\pm 10\%$ pro 110 kV). [9]

Dále tedy můžeme přistoupit k výpočtu ustáleného chodu uvažované sítě, do které domodelujeme větrné parky Skřípov a Malé Hradisko a ostatní související zdroje pracující do uvedené sítě. VTE budou připojeny na vedení 5594, nacházející se mezi uzly KNC (Konice) a PRT (Prostějov).

6.1.3 Výpočet ustáleného chodu s uvažováním souvisejících zdrojů a větrných parků Skřípov 23 MW a Malé Hradisko 26 MW

Větrné parky pracují do DS 22 kV, ale ovlivňují modelovanou síť 110 kV tokem výkonu do vyšší napěťové hladiny. Tento tok výkonu by měl být patrný při tomto výpočtu s uvažováním souvisejících zdrojů do DS 110 kV.



Obr.6-2 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu včetně souvisejících zdrojů [9]

6.1.3.1 Technické parametry modelované sítě

Parametry prvků sítě s uvažováním souvisejících a VTE Skřípov a VTE Malé Hradisko vycházejí ze základní sítě podle kapitoly 6.1.1. Dále uvedeme parametry prvků, které byly přidány dle Obr. 6-2.

Tab.6-7 Transformátory VTE Skřípov a VTE Malé Hradisko

Název	U1 [kV]	U2 [kV]	St [MVA]	Pk [kW]	Uk [%]	In1 [A]	In2 [A]
T1	110	23	40	163	11	200	1200
T2	22	0,69	40	178,4	6	1200	38260
T3	110	23	25	163	11	125	750
T4	22	0,69	25	178,4	6	750	23913

Tab.6-8 Vedení a přívodní kabely VTE Skřípov a VTE Malé Hradisko

Název	Druh	Typ	R/km	X/km	B/km	Délka [km]	Imax [A]
V8	venko-110	240/39AlFe6	0,118	0,359	1,865	9,5	546
V9	venko-110	240/39AlFe6	0,118	0,359	1,865	9,5	546
K1	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	2	506
K2	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	2	506
K3	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	2	506
K4	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	9	506
K5	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	9	506
K6	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	13	506

Dále došlo k rozdělení vedení 5594 na tři části, podle Obr.6-2, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab.6-9 Vedení 5594

Název	Druh	Typ	R/km	X/km	B/km	Délka [km]	Imax [A]
5594A	venko-110	JJ185F	0,156	0,402	2,94	8,663	443
5594B	venko-110	JJ185F	0,156	0,402	2,94	17,892	443
5594C	venko-110	JJ185F	0,156	0,402	2,94	4,392	443

Dále byly do sítě připojeny související zdroje, které dodávají svůj výkon. Jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab.6-10 Související zdroje

Název	U [kV]	Sn [kVA]	cosφ _n	R/X [-]	P [kW]	cosφ	c
AS1	0,69	23000	1	R/X [-]	16000	0,995	1,37
AS2	0,69	26000	1	R/X [-]	26000	0,995	1,37
AS3	110	6200	1	R/X [-]	6200	1	-
AS4	110	1000	1	R/X [-]	1000	1	-
AS5	110	2700	1	R/X [-]	6200	1	-

6.1.4 Vypočítané hodnoty s uvažováním souvisejících zdrojů a VTE Skřípov a VTE Malé Hradisko

Při uvažování dodávek výkonu souvisejících zdrojů do sítě jsme určili následující parametry, které jsou uvedeny v následujících tabulkách. V Tab.6-11 jsou uvedeny napětí v uzlech, které jsou z našeho pohledu důležité pro připojení nové výroby do uzlu PRT a Tab.6-12 uvádí některé výsledky proudů a výkonů ve větvích. Tabulky obsahující všechny hodnoty jsou uvedeny ve výpočtové příloze C.

Tab.6-11 Napětí v uzlech

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	ΔUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
PRT	118,986	-1,27	-8,169	16,688	76,222	797,586
U20(Konice)	120,875	1,364	-9,887	30,095	72,839	442,262
U42	120,772	1,211	-9,793	28,199	73,116	472,001

Tab.6-12 Proudů a výkonů ve vybraných větvích

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]
5505A	OKC	137,758	162,593	0,137	72,343	-27525,4	-7402,02	28503,27
5505A	U22	137,776	162,566	0,137	72,343	27523,01	7408,524	28502,67
5505B	U23	137,901	-17,637	1,198	64,535	27492,35	7451,263	28484,22
5505B	U22	137,765	-17,427	1,198	64,535	-27521,7	-7404,57	28500,4
5506	U26	151,66	-15,318	1,102	64,535	30547,29	6970,41	31332,47
5506	OKC	151,553	-15,14	1,102	64,535	-30580	-6939,33	31357,44
5507	U25	70,251	-14,333	1,226	64,535	14195,66	2968,649	14502,74
5507	U26	70,143	-13,905	1,226	64,535	-14203,5	-2874,34	14491,37
5508A	U24	134,399	-17,693	0,137	72,343	26784,87	7280,97	27756,83
5508A	U23	134,382	-17,665	0,137	72,343	-26787,1	-7274,15	27757,22
5508B	U24	134,4	162,306	0,382	72,343	-26784,9	-7281,51	27757,01
5508B	U25	134,449	162,229	0,382	72,343	26778,63	7300,491	27755,94

Z uvedených hodnot vyplývá, že připojením souvisejících zdrojů do sítě došlo ke zvýšení napětí v jednotlivých uzlech, které se poté drží u horních mezí tolerance. Změna napětí v uzlech U20, U20a, U42 a U43 je po připojení souvisejících zdrojů vyšší než povolené dvě procenta. Z uvedeného je zřejmé, že větrné parky nemohou pracovat s plným výkonem současně. Z tohoto důvodu budeme muset omezit výkony zdrojů AS1 a AS2, neboli větrných parků Skřípov a Malé Hradisko. Snížení výkonu bude nejprve provedeno u VTE Malé Hradisko, neboť tento záměr byl evidován později než VTE Skřípov. Uzly U44 až U52 neuvažujeme pro toleranci napětí sítě 110kV, protože se jedná o vlastní instalaci výroben. Zatížení vedení nepřekračuje povolené meze.

6.2 Porovnání výpočtů ustáleného chodu

Po výpočtu ustáleného chodu, který je uveden v kapitole 6.1 (Výpočet UCH samotné sítě a s uvažováním souvisejících zdrojů), porovnáme změny napětí v uzlech PRT a U20 (přípojnice 110 kV v Konicích), které jsou pro připojení výrobní důležité. Dále vyhodnotíme nejvíce zatížené vedení a také změnu zatížení vedení před a po připojení souvisejících zdrojů do uvažované sítě.

6.2.1 Změna napětí ve sledovaných uzlech

Napětí ve sledovaných uzlech je pro přehlednost uvedeno v následující tabulce, která je uvedena pro dva stavy výpočtů ustáleného stavu sítě, které jsou popsány v kapitole 6.1.

Tab.6-13 Změny napětí ve sledovaných uzlech při ustáleném stavu sítě

Název uzlu	UCH sítě U[kV]	UCH s VT parky včetně s. zdrojů U[kV]	ΔU [%]
PRT	117,505	118,986	1,607
U20 (Konice)	117,143	120,875	3,474

Legenda: UCH sítě – Ustálený chod sítě.

UCH s VT parky včetně s. zdrojů – Ustálený chod s větrnými parky včetně souvisejících zdrojů pracujících do uvažované sítě.

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že napětí před a po připojení souvisejících zdrojů do sítě o jmenovitém napětí 110 kV v uzlu PRT je v rozmezí $\Delta U \pm 2\%$, což odpovídá pravidlům pro provozování distribučních soustav (PPDS) – PŘÍLOHA 4. Ovšem v uzlu U20 (Konice, případně U42, který byl přidán až po rozdělení vedení 5594 na tři části), ve kterém jsou připojeny větrné parky dochází k překročení povolených hodnot změny napětí o 1,474 % (1,331 %). Tyto hodnoty vycházejí pro zdroj AS2 (VTE Malé Hradisko) pracující na 26 MW a pro snížený výkon AS1 (VTE Skřípov) na 16 MW. Snížení VTE Skřípov na zmiňovaných 16 MW bylo převzato s původní studie, která se zabývala výpočty k připojení prostějovské výrobní [6].

V důsledku připojení souvisejících zdrojů AS1 a AS2 dochází ke zvýšení napětí v místě připojení těchto zdrojů. Abychom snížili napětí v uzlech připojení větrných parků na povolené meze, musíme větrný park Malé Hradisko (AS2) odpojit od DS 110 kV a u větrného parku Skřípov (AS1) omezit výkon na 15,5 MW. S převzatou hodnotou 16 MW pro VTE Skřípov byla překračována změna napětí v uzlech sítě, proto jsme museli snížit výkon na hodnotu 15,5 MW.

6.2.2 Zatížení vedení

V této kapitole uvedeme tabulkový přehled vybraných vedení, které se nacházejí v okolí plánovaného připojení výroby. Pro připojení nového zdroje do sítě se však nebudeme zabývat zatížením vedení, ale změnou napětí v uzlech. Tabulka Tab.6-14 uvádí změnu zatížení vedení, které spojuje Otrokovice (OKC) s Prostějovem (PRT) a také vedení mezi Prostějovem (PRT) a Konicemi (KNC), do kterého byly připojeny větrné parky Skřípov a Malé Hradisko.

Tab.6-14 Změna zatížení vedení mezi obcemi Otrokovice, Prostějov, Konice

Vedení	UCH samotné sítě Zatížení [%]	UCH včetně souvisejících zdrojů Zatížení [%]
5575	22,2	11,1
5576	30,5	10,4
5577	21,6	12,2
5578	19,4	13,5
5594A	-	62,4
5594B	-	62,5
5594C	-	23,4

UCH – ustálený chod sítě

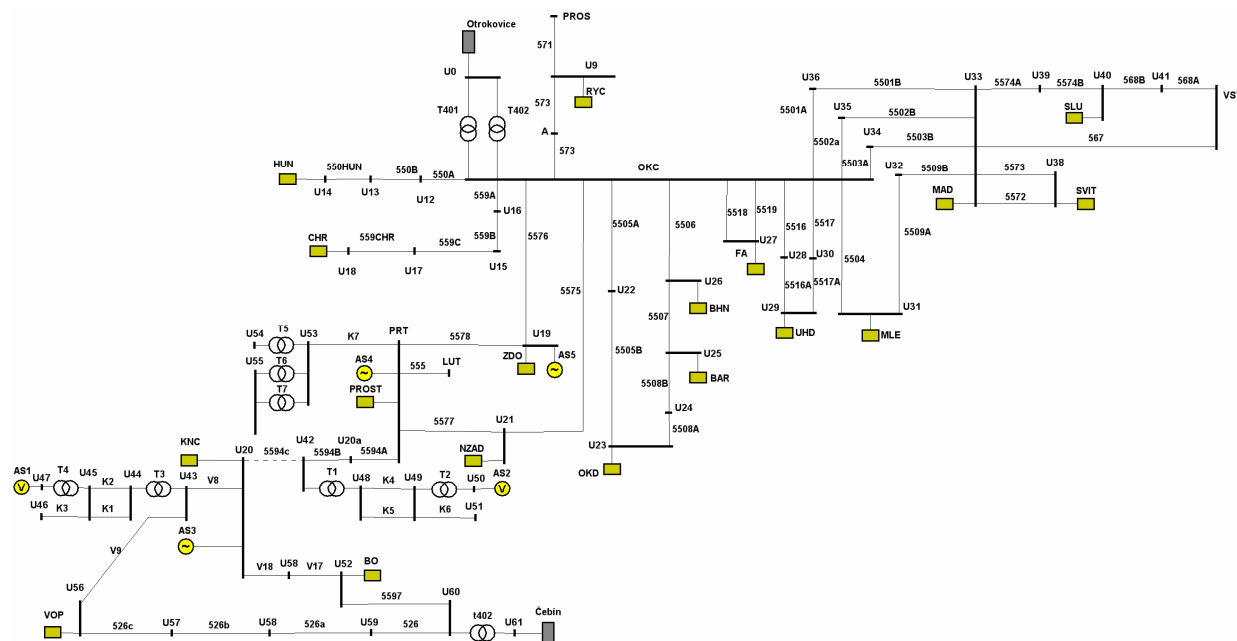
Z výše uvedené tabulky vyplývá, že dojde k poklesu zatížení vedení mezi uzly OKC a PRT vlivem spotřeby výkonu v uzlech KNC a PRT. Zatížení vedení 5594 je vlivem přenosu výkonu od zdrojů přes hranici 60 % přenosové kapacity.

7 ŘEŠENÍ USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 110kV VČETNĚ NOVÉ VÝROBNY

V této kapitole se budeme již zabývat změnami v síti, které způsobí připojení nové výroby o velikosti 138 MW. Výpočty budou provedeny pro stav konfigurace sítě s vybudovaným vedením spojujícím rozvodny Konice – Velké Opatovice, na napěťové hladině 110 kV, na které bude zasmyčkován větrný park Skřípov 23 MW. Bude tedy pracovat do uzlové oblasti Čebín. Vedení 5594C bude v uzlu U20(Konice) vypnuto. Větrný park Malé Hradisko 26 MW bude zapojený shodně s předchozími výpočty a nadále bude dodávat výkon do uzlové oblasti Otrokovice. Výsledky výpočtů z oblasti Čebín nemají dopad na posouzení připojitelnosti výroby v Prostějově. Větrné parky budou uvažovány v plném výkonu.

7.1 Stav po změně konfigurace a bez nové výroby

Nejprve provedeme výpočet ustáleného chodu sítě po zasmyčkování větrného parku Skřípov proti rozvodně Čebín jak je znázorněno na Obr.7-1. Ve schématu je již namodelována výrobná v Prostějově, ovšem bez generátorů (nedodává výkon do sítě). Větrný park Malé Hradisko je připojen shodně s předešlými výpočty. Výpočty z této kapitoly, zejména napěťové poměry v síti, nám poslouží jako stěžejní hodnoty pro posuzování změny napětí v uzlech sítě (mezní hodnota 2 %, dáno PPDS [10][11]) pro připojení nového zdroje do sítě 110 kV.



Obr.7-1 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu po provedených změnách konfigurace bez dodávky výrobnou do sítě [9]

7.1.1 Technické parametry modelované sítě

Základem modelované sítě uvedené na Obr.7-1 jsou prvky vycházející z kapitoly 6 a rozšířené o následující části uvedené v tabulkách Tab.7-1 až Tab.7-4.

Tab.7-1 Napájecí soustava - Čebín

Název	Uvnt [kV]	Uprv [kV]	Izkr [kA]	Szkr [MVA]
Otrokovice	400	400	22,345	15481

Tab.7-2 Transformátory přidané po změně konfigurace sítě

Název	U1 [kV]	U2 [kV]	St [MVA]	Pk [kW]	Uk [%]	In1 [A]	In2 [A]
t401	400	121	350	680	14,23	1670	5498

Všechny transformátory v modelované síti byly při výpočtech nastaveny na střední odbočku. Parametry transformátorů T5, T6, T7 jsou uvedeny v kapitole č.5 „Zadání praktické části“.

Tab.7-3 Vedení přidané po změně konfigurace sítě

Název	Druh	Typ	R/km	X/km	B/km	Délka [km]	Imax [A]
5597	venko-110	DS458A	0,065	0,381	3,75	12	725
526	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	27,111	453
526a	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	11,136	453
526b	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	0,274	453
526c	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	0,202	453
V18	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	1	453
V17	venko-110	DS240F	0,125	0,394	2,94	1	453
K7	kabel-110	1200XLPE	0,0247	0,091	150,72	1,687	805

Tab.7-4 Zátěže přidané po změně konfigurace sítě

Název	U [kV]	I [A]	cosφ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]
BO	110	160,22	0,95	29000	9531,84	30526,32
VOP	110	82,87	0,95	15000	4930,26	15789,47

Legenda: BO - uzel Boskovice, VOP - uzel Velké Opatovice

Z výše uvedených parametrů budeme vyházet při výpočtu ustáleného chodu sítě 110 kV po změně konfigurace (zasmyčkový VT park Skřípov proti rozvodně Čebín) a bez uvažovaného zdroje.

7.1.2 Výpočet ustáleného chodu sítě po změně konfigurace a bez nového zdroje

Po změně uvažované konfigurace jsme získaly hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě. Kompletní hodnoty jsou uvedeny ve výpočtové příloze E.

V této kapitole uvedeme pouze hodnoty napětí ve sledovaných uzlech sítě, které jsou sledovány z důvodu změny napětí po připojení výroby - Tab.7-5. Dále uvedeme tabulku proudů a výkonů v síti, která bude obsahovat pouze vedení, která vyvádí výkon do uzlu Otrokovice z oblasti kolem rozvodny Prostějov - Tab.7-6 .

Tab.7-5 Napětí ve sledovaných uzlech

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	ΔUn [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U0	398,394	-0,918	0,402	15,577	90	11298,72
OKC	119,626	-2,678	-8,751	3,905	89,501	3408,07
U19	119,289	-2,793	-8,444	11,346	78,216	1173,113
U21	119,338	-2,748	-8,489	15,568	76,974	854,977
PRT	119,101	-2,749	-8,274	17,123	76,5	777,296
U20a	119,499	-2,249	-8,635	20,856	75,098	638,181
U42	120,115	-1,467	-9,196	26,731	73,719	497,932

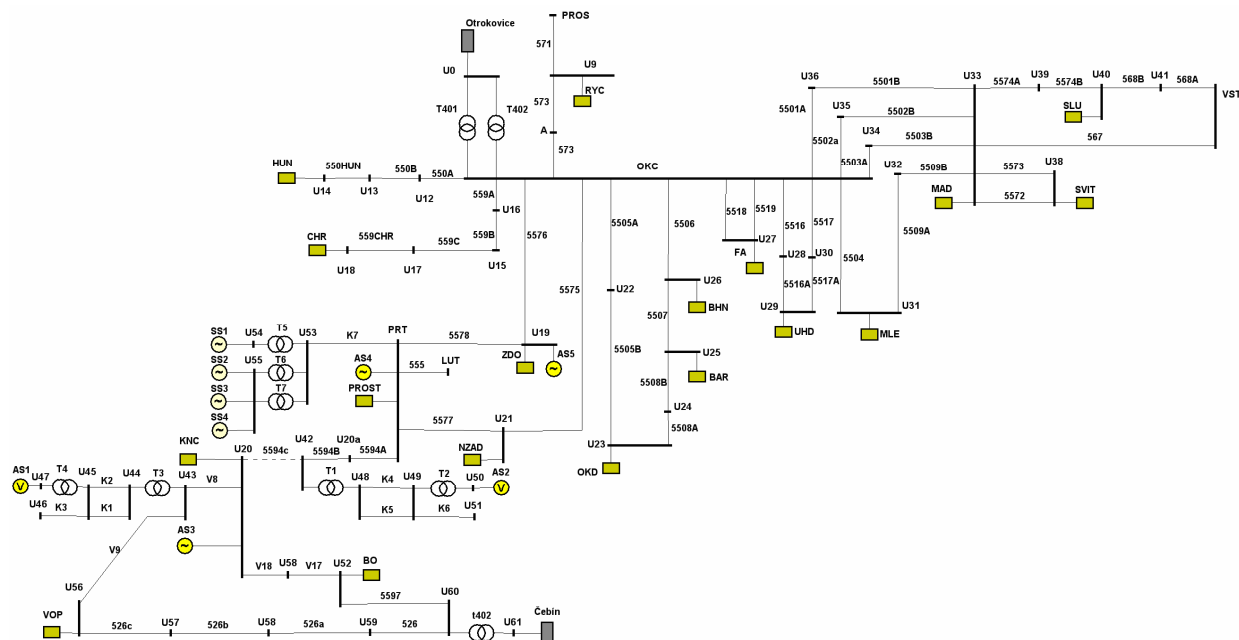
Tab.7-6 Proudů a výkonů ve vybraných větvích

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]
5575	U21	13,819	-60,128	17,465	72,988	1539,754	2405,763	2856,315
5575	OKC	8,303	-29,035	17,465	72,988	-1541,59	-763,833	1720,444
5576	OKC	25,034	144,43	9,066	72,345	-4355,44	-2816,84	5186,948
5576	U19	27,708	136,653	9,066	72,345	4349,711	3722,095	5724,856
5577	PRT	15,847	-78,007	9,992	72,984	831,881	3161,505	3269,119
5577	U21	11,512	-72,242	9,992	72,984	-833,534	-2228,68	2379,449
5578	U19	3,785	69,584	16,268	72,987	236,752	-745,261	781,962
5578	PRT	11,064	81,276	16,268	72,987	-237,599	2270,023	2282,424
5594A	PRT	172,155	-2,487	3,736	68,797	35513,34	-162,429	35513,71
5594B	U42	172,183	-1,008	5,862	68,947	-35820,8	286,845	35821,97

Napětí v uzlech se drží u horní hranice tolerance +10 %. Uzly U44 až U52 neuvažujeme pro toleranci napětí sítě 110kV, protože se jedná o vlastní instalaci výroben. Z výsledků také vyplývá že jednotlivé prvky sítě nejsou přetěžovány.

7.2 Stav po změně konfigurace včetně nové výroby

Nyní přistoupíme k výpočtům včetně instalovaných výkonů ve výrobně. Výpočty provedeme pro maximální výkon výroby dodávaný do sítě při různých hodnotách účinníku. Větrné parky budou uvažovány při plném výkonu. Vzhledem k tomu, že bude vypnuto vedení 5594 v Konicích (U20) nebudeme uvažovat výsledky v uzlové oblasti Čebín. Tato oblast nemá vliv na připojitelnost posuzovaného zdroje. Z výsledků výpočtu vyhodnotíme změnu napětí v uzlech sítě způsobenou při jednotlivých provozních stavech.



Obr.7-2 Schéma DS 110 kV pro výpočet ustáleného chodu po provedených změnách konfigurace bez dodávky výrobnou do sítě [9]

Parametry prvků sítě jsou oproti předchozím již nezměněny, pouze byly přidány synchronní generátory posuzované výrobnou SS1, SS2, SS3 a SS4. Parametry těchto strojů jsou uvedeny v kapitole 5.

Z dostupných podkladů je určen možný pohyb napětí na svorkách strojů SS1 až SS4 v mezích $0,9-1,1U_n$. Při výpočtech bude nastavena regulace transformátorů T5, T6, T7 (110/11,5 kV) na odbočce 0.

7.2.1 Provoz výroby při účinníku 0,96 kap

Tabulka Tab.7-7 uvádí napětovou změnu vyvolanou připojením strojů s účinníkem 0,96 kap ve sledovaných uzlech. Hodnoty napětích v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě jsou uvedeny ve výpočtové příloze E.

Tab.7-7 Změna napětí při účinníku 0,96 kap

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,83	0,428
OKC	-8,751	-7,344	-1,407
U19	-8,444	-6,479	-1,965
U21	-8,489	-6,146	-2,343
PRT	-8,274	-5,738	-2,536
U20a	-8,635	-6,049	-2,586
U42	-9,196	-6,524	-2,672

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že ve vybraných uzlech dochází při daném účinníku zejména k poklesu napětí. Změna napětí však přesahuje povolené meze $\pm 2\%$ a z tohoto důvodu nemůže být výroba provozovaná při plném výkonu.

7.2.2 Provoz výroby při účinníku 0,97 kap

Změna napětí ve vybraných uzlech sítě vlivem připojení strojů s účinníkem 0,97 kap je uvedena v tabulce Tab.7-9. Celkové vypočítané hodnoty napětích v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě jsou uvedeny ve výpočtové příloze E.

Tab.7-9 Změna napětí při účinníku 0,97 kap

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,766	0,364
OKC	-8,751	-7,549	-1,202
U19	-8,444	-6,922	-1,522
U21	-8,489	-6,768	-1,721
PRT	-8,274	-6,584	-1,69
U20a	-8,635	-6,895	-1,74
U42	-9,196	-7,37	-1,826

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že změna napětí při účinníku generátorů výroby $\cos\varphi = 0,97$ je v mezích $\pm 2\%$, což umožňuje provoz výroby při plném výkonu.

7.2.3 Provoz výroby při účinníku 0,98 kap

Určené hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě při kapacitním účinníku 0,98 strojů připojených k síti jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. Následující tabulka Tab.7-12 ukazuje porovnání napětí v uzlech před a po připojení výroby do sítě.

Tab.7-12 Změna napětí při účinníku 0,98 kap

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,694	0,292
OKC	-8,751	-7,781	-0,97
U19	-8,444	-7,423	-1,021
U21	-8,489	-7,471	-1,018
PRT	-8,274	-7,539	-0,735
U20a	-8,635	-7,85	-0,785
U42	-9,196	-8,325	-0,871

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že změna napětí je v mezích ± 2 %, což umožňuje provoz výroby při účinníku generátorů výroby $\cos\varphi = 0,98$ a plném výkonu výroby.

7.2.4 Provoz výroby při účinníku 0,99 kap

Pro účinník 0,99 kapacitní povahy, jsme výpočty určily hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích, které jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. Následující tabulka vyjadřuje změnu napětí v uzlu připojení do sítě.

Tab.7-15 Změna napětí při účinníku 0,99 kap

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,604	0,202
OKC	-8,751	-8,068	-0,683
U19	-8,444	-8,042	-0,402
U21	-8,489	-8,339	-0,15
PRT	-8,274	-8,72	0,44
U20a	-8,635	-9,031	0,396
U42	-9,196	-9,505	0,309

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že změna napětí je v mezích ± 2 %, což umožňuje provoz výroby při účinníku generátorů výroby $\cos\varphi = 0,99$ a plném výkonu výroby.

7.2.5 Provoz výroby při účinníku 1

Následující tabulka Tab.7-18 ukazuje změnu napětí před a po připojení strojů s účinníkem $\cos\varphi=1$. Celkové hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích jsou uvedeny ve výpočtové příloze E.

Tab.7-18 Změna napětí při účinníku 1

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,4	-0,002
OKC	-8,751	-8,717	-0,034
U19	-8,444	-9,426	0,982
U21	-8,489	-10,276	1,787
PRT	-8,274	-11,346	3,072
U20a	-8,635	-11,658	3,023
U42	-9,196	-12,132	2,936

Z výše uvedených hodnot vyplývá, že výroba z důvodů překročení zvýšení napětí nad 2 % nemůže být provozována při účinníku generátorů $\cos\varphi=1$ a plném výkonu výroby. Pokud budeme chtít provozovat výrobu při této hodnotě účinníku, musí být snížen celkový dodávaný výkon výrobnou do sítě, aby nedošlo k překročení změny napětí o více než 2 %.

7.2.6 Provoz výroby při účinníku 0,99 ind

Změna napětí před a po připojení strojů s účinníkem 0,97 kap ve vybraných uzlech je uvedena v tabulce Tab.7-21. Hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě jsou uvedeny ve výpočtové příloze E.

Tab.7-21 Změna napětí při účinníku 0,99 ind

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,185	-0,217
OKC	-8,751	-9,409	0,658
U19	-8,444	-10,035	1,591
U21	-8,489	-10,737	2,248
PRT	-8,274	-11,445	3,171
U20a	-8,635	-11,677	3,042
U42	-9,196	-12,023	2,827

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že výroba z důvodů překročení zvýšení napětí nad 2 % nemůže být provozována při účinníku generátorů $\cos\varphi=0,99$ ind a plném výkonu výroby.

7.2.7 Provoz výroby při účinníku 0,98 ind

Pro účinník 0,98 induktivní, jsme určily hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích, které jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. Následující tabulka vyjadřuje změnu napětí ve vybraných uzlech před a po připojení výroby do sítě.

Tab.7-24 Změna napětí při účinníku 0,98 ind

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,153	-0,249
OKC	-8,751	-9,509	0,758
U19	-8,444	-10,393	1,949
U21	-8,489	-11,309	2,82
PRT	-8,274	-12,305	4,031
U42	-9,196	-12,989	3,793
U20	-8,707	-8,991	0,284
U20a	-8,635	-12,578	3,943

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že výroba z důvodů překročení zvýšení napětí nad 2 % nemůže být provozována při účinníku 0,98 ind a plném výkonu výroby.

7.2.8 Provoz výroby při účinníku 0,97 ind

Určené hodnoty při účinníku 0,97 ind strojů připojených k síti jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. Následující tabulka ukazuje porovnání napětí v uzlech před a po připojení výroby do sítě.

Tab.7-27 Změna napětí při účinníku 0,97 ind

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,159	-0,243
OKC	-8,751	-9,497	0,746
U19	-8,444	-10,149	1,705
U21	-8,489	-10,88	2,391
PRT	-8,274	-11,612	3,338
U20a	-8,635	-11,87	3,235
U42	-9,196	-12,256	3,06

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že výroba z důvodů překročení zvýšení napětí nad 2 % nemůže být provozována při účinníku 0,97 ind a plném výkonu výrobnou do sítě.

7.2.9 Provoz výroby při účinníku 0,9681 kap

Provoz výroby při účinníku 0,9681 s kapacitním charakterem a maximálním výkonem výroby 138 MW nepřekročí změnu napětí v uzlech sítě přes 2 %. Jedná se o hraniční účinník, který je na dolní hranici 2 % změny napětí v uzlu U42. Vypočítané hodnoty ze kterých je složena tabulka Tab. 7-30 jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. V následující tabulce Tab.7-30 uvedeme pro přehled změnu napětí ve vybraných uzlech sítě před a po připojení výroby.

Tab.7-30 Změna napětí při účinníku 0,9681 kap

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,779	0,377
OKC	-8,751	-7,508	-1,243
U19	-8,444	-6,834	-1,61
U21	-8,489	-6,646	-1,843
PRT	-8,274	-6,416	-1,858
U20a	-8,635	-6,728	-1,907
U42	-9,196	-7,203	-1,993

7.2.10 Provoz výroby při účinníku 0,9983 kap

Provoz výroby při plném výkonu 138 MW a účinníku 0,9983 kapacitní povahy je z hlediska změny napětí v uzlech sítě na horní hranici tolerance. Při dalším navýšení účinníku již dochází k překročení hranice 2 % změny napětí v uzlech sítě. V následující tabulce Tab.7-33 jsou uvedeny vybrané uzly sítě a změna napětí v těchto uzlech před a po připojení výroby při zmíněném účinníku. Celkové vypočítané hodnoty napětích v uzlech, proudů a výkonů ve větvích sítě jsou uvedeny ve výpočtové příloze E.

Tab.7-33 Změna napětí při účinníku 0,9983 kap

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,379	-0,023
OKC	-8,751	-8,783	0,032
U19	-8,444	-9,152	0,708
U21	-8,489	-9,698	1,209
PRT	-8,274	-10,272	1,998
U42	-9,196	-10,971	1,775
U20a	-8,635	-10,551	1,916

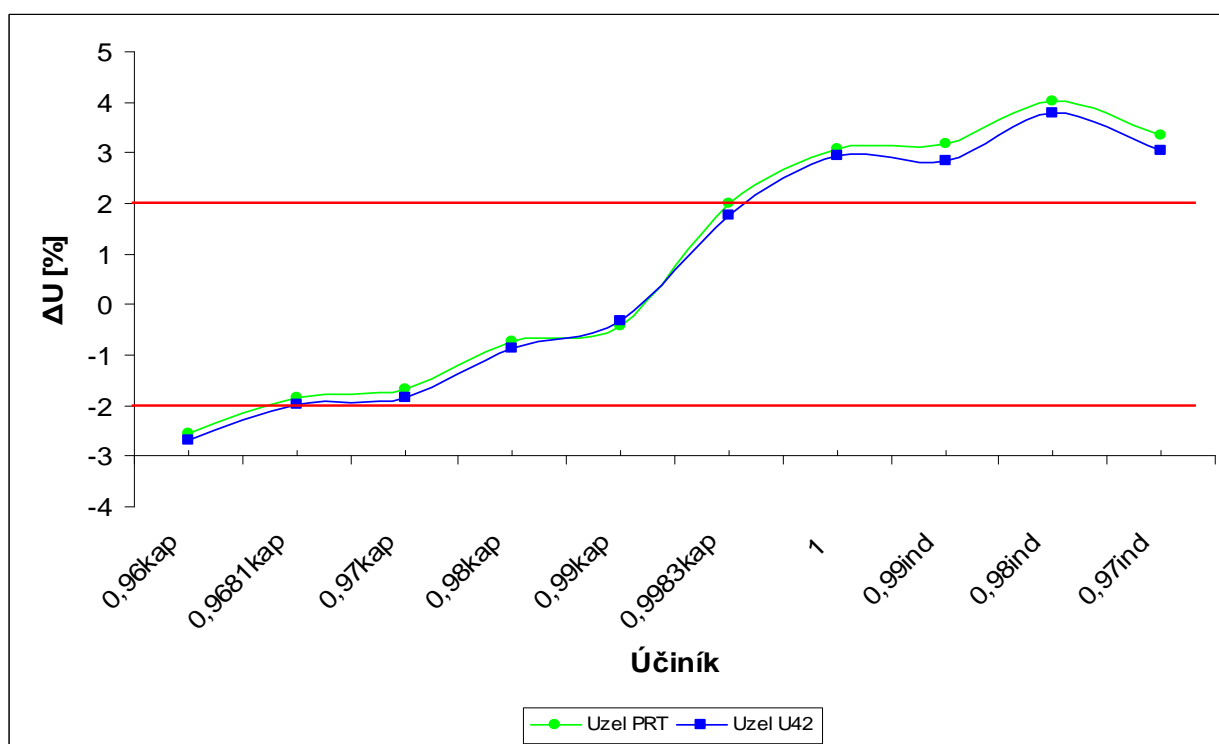
7.2.11 Souhrn poměrů v předávacím místě po připojení výroby

Souhrn napěťových poměrů při provozu elektrárny Prostějov 58+80MW uvádí tabulka Tab.7-36. V této tabulce jsou shrnuty počítané účinníky a změna napětí ve sledovaných uzlech sítě s ohledem na změnu napětí do 2 %. Z této tabulky vychází, že výrobu je možné provozovat vzhledem ke změně napětí při účinnících 0,9983 kap – 0,9681 kap a plném výkonu. Tomuto pásmu účinníků odpovídá odběr jalového výkonu ze sítě v rozmezí 39,6 MVA_r – 24,3 MVA_r. Pro názornost je v obrázku Obr. 7-3 uveden graf průběhu změny napětí v závislosti na účinníku v předávacím místě PRT.

Tab.7-36 Souhrn účinníků a změny napětí

Účinník \ Uzel	0,96 kap	0,9681 kap	0,97 kap	0,98 kap	0,99 kap	0,9983 kap	1	0,99 ind	0,98 ind	0,97 ind
	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]
U0	0,428	0,377	0,364	0,292	-0,202	-0,023	0,002	0,217	0,249	0,243
OKC	-1,407	-1,243	-1,202	-0,97	-0,683	0,032	-0,034	0,658	0,758	0,746
U19	-1,965	-1,61	-1,522	-1,021	-0,402	0,708	0,982	1,591	1,949	1,705
U21	-2,343	-1,843	-1,721	-1,018	-0,15	1,209	1,787	2,248	2,82	2,391
PRT	-2,536	-1,858	-1,69	-0,735	-0,44	1,998	3,072	3,171	4,031	3,338
U20a	-2,586	-1,907	-1,74	-0,785	0,396	1,916	3,023	3,042	3,943	3,235
U42	-2,672	-1,993	-1,826	-0,871	-0,309	1,775	2,936	2,827	3,793	3,06

V tabulce jsou zeleně vyznačeny přípustné meze provozu výroby při plném výkonu a červeně nepřípustné meze provozu výroby. Tučně je zvýrazněn uzel PRT jako přípojně místo výroby a uzel U42, které jsou dále vyobrazeny na obrázku Obr.7-3.



Obr.7-3 Graf změny napětí v přípojném místě v závislosti na účinníku generátoru při plném výkonu výroby

V grafu jsou červeně vyznačeny meze $\pm 2\%$, což jsou povolené meze změny napětí pro připojení nového zdroje do sítě 110 kV. Z důvodu změny napětí byl více kontrolován uzel U42, ve kterém byla větší změna napětí než v přípojném uzlu PRT z důvodu připojení VTE Malé Hradisko.

7.2.12 Snížený výkon výroby při různých účinnících a dodržené změně napětí do 2 % v uzlech sítě

V této podkapitole provedeme výpočty k určení velikosti dodávaného výkonu výrobnou při různých účinnících tak, aby byla dodržena podmínka udržení změny napětí před a po připojení výroby do 2 %. Vzhledem k předchozím výpočtům při plném výkonu generátorů můžeme říci, že se budeme přednostně zabývat účinníky 0,96 kap, 1, 0,99 ind, 0,98 ind a 0,97 ind. Při ostatních hodnotách účinníků (0,97 kap, 0,98 kap, 0,99 kap) je schopna výrobná pracovat při plném výkonu 138 MW a udržet změnu napětí po připojení výroby do sítě do 2 %.

7.2.12.1 Provoz výroby při účinníku 0,96 kap

Z vypočítaných hodnot napětí v uzlech, proudů a výkonů ve větvích sítě, které jsou uvedeny ve výpočtové příloze E bylo zjištěno, že hodnota maximálního dodávaného výkonu výrobnou do sítě při účinníku 0,96 kap, která nezpůsobí změnu napětí překračující 2 % v uzlech sítě je 121,5 MW. Následující tabulka Tab.7-37 uvádí napěťovou změnu vyvolanou připojením strojů s účinníkem 0,96 kap ve sledovaných uzlech a při maximálním výkonu výroby 121,5 MW.

Tab.7-37 Změna napětí při účinníku 0,96 kap a výkonu 121,5 MW

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,732	0,33
OKC	-8,751	-7,655	-1,096
U19	-8,444	-6,97	-1,474
U21	-8,489	-6,744	-1,745
PRT	-8,274	-6,413	-1,861
U20a	-8,635	-6,724	-1,911
U42	-9,196	-7,199	-1,997

7.2.12.2 Provoz výroby při účinníku 1

Provoz výroby při nastaveném neutrálním účinníku generátorů 1, je z hlediska změny napětí v uzlech sítě do 2 % povolen s výkonem 60 MW. Při překročení této hodnoty výkonu výroby již nastává překročení změny napětí nad 2 % a to je nepřijatelné. Vycházíme z vypočítaných hodnot napětí v uzlech, proudů a výkonů ve větvích sítě, které jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. V následující tabulce Tab.7-40 uvedeme pro názornost vybrané uzly sítě a změnu napětí v nich před a po připojení výroby.

Tab.7-40 Změna napětí při účinníku 1 a výkonu 60 MW

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,277	-0,125
OKC	-8,751	-9,117	0,366
U19	-8,444	-9,409	0,965
U21	-8,489	-9,864	1,375
PRT	-8,274	-10,248	1,974
U20a	-8,635	-10,55	1,915
U42	-9,196	-11,01	1,814

7.2.12.3 Provoz výroby při účinníku 0,99 ind

Z výpočtů změny napětí v uzlech sítě byl určen maximální výkon výroby při účinníku 0,99 ind 35 MW. Tato hodnota výkonu výroby při daném účinníku udržuje změnu napětí v uzlech sítě do 2%. Vycházeli jsme z hodnot, které jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. V následující tabulce Tab.7-43 jsou uvedeny změny napětí ve vybraných uzlech sítě při výkonu výroby 35MW a účinníku 0,99 ind.

Tab.7-43 Změna napětí při účinníku 0,99 ind a výkonu 35 MW

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,234	-0,168
OKC	-8,751	-9,26	0,509
U19	-8,444	-9,507	1,063
U21	-8,489	-9,926	1,437
PRT	-8,274	-10,241	1,967
U20a	-8,635	-10,543	1,908
U42	-9,196	-11	1,804

7.2.12.4 Provoz výroby při účinníku 0,98 ind

Pro účinník 0,98 induktivního charakteru jsme pomocí výpočtů určili velikost výkonu výroby, který nezpůsobí změnu napětí v uzlech větší než 2%. Tento výkon má hodnotu 30 MW. Vycházeli jsme z vypočítaných hodnot, které jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. V tabulce Tab.7-46 jsou uvedeny změny napětí ve vybraných uzlech při výkonu generátorů 30 MW a účinníku 0,98 ind.

Tab.7-46 Změna napětí při účinníku 0,98 a výkonu 30 MW

Uzel	ΔU před [%]	ΔU [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,226	-0,176
OKC	-8,751	-9,286	0,535
U19	-8,444	-9,524	1,08
U21	-8,489	-9,936	1,447
PRT	-8,274	-10,24	1,966
U20a	-8,635	-10,541	1,906
U42	-9,196	-10,998	1,802

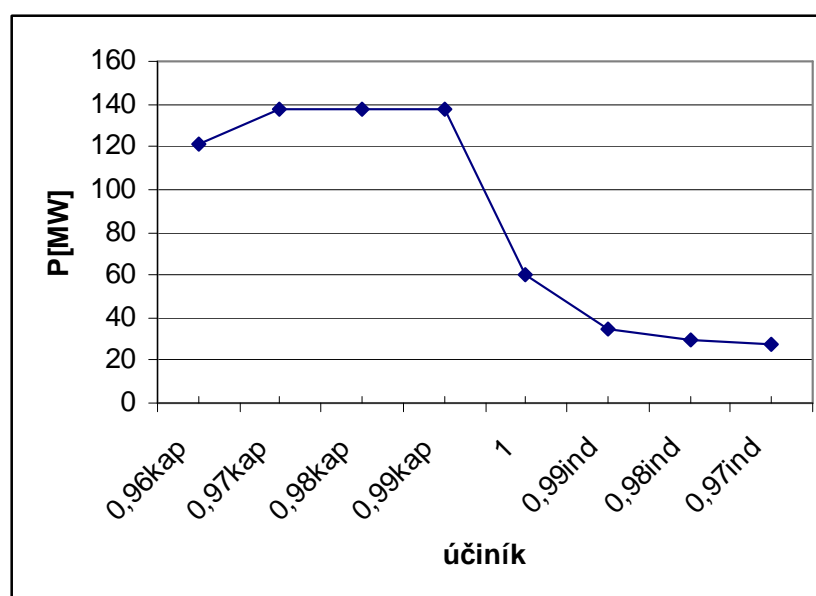
7.2.12.5 Provoz výroby při účinníku 0,97 ind

Výkon výroby pro účinník 0,97 ind musí být z maximálního možného dodávaného výkonu 138 MW snižen na 27,5 MW z důvodu dodržení změny napětí v uzlech sítě do 2%. Vypočítané hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě ze kterých jsme vycházeli jsou uvedeny ve výpočtové příloze E. V následující tabulce Tab.7-49 jsou pro názornost uvedeny změny napětí před a po připojení výroby do sítě ve vybraných uzlech sítě.

Tab.7-49 Změna napětí při účinníku 0,97 ind a výkonu 27,5 MW

Uzel	ΔU před [%]	ΔU po [%]	rozdíl [%]
U0	0,402	0,221	-0,181
OKC	-8,751	-9,304	0,553
U19	-8,444	-9,542	1,098
U21	-8,489	-9,955	1,466
PRT	-8,274	-10,259	1,985
U20a	-8,635	-10,559	1,924
U20	-9,196	-11,016	1,82

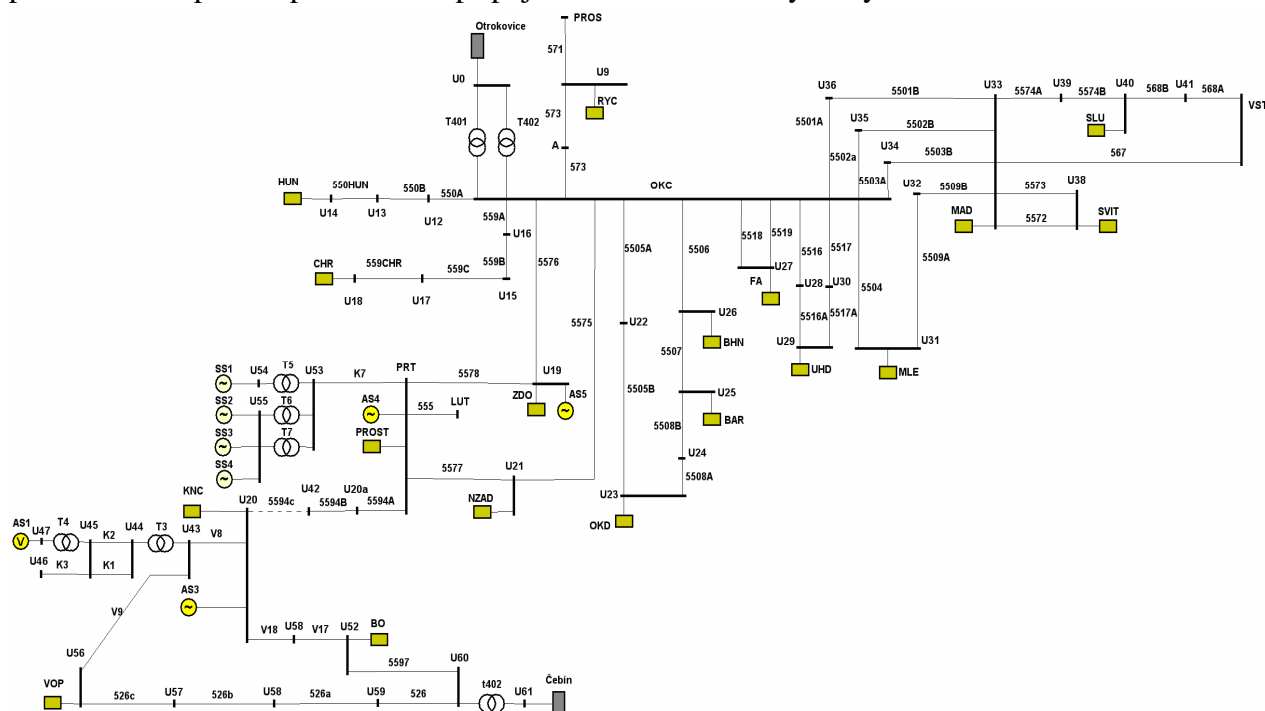
Výše uvedené výpočty nám ukazují, při jakých výkonech a konkrétních účinnících neovlivní připojení nové výroby změnu napětí nad dvě procenta. V následujícím grafu, který je na obrázku Obr.7-4 lze pozorovat průběh výkonů při uvažovaných účinnících bez překročení změny napětí 2 % před a po připojení výroby do sítě.

Obr.7-4 Hodnoty výkonu prostějovské výroby včetně VTE Malé Hradisko (ΔU do 2%)

7.3 Stav po změně konfigurace včetně nové výroby a bez VTE Malé Hradisko

V této kapitole se budeme zabývat výpočty pro určení maximálního možného dodávaného výkonu kogenerační výrobnou do sítě při různých hodnotách účinníku generátorů za předpokladu, kdy nebude připojen do sítě větrný park Malé Hradisko. S touto variantou se dříve nepočítalo, ovšem v průběhu zpracování této práce došlo ke stažení žádosti o připojení VTE Malé Hradisko a z tohoto důvodu musíme nadále počítat i s touto variantou. Vycházet budeme z následujícího schématu, které je uvedeno na Obr.7-5. Nejprve provedeme výpočet ustáleného chodu sítě bez dodávky výkonu kogenerační výrobnou do sítě. Tyto výsledky nám poslouží k porovnání změny napětí v uzlech sítě s výpočty chodu sítě s připojenou výrobnou. Porovnáním těchto výpočtů vyhodnotíme změnu napětí v uzlech sítě, která musí být v mezích ± 2 % z důvodu vyhovění

pravidlům pro paralelní připojování nové výroby do sítě 110 kV.



Obr.7-5 Schéma DS 110 kV po změně konfigurace sítě včetně nové výroby a bez uvažování VTE Malé Hradisko [9]

7.3.1 Výpočet ustáleného chodu sítě bez nové výroby a bez větrného parku Malé Hradisko

Pro výpočet ustáleného chodu sítě, ve které neuvažujeme VTE Malé Hradisko a bez dodávky kogenerační výroby do sítě vycházíme ze schématu uvedeném na Obr.7-5. Výpočty provedenými pro zmíněnou konfiguraci sítě jsme získaly hodnoty napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě, které jsou kompletně uvedeny ve výpočtové příloze E. Parametry sítě jsou shodné s předchozími kapitolami.

V této kapitole uvedeme pouze hodnoty napětí ve sledovaných uzlech sítě, které jsou sledovány z důvodu změny napětí po připojení výroby. Tyto uzly jsou uvedeny v následující tabulce Tab.7-52. Dále uvedeme tabulku proudů a výkonů v síti, která bude obsahovat pouze vybrané vedení z oblasti kolem rozvodny Prostějov, Tab.7-56.

Tab.7-55 Napětí ve sledovaných uzlech

Uzel	U [kV]	Úhel [°]	ΔU [%]	Zk [Ohm]	Úhel [°]	Sk [MVA]
U0	398,346	-1,097	0,413	15,577	90	11298,72
OKC	119,611	-3,203	-8,737	3,905	89,501	3408,07
U19	118,927	-3,967	-8,115	11,346	78,216	1173,113
U21	118,734	-4,433	-7,94	15,568	76,974	854,977
PRT	118,184	-5,105	-7,44	17,123	76,5	777,296
U20a	118,258	-5,119	-7,507	20,856	75,098	638,181
U42	118,353	-5,137	-7,594	26,731	73,719	497,932

Tab.7-56 Proudů a výkonů ve vybraných větvích

Prvek	Uzel	I [A]	Úhel [°]	Z [Ohm]	Úhel [°]	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]
5575	U21	89,587	-8,264	17,465	72,988	18382,63	1230,93	18423,79
5575	OKC	89,323	-3,179	17,465	72,988	-18505,3	7,695	18505,26
5576	OKC	110,001	171,942	9,066	72,345	-22707,5	-1928,75	22789,25
5576	U19	110,438	169,637	9,066	72,345	22607,27	2534,246	22748,87
5577	PRT	86,501	-10,837	9,992	72,984	17618,19	1768,416	17706,72
5577	U21	86,141	-7,849	9,992	72,984	-17683,5	-1055,66	17715,02
5578	U19	87,644	177,381	16,268	72,987	-18048,6	424,471	18053,63
5578	PRT	87,707	172,571	16,268	72,987	17938,91	728,092	17953,68
5594A	PRT	13,151	-95,182	3,736	68,797	-3,608	2691,965	2691,967
5594B	U42	8,755	-95,213	5,862	68,947	2,387	-1794,73	1794,734

Napětí v uzlech se drží u horní hranice tolerance +10 %, což je ovšem v toleranci z hlediska provozu sítě. Z výsledků také vyplývá že jednotlivé prvky sítě nejsou přetěžovány.

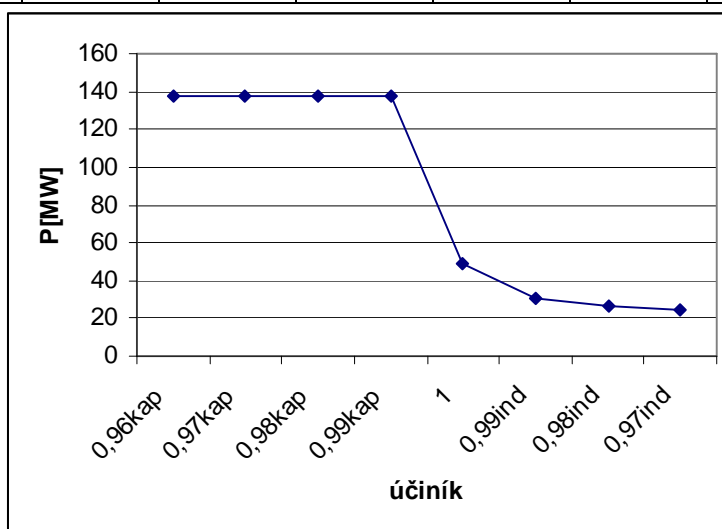
7.3.2 Snížený výkon výroby při různých účinnících a dodržené změně napětí do 2 % v uzlech sítě bez VTE Malé Hradisko

Nyní provedeme obdobné výpočty, které jsou uvedeny v kapitole 7.2.12. Pomocí těchto výpočtů určíme o kolik je třeba snížit výkon výroby při různých účinnících, aby byla dodržena podmínka změny napětí po připojení kogeneračního zdroje do sítě do 2 %. Varianta připojení výroby v Prostějově bez větrného parku Malé Hradisko se po stažení žádosti o připojení VTE Malé Hradisko jeví jako nejpravděpodobnější.

Provedením výpočtů byly určeny mezní výkony výroby, které splňují změnu napětí do 2 %. Tyto hodnoty výkonů jsou uvedeny v Tab.7-57 a dále pro názornost uvedeny na Obr.7-6. Dále jsou uvedeny v tabulce Tab.7-58 souhrnné hodnoty změny napětí ve vybraných uzlech sítě při daných účinnících a snížených výkonech výroby.

Tab.7-57 Hodnoty výkonů nové výroby pro dané účinníky

Účinník	0,96kap	0,97kap	0,98kap	0,99kap	1	0,99ind	0,98ind	0,97ind
Výkon[MW]	138	138	138	138	49	30,5	26,5	24

Obr.7-6 Hodnoty výkonu prostějovské výroby bez VTE Malé Hradisko (ΔU do 2%)

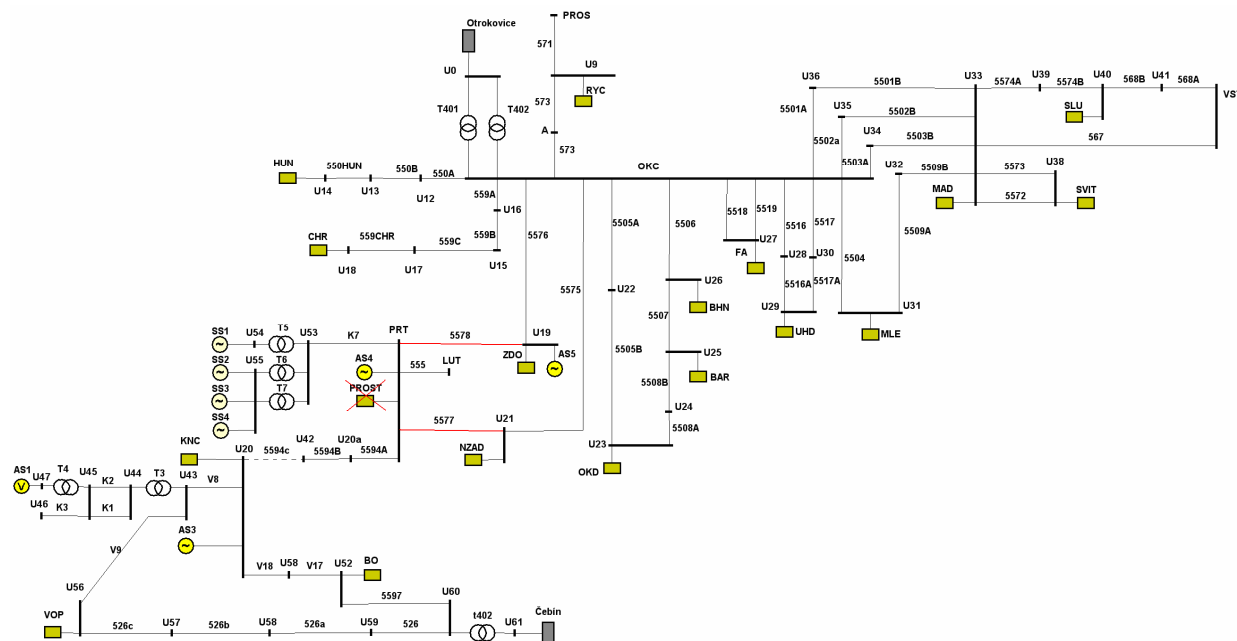
Tab.7-58 Souhrnné hodnoty změny napětí pro snížené výkony v síti bez VTE Malé Hradisko

Účelník Uzel	0,96 kap	0,97 kap	0,98 kap	0,99 kap	1	0,99 ind	0,98 ind	0,97 ind
	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]	ΔU [%]
U0	-0,034	0,3	0,229	0,141	-0,137	-0,165	-0,171	-0,174
OKC	0,046	-1,019	-0,793	-0,513	0,395	0,492	0,512	0,522
U19	1,037	-1,103	-0,615	-0,01	1,019	1,08	1,092	1,094
U21	1,758	-1,184	-0,497	0,354	1,425	1,465	1,473	1,47
PRT	-1,91	-1,08	-0,141	1,021	1,989	1,996	1,999	1,989
U20a	-1,911	-1,08	-0,141	1,022	1,991	1,998	2	1,991
U42	-1,913	-1,081	-0,141	1,023	1,992	1,999	2,002	1,992

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že při hodnotách výkonu, které jsou uvedeny v Tab. 7-57 dosahují změny napětí v uzlech sítě do 2 %. Při porovnání výkonů výroby pro účinnky včetně uvažování VTE Malé Hradisko a bez tohoto zdroje jsme došli k zjištění, že výroba v Prostějově musí dodávat snížený výkon bez VTE Malé Hradisko oproti uvažování tohoto zdroje. Předpoklad byl však opačný. Menší dodávané výkony kogenerační výrobnou v Prostějově bez uvažování VTE Malé Hradisko jsou dány změnou zkratových poměrů v síti.

7.4 Kritérium N-1

Kritérium N-1 pro vedení mezi Otrokovicemi (OKC) a Prostějovem (PRT) bylo počítáno pro předpoklad nefunkčnosti jednoho z těchto vedení (5577, 5578). Výpočty byly provedeny pro nehorší možný stav a sice při nejvyšším výkonu výroby 138 MW a účinníku 0,99 kap. Dále se nepředpokládala žádná zátěž v uzlu PRT (zátěž PROST). Vycházeli jsme tedy z následujícího schématu uvedeného na Obr.7-7 [9], kde byly střídavě vypínány venkovní vedení 5577 a 5578.



Obr.7-7 Schéma DS 110 kV pro výpočet kritéria N-1 na vedení 5577 a 5578 [9]

Předpokládaný výpadek jednoho ze zmíněných vedení zapříčinil přetížení druhého vedení. Z tohoto důvodu se při takovéto situaci musí snížit výkon výroby. Při zachování účinníku výroby 0,99 kap byly stanoveny následující hodnoty výkonů, při které je zatěžování zbylého vedení maximálně na 95 % přenosové kapacity a změna napětí v uzlech sítě do 2 %.

Při vypnutí vedení 5577 dochází k přetěžování vedení 5576 o 137A a 5578 o 153A. Z tohoto důvodu musí být snížen výkon výroby na 105 MW. Ovšem dále zůstává zvýšené napětí v uzlech PRT přes hranici 2% a proto musí být výkon dále omezen na konečných 92 MW. Při tomto výkonu jsou původně přetížená vedení 5576 a 5578 zatížena přibližně na 63,7 % své přenosové kapacity a je i splněna podmínka změny napětí ± 2 % po připojení nového zdroje do sítě.

Při dalších výpočtech bylo vypnuto vedení 5578 a zapnuto 5577. Při plném výkonu výroby byly přetíženy vedení 5577 o 155A a vedení 5575 o 153A. Proto je nutné snížit výkon výroby na 105 MW, což zaručuje zatížení přetížených vedení na 95 % přenosové kapacity. Dále však změna napětí v uzlech sítě přesahuje hranici ± 2 % po připojení výroby do sítě. Pro splnění této podmínky je nutné výkon výroby dále snížit až na hodnotu 87,5 MW, při které jsou zbylá vedení zatížena na 63,4 %.

Rozdíl snížených výkonů (92 MW a 87,5 MW) je dán zasmyčkováním vedení do rozvodny Nezamyslice dráhy, čímž vedení 5577 je delší než vedení 5578. Výše zmíněné stavy při výpočtu kritéria N-1 pro vedení 5577 a 5578 nám ukazují, že při výpadku jednoho z vedení mezi Otrokovicemi a Prostějovem je nutné snížit výkon kogenerační výroby na 87,5 MW. Při výše zmíněných výpočtech bylo nutné kontrolovat změnu napětí v uzlech sítě, než zatížitelnost vedení.

8 NÁVRH TECHNICKO INVESTIČNÍCH OPATŘENÍ PRO ODSTRANĚNÍ NEGATIVNÍCH VLIVŮ KOGENERAČNÍ VÝROBY NA CHOD DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ

Kogenerační výroba ve své podstatě není původcem výrazných zpětných vlivů na napájecí síť. U každého nového zdroje dochází ke změně napětí v přípojném místě, které se musí kontrolovat, aby vyhovovalo PPDS [10]. Vzhledem k tomu, že kogenerační výroba bude osazena synchronními generátory, nebude původcem harmonických proudů a lze je zanedbat. Ovlivnění sítě vlivem flikru lze také zanedbat, z důvodu charakteru strojů umístěných ve výrobně. [13]

Zařízení HDO, která jsou obvykle provozována na frekvencích 180 Hz až 1050 Hz jsou ovlivněny připojením nové výroby na síť zejména přidávným zatížením vysílačů HDO. Toto ovlivnění může způsobit změny hladiny signálu HDO v přípojném bodu výroby a ostatních uzlech sítě. Obecně platí, že hladina signálu HDO nesmí klesnout o 10 až 20 % pod požadovanou hladinu. Blíže jsou tyto podmínky specifikovány v PPDS [10]. V této práci jsme se nezabývali ovlivněním signálu HDO v síti 110 kV připojením nové výroby v Prostějově. Vycházíme však z toho, že v uvedené starší studii, provedené firmou EnerGoConsult ČB, s.r.o. je pro stav po vybudování vedení Konice – Opatovice proveden výpočet ovlivnění signálu HDO. Z těchto výpočtů vyplývá, že hodnota útlumu signálu HDO v předávacím místě PRT má velikost 57,6 %, což je nad dovolenými hranicemi a bude nutno technických opatření na snížení útlumu signálu HDO. [13]

V této práci, která se zabývá posouzením možnosti připojení paroplynové výroby bylo na základě výpočtů zjištěno, že investice vynaložené do distribuční sítě 110 kV, do které bude v budoucnu připojena zmíněná výroba s výkonem 138 MW, nebudou z hlediska přenosové kapacity sítě nutné. Provozovatel distribuční sítě totiž požaduje po zřizovateli nového zdroje řízení výkonu výroby z důvodu dodržení PPDS. Při dodržení změny napětí v uzlech sítě nedochází k přetěžování prvků sítě a i při překročení této změny je přenosová kapacita vedení dostatečná. Výpočty však ukazují, že výroba může pracovat při plném výkonu pouze s kapacitním účinníkem, jinak překračuje změna napětí v uzlech sítě 2 %.

Opatření, které by napomohlo výrobě pracovat i v induktivním účinníku je pouze změna zkratových poměrů v síti. Tuto změnu lze provést zvýšením zkratového poměru v uzlu Otrokovice, neboli přidáním paralelního transformátoru do napájecího uzlu Otrokovice, ovšem zde už pracují dva transformátory paralelně. Další možností je zvýšení průřezu stávajícího vedení v síti mezi uzly Otrokovice a Prostějov ze stávajícího průřezu 240 mm² na 350 mm². Tato změna však znamená výměnu stožárů, které by již neunesly zvýšené zatížení v podobě vyšších průřezů vodičů. Změna zkratových poměrů v síti navýšením průřezů vedení však nebude vzhledem k délce vedení tak výrazná, aby zaručila provoz výroby v celém rozsahu účinníků při plném výkonu. Výraznou změnu zkratového výkonu by bylo dosaženo výstavbou nového (paralelního vedení) mezi Prostějovem a Otrokovicemi. Ovšem z hlediska majetkoprávního projednání trasy vedení 110 kV s vlastníky dotčených pozemků je prakticky nereálné.

9 VYHODNOCENÍ VÝPOČTŮ A PŘÍPADNÝCH NAVRŽENÝCH ZMĚN A OPATŘENÍ

Z předchozích výpočtových kapitol č.6 a č.7 nyní provedeme shrnutí výsledků výpočtů a navržených opatření pro vyhovující připojení nové výrobní v Prostějově do sítě 110 kV.

Kapitola č.6 obsahuje výpočet ustáleného chodu stávající sítě pro 2 předpokládané stavy a to UCH samotné sítě a poté byly přimodelovány větrné parky Skřípov a Malé Hradisko a ostatní související zdroje pracující do uvažované sítě. Z těchto výpočtů bylo zjištěno, že nedochází k přetěžování žádného z uvedených prvků v modelované síti. Ovšem problémy nastaly se změnou napětí v uzlech sítě po připojení větrných parků s uvažováním souvisejících zdrojů. Tyto hodnoty napětí přesahovaly povolené meze $\pm 2 \%$, které jsou dány PPDS. Konkrétně se to týká uzlu U20 neboli přípojnice v Konicích (U42), ve kterém jsou připojeny větrné parky a změna napětí přesahuje povolenou mez o 1,474 % (1,331 %). Z tohoto důvodu je nutné snížit výkon větrných parků do doby, než bude vystavěno nové vedení mezi obcemi Konice – Opatovice a větrný park Skřípov (AS1) bude zasmyčkován na toto vedení a bude pracovat proti rozvodně Čebín. Poté budou moci oba větrné parky pracovat na plný výkon. Do této změny v síti však musí větrný park Skřípov omezit výkon z hodnoty 23 MW na hodnotu 15,5 MW a větrný park Malé Hradisko (AS2 o výkonu 26 MW) nesmí do sítě dodávat žádný výkon. Tyto opatření jsou nutná pro dodržení předepsaných parametrů dle PPDS.

Nadále jsme již v kapitole č.7 posuzovali samotné připojení kogenerační výrobní v Prostějově o celkovém výkonu 138 MW. Tato výrobní bude již připojena do sítě po vybudování vedení Konice - Opatovice a po zasmyčkování větrného parku Skřípov proti rozvodně Čebín. Z tohoto důvodu již větrné parky budou uvažovány v plné výši. Nejprve byly provedeny výpočty UCH sítě bez nové výrobní, kdy bylo zjištěno, že nedochází k přetěžování prvků sítě, také napětí v uzlech, proudy a výkony ve větvích sítě jsou v mezích tolerance. Není tedy nutné provádět žádné změny. Dále byly určeny změny napětí po připojení plánované výrobní při různých účinnících. Z těchto výpočtů je možný provoz výrobní při plném výkonu pouze při kapacitních účinnících (0,99 kap až 0,97 kap). Tomuto pásmu účinníků odpovídá odběr jalového výkonu ze sítě v rozmezí 39,6 MVar – 24,3 MVar. Byly také určeny hodnoty hraničních účinníků při plném výkonu výrobní, kdy nedojde k překročení povolené změny napětí v přípojném bodě a v uzlech posuzované sítě. Hodnoty těchto účinníků jsou 0,9983 kap a 0,9681 kap. Vzhledem k tomu, že bude nutné řídit výkon výrobní v určitých mezích, byly dále provedeny výpočty pro určení hodnot sníženého výkonu výrobní při různých účinnících z hlediska dodržení změny napětí $\pm 2 \%$ po připojení výrobní do sítě. Tyto hodnoty obsahuje kapitola 7.2.12. Řízení parametrů výrobní bude nutné pro správné fungování DS a pro dodržení kvality dodávky elektrické energie konečným odběratelům.

Jako třetí provozní stav byla uvažovaná síť bez VTE Malé Hradisko a z tohoto důvodu byly provedeny další výpočty k určení hodnot velikosti výkonu výrobní při různých účinnících vzhledem k dodržení změny napětí po připojení výrobní do sítě. Tyto výkony byly vypočteny a jsou nižší než výkony s uvažováním VTE Malé Hradisko. Tato změna souvisí se změnou zkratových poměrů v síti po odpojení VTE Malé Hradisko. Celkové hodnoty výkonů jsou uvedeny v kapitole 7.3.2. Opatření, které by umožňovalo provoz výrobní při plném výkonu a v celém rozsahu hodnot účinníků lze provést změnou zkratových poměrů v síti. Tuto změnu lze neefektivněji provést výstavbou paralelního vedení mezi Otrokovicemi a Prostějovem. Ovšem

z majetkoprávního hlediska projednání trasy nového vedení 110 kV s vlastníky dotčených pozemků je nereálné.

Připojení a následné provozování závisí na domluvě provozovatele kogenerační výroby a provozovatele distribuční sítě, aby vše probíhalo dle platné legislativy.

Na závěr byly uvažovány nestandardní provozní stavy v síti při nejhorší možné variantě, a to při dodávkách plného výkonu plánované výroby do sítě a bez uvažování zátěže v Prostějově. Za nestandardní provozní stav bylo uvažováno kritérium N-1 pro vedení mezi Otrokovicemi (OKC) a Prostějovem (PRT). Z těchto výpočtů byla zjištěna nutnost snížení výkonu výroby ze 138 MW při účinnosti 0,99 kap až na hodnotu 87,5 MW. Při této hodnotě je zaručena zatížitelnost zbylého vedení na 64 % přenosové kapacity a hlavně dodržena změna napětí v uzlech sítě do 2%. V tomto případě je limitem změna napětí v síti nikoliv zatížení vedení. Pokud by jsme posuzovali pouze dodržení přenosové kapacity zbylého vedení do 95%, stačilo by snížit výkon pouze na 105 MW. Ovšem z důvodu změn poměrů v síti při výpadku jednoho vedení, musí být snížen výkon až na konečnou hodnotu 87,5 MW, při které je zaručen chod sítě při vyhovujících parametrech.

10 ZÁVĚR

Vzhledem ke stále se zvyšující spotřebě elektrické energie v celosvětovém měřítku, je třeba tento trend moderní doby vyrovnávat výstavbou nových zdrojů. Také však musíme mít na paměti, že primární zdroje energie mají vyčerpateľné zásoby. Z tohoto důvodu je zapotřebí neustále zvyšovat účinnost přeměny energie na ušlechtlejší formy, jako je elektrická energie. Plánovaná kogenerační výroba v Prostějově kromě výroby elektrické energie 58 MWe, bude vyrábět také teplo (paroplynová teplárna 80 MWe) a zásobovat jím blízké okolí. Výrobou elektrické a tepelné energie z primárních zdrojů, v našem případě zemního plynu, zvyšujeme využitelnost přeměny energií.

Pro připojení plánované výroby musíme provést výpočet ustáleného chodu sítě 110 kV, do které má být připojena. Pro výpočet ustáleného chodu můžeme použít některou z početních metod, které jsou uvedeny v kapitole 3. Výběr mezi uvedenými metodami je závislý na konkrétním řešení dané sítě.

Ustálený chod sítě 110 kV v oblasti Prostějovska byl spočítán pomocí počítačového programu E-VLIVY, který k výpočtu využívá metodu uzlových napětí a Gaussovu eliminační metodu pro výpočet soustavy rovnic. Výpočet byl proveden pro první plánovaný stav – před vybudováním vedení Konice - Opatovice. Výpočet ustáleného chodu sítě pro druhý plánovaný stav – po vybudování vedení Konice - Opatovice, které je znázorněno v příloze na schématu č.2 nebude proveden. Toto vedení se bude uvažovat až při výpočtech ustáleného stavu připojení výroby do této sítě.

Z výpočtů ustáleného stavu DS 110 kV z kapitoly 6.1.2 vyplývá, že výsledné hodnoty napětí v jednotlivých uzlech soustavy se drží u horní hranice tolerance (8,6 %), ale jsou v toleranci $\pm 10\%$, což odpovídá podle ČSN 50160. Také nedochází k přetěžování vedení.

Výsledky výpočtů, kde uvažujeme větrné parky Skřípov 23 MW a Malé Hradisko 26 MW včetně ostatních souvisejících zdrojů pracujících do uvažované sítě, jsou uvedeny v kapitole 6.1.4. Při tomto provozním stavu se nám neprojevovalo žádné přetížení prvků soustavy (vedení, transformátorů apod.), ale museli jsme se blíže zabývat změnou napětí v uzlech. Napětí v uzlech U44 až U51 vybočilo z tolerance $\pm 10\%$. Přestože došlo k vybočení z dané tolerance, nebudeme tyto hodnoty posuzovat z důvodu vlastní instalace větrných parků, která je na napěťové hladině 22 kV a nejedná se o distribuční síť. Tyto uzly jsou ve výsledných tabulkách uvedeny spíše pro úplnost. Pro praktické řešení DS 110 kV nemají význam. Problémy se změnou napětí, které by se mělo pohybovat v mezích $\pm 2\%$ při připojení nového zdroje do sítě nám vznikly mezi Konicemi (KNC) a Prostějovem (PRT), kde byly připojeny související zdroje větrných parků. Konkrétně v uzlech U20 (uzel odpovídající přípojnicí 110 kV v Konicích), (U42) a PRT, které jsme sledovali od začátku výpočtu ustáleného chodu kapitoly 6.1. Připojením souvisejícího zdroje AS1 (VTE Skřípov) a AS2 (VTE Malé Hradisko) nám v uzlech U20 a U42 došlo ke zvýšení napětí nad 2 %. V uzlu U20 až na hodnotu 3,474 %. Z tohoto důvodu jsme museli omezovat výkon zdrojů AS1 a AS2.

Došli jsme k závěru, že větrný park Malé Hradisko (AS2) nesmí být v provozu současně s větrným parkem Skřípov (AS1). Vyřazení větrného parku Malé Hradisko a omezování větrného parku Skřípov je dáno pořadím došlých žádostí o připojení, kdy žádost na připojení VTE Malé Hradisko byla podána později, než pro VTE Skřípov. Omezení výkonu VTE Skřípov na 16 MW bylo převzato ze studie, která se zabývala připojitelností prostějovské výroby v roce 2008 [13]. Pomocí výpočtů bylo ověřeno, že při omezení výkonu VTE Skřípov na 16 MW dosáhneme

změny napětí o 2,022 %. Pro splnění podmínky změny napětí do 2 % podle PPDS byl určen výkon 15,5 MW, který již změnu napětí před a po připojení VTE Skřípov udrží na 1,999 %.

Pro přehlednost jsou v kapitole 6.2 uvedeny změny napětí ve sledovaných uzlech a také změny zatížení vedení před a po připojení souvisejících zdrojů do sítě v oblasti Konice, Prostějov, Otrokovice.

V další části této práce jsme se již zabývali samotným připojením plánované kogenerační výroby do sítě. Hlavním úkolem této práce bylo určit hodnoty výkonu kogenerační výroby při různých účinnících a při abnormálních provozních stavech tak, aby nedocházelo k přetěžování prvků sítě a ke změně napětí po připojení výroby vyšší než ± 2 %. Pro splnění těchto úkolů bylo zapotřebí nejprve provést změnu konfigurace v síti, kdy došlo k přesmykování větrného parku Skřípov do uzlové oblasti Čebín, dále došlo k rozpojení sítě v uzlu KNC (Konice), kde je držena napěťová záloha. Po těchto změnách již uzlová oblast Čebín nemůže ovlivnit změny v síti, do které bude následně připojena nová výroba v Prostějově. Za těchto podmínek byly následně provedeny výpočty pro plný výkon výroby při různých hodnotách účinníku. Z takto získaných hodnot byl provoz výroby při plném výkonu pouze při kapacitním účinníku v rozmezí 0,9983 kap a 0,9681 kap z důvodu změny napětí v uzlech sítě. Těmto hodnotám odpovídá odběr jalového výkonu ze sítě 39,6 MVar – 24,3 MVar. Následně byly určeny snížené hodnoty výkonů výroby při různých účinnících, které nezpůsobují zvýšení napětí po připojení výroby do sítě nad 2 %. Dodržení těchto výkonů, které jsou uvedeny v kapitole 7.2.12 zaručuje, že změna napětí v uzlech sítě bude udržena v požadovaných tolerancích a také nedojde k přetížení prvků sítě. Ve zmíněné kapitole jsou také uvedeny vybrané uzly sítě ve sledované oblasti, ve kterých je nejvyšší změna napětí před a po připojení výroby do sítě.

V průběhu zpracování této práce došlo ke stažení žádosti o připojení VTE Malé Hradisko. Z tohoto důvodu museli být provedeny další změny v modelované síti a provedeny opětovné výpočty k určení hodnot výkonu kogenerační výroby při provozu do sítě bez uvažování VTE Malé Hradisko. Jednalo se tedy o třetí provozní stav při kterém lze předpokládat provoz prostějovské výroby paralelně se sítí. Větrný park Skřípov byl následně uvažován v plné výši. Za předpokladu, že tyto změny v konfiguraci sítě jsou již konečné, zjištěné výkony z této kapitoly budou velice důležité k udržení provozu sítě na požadovaných parametrech. Hodnoty těchto výkonů a změny napětí ve vybraných uzlech sítě před a po připojení výroby do sítě jsou uvedeny ve formě tabulek v kapitole 7.3.2.

Při porovnání dodávaných výkonů kogenerační výroby do sítě s uvažováním VTE Malé Hradisko a bez tohoto zdroje lze pozorovat jisté rozdílné hodnoty. Výpočty bylo určeno, že výkon kogenerační výroby při dodávkách elektrické energie do sítě bez uvažování VTE Malé Hradisko jsou nižší, než při paralelní výrobě obou zdrojů do DS. Snížení výkonu v důsledku změny napětí v síti je dáno odpojením asynchronního stroje od DS a tím změnou zkratových poměrů v síti.

V rámci určování kritérií provozu výroby paralelně s DS bylo také ověřováno kritérium N-1 pro vedení mezi napájecím uzlem Otrokovice, kde dochází k transformaci napětí z hladiny 400kV na hladinu 110kV a mezi uzlem Prostějov, který je označován za přípojné místo nové kogenerační výroby. Jednalo se konkrétně o vedení označované ve schématu jako 5577 (5575) a 5578 (5576). Výpočty byly provedeny bez uvažování zátěže v Prostějově a při plném výkonu výroby při kapacitním účinníku 0,99. Vzhledem k udržení zatížitelnosti vedení na 95 % přenosové kapacity při vypnutém jednom ze zmíněných vedení musí být snížen výkon výroby na 105 MW. Tato hodnota však nezaručuje udržení změny napětí do 2 % z důvodu změny

poměrů v síti při výpadku jednoho z vedení. Z tohoto důvodu je nutné snížit výkon výroby až na hodnotu 87,5 MW.

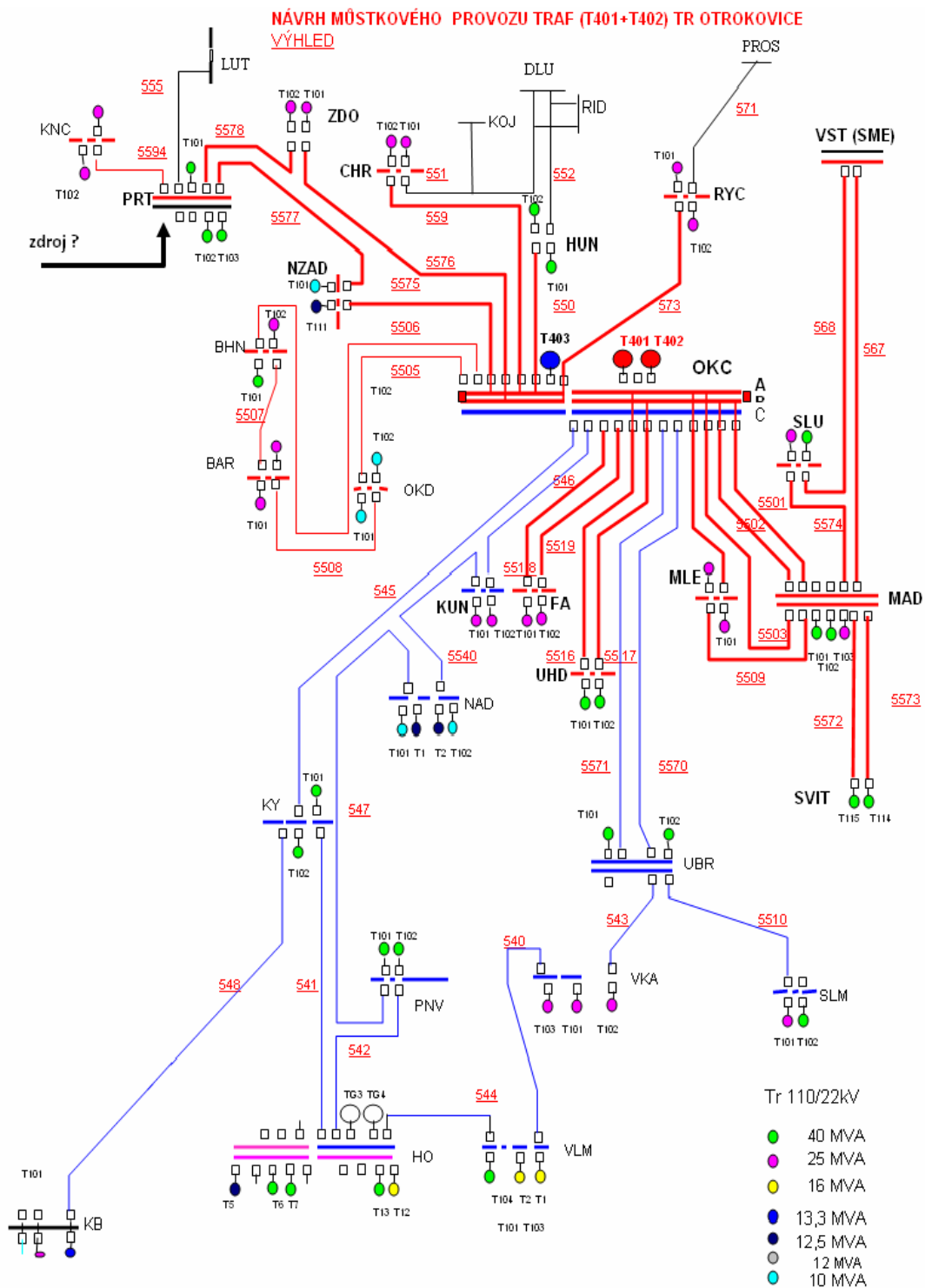
Pokud by byl požadavek na provoz kogenerační výroby při plném výkonu v celém rozsahu účinníků, musel by se zvýšit zkratový výkon v uvažované síti 110 kV. Zvýšení zkratového výkonu lze dosáhnout například zvýšením průřezu stávajícího vedení. Konkrétně vedení mezi napájecím uzlem Otrokovice a přípojném místě Prostějov. Toto vedení má nyní průřez 250mm² a navýšení na průřez například 350 mm² by znamenalo rekonstrukci stožárů, které jsou limitovány mechanickým zatížením a neunesli by vyšší průřezy lan. Pokud by se i přes tyto překážky rekonstrukce stávajícího vedení provedla, nebyl by zaručen požadovaný účinek z důvodu velké délky tohoto vedení. Další možností zvýšení zkratového poměru v síti je navýšení počtu transformátorů v napájecím uzlu Otrokovice, ovšem zde již pracují dva transformátory paralelně a nelze počítat s dalším navýšením. Jako nejefektivnější řešení se nabízí výstavba nového, paralelního vedení ke stávajícímu mezi uzly Otrokovice a Prostějov. Výstavba tohoto vedení by měla zaručit zvýšení zkratového poměru na požadovanou míru. Toto tvrzení nebylo ověřeno výpočtem, a bylo by zapotřebí vše detailně prověřit. Výstavba paralelního vedení mezi Otrokovicemi a Prostějovem z hlediska majetkoprávního projednání trasy vedení 110 kV s vlastníky dotčených pozemků je prakticky nereálná.

Z výše popsaných důvodů nelze předpokládat žádné výrazné změny v síti, které by dovolili provoz kogenerační výroby na plný výkon pro všechny hodnoty účinníku. Proto je nutné, aby byl provoz výroby dohodnut s PDS jak ukládá PPDS. V tomto případě by se jednalo zejména o jalový výkon, který bude odebírán ze sítě při provozu v kapacitním účinníku. Při dodržení výše vypočítaných hodnot výkonů výroby v Prostějově, nebude docházet k výraznému ovlivnění DS z pohledu napěťových změn a zatížitelnosti prvků sítě. Je proto možné výrobu připojit bez vážnějších změn v síti.

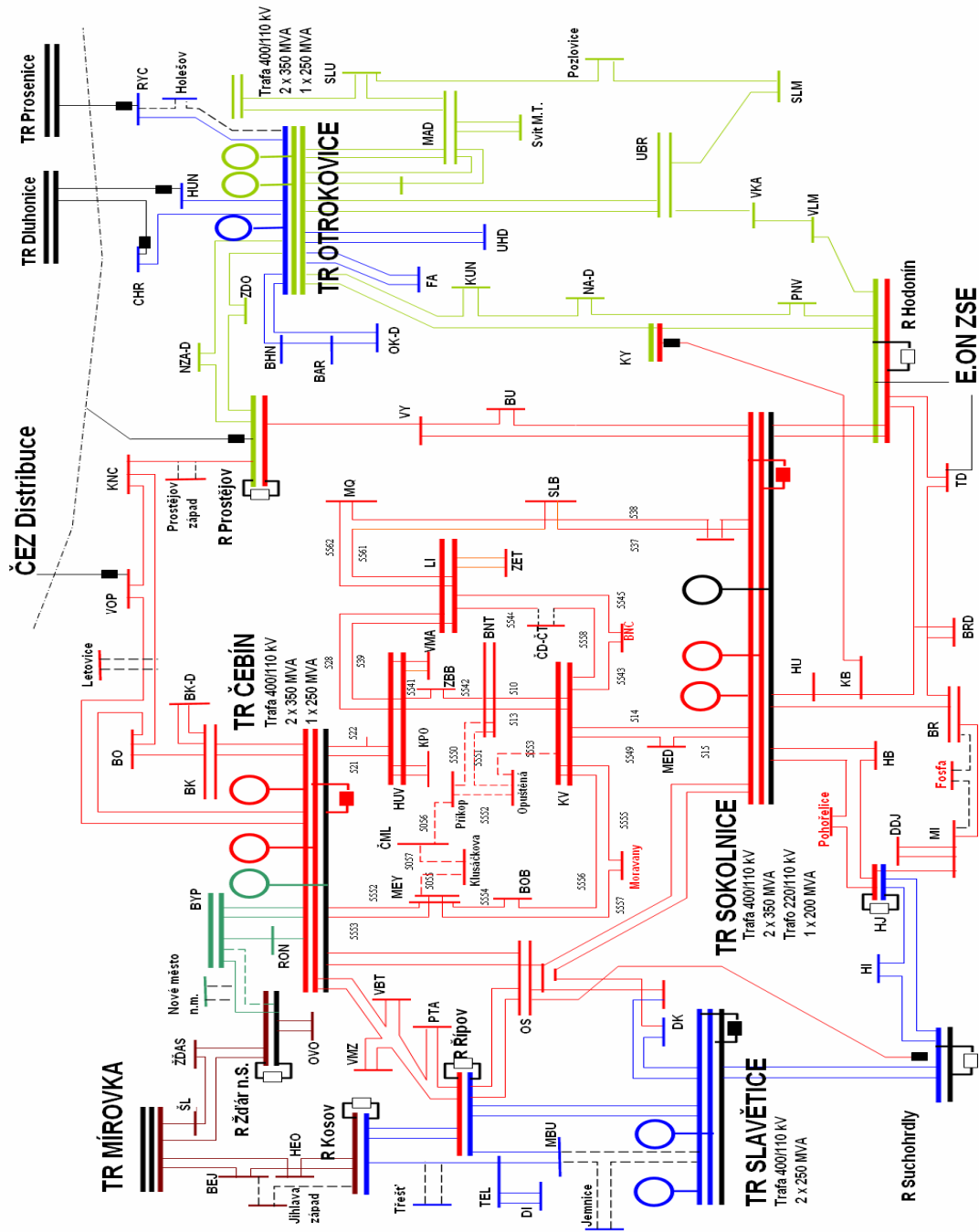
POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Blažek V., Skala P.: *Distribuce elektrické energie VUT v Brně*
- [2] Dvorský E., Hejtmánková P.: *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*, BEN Praha 2005
- [3] Fajmon B., Růžičková I.: *Matematika 3 VUT v Brně*, Brno 2005
- [4] Haluzík E.: *Řízení provozu elektrizačních soustav VUT v Brně*, Praha 1984
- [5] Horák K.: *Výpočet elektrických sítí*, Praha 1980
- [6] Hutýra T.: *Dokumentace k žádosti o vydání rozhodnutí o umístění stavby*, prosinec 2010
- [7] Matoušek A.: *Výroba elektrické energie VUT v Brně*, Brno 2007
- [8] Osobní konzultace a propagační materiály k vyvedení výkonu z paroplynového cyklu v teplárně Červený mlýn v Brně, Ing. Ondroušek Luděk
- [9] Podklady pro zpracování Diplomové práce od společnosti E.ON Distribuce a.s.
- [10] Pravidla pro provozování Distribučních soustav, Příloha 4, Schválil Energetický regulační úřad, květen 2009
- [11] Pravidla provozování Distribučních soustav, Hlavní část a Příloha 4, Změna 01/2010, Schválil Energetický regulační úřad, 7.června 2010
- [12] Procházka K., Plachý V.: *Posouzení připojitelnosti elektrárny Prostějov 58+80MW do R 110kV Prostějov v síti E.ON Distribuce, a.s.*, České Budějovice, červen 2008
- [13] Procházka K., Plachý V.: *Posouzení připojitelnosti farem VTE Skřípov 12*2000 kW a Malé Hradisko 16*2000 kW do sítě 110 kV E.ON Distribuce, a.s.*, České Budějovice leden 2008
- [14] Příručka E-Vlivy, EGC – EnerGoConsulting ČB, s.r.o.
- [15] www.jenbacher.cz, online [cit. 2011-02-08]

PŘÍLOHA Č.1



Obr.1 Schéma č.1 – uvažované schéma pro výpočty ustáleného chodu a pro připojení nového zdroje do uzlu PRT (Prostějov).[9]



Obr.2 Schéma č.2 – Výchledová konfigurace včetně návrhu provozu DS 110 kV po roce 2015. Jedná se o návrh konfigurace, kde je zobrazeno vedení mezi Konicemi (KNC) a Boskovicemi (BO). [9]