

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**

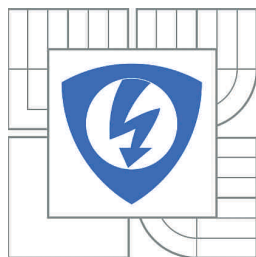
**POSOUZENÍ MOŽNOSTI PROVOZU ZDROJŮ
V DANÉ OBLASTI PŘI NESTANDARDNÍCH
PROVOZNÍCH STAVECH SÍTĚ VN**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

BC. JIŘÍ ČÁSLAVA

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Jiří Čáslava

ID: 106394

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

**Posouzení možnosti provozu zdrojů v dané oblasti při nestandardních
provozních stavech sítě VN**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis výpočetních metod.
2. Seznámení a popis programu použitého pro výpočet.
3. Výpočet stávajícího stavu sítě VN s provozovanými zdroji.
4. Výpočet možných nestandardních provozních stavů (zapojení) sítě.
5. Vyhodnocení výpočtů a návrh provozních omezení či provozních režimů jednotlivých zdrojů pracujících do jednotlivých částí sítě při nestandardním provozním zapojení daného úseku sítě.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

Vedoucí práce: Ing. David Topolánek, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

ČÁSLAVA, J. *Posouzení možnosti provozu zdrojů v dané oblasti při nestandardních provozních stavech sítě VN*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 76 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Topolánek, Ph.D..

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....

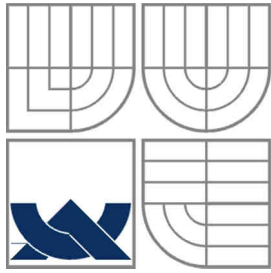
Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidu Topolánkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji pracovníkům oddělení rozvoje sítí VN E.ON za cenné rady, čas a informace nutné pro vypracování této diplomové práce.

V Brně dne 26. 4. 2012

.....

Bc. Jiří Čáslava



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

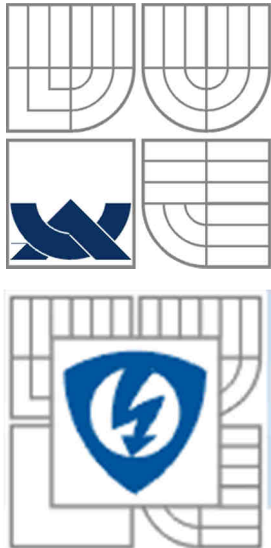
Posouzení možnosti provozu zdrojů v dané oblasti při nestandardních provozních stavech sítě VN

Bc. Jiří Čáslava

vedoucí: Ing. David Topolánek, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Master's Thesis

**Evaluation of nonstandard
operation possibilities of power
sources in MV network**

by

Bc. Jiří Čáslava

Supervisor: Ing. David Topolánek, Ph.D.

Brno University of Technology, 2012

Brno

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá řešením možných nestandardních provozních zapojeních distribuční sítě 22 kV provozovatele distribuční soustavy E.ON v zadané oblasti s ohledem na možnosti provozování zdrojů rozptýlené výroby a to jak zdrojů, které jsou v současné době v provozu, tak i možných budoucích zdrojů do ní připojených a jejich eventuálnímu provoznímu omezení. K tomuto je v práci vypracován popis výpočetních metod řešení sítí v ustáleném stavu s důrazem na lineární výpočty užívané v programu E-Vlivy, ve kterém jsou možná provozní zapojení modelována, proto také práce obsahuje popis tohoto programu. Navržené provozní stavy odpovídají platným pravidlům provozování distribuční soustavy E.ON. Výstupy této práce budou sloužit dispečerům sítě 22 kV společnosti E.ON jako podklady při řízení sítě v nestandardních provozních stavech.

KLÍČOVÁ SLOVA: Distribuční soustava 22 kV; pravidla provozování distribuční soustavy; E-Vlivy; nestandardní provozní stav; E.ON; bioplynová stanice; fotovoltaická elektrárna; regulace výkonu; regulace účinníku; vypínač; připojitelnost zátěže, změna napětí

ABSTRACT

This Master's thesis deals with solution of nonstandard operation connection of E.ON's 22kV distribution network in given area, considering the possibilities of operating dispersed electric power sources currently available, as well as possible power sources connected to the distribution network in the future and its potential operation limitation. A part of this paper is a description of calculation methods used for network evaluation in steady state, with emphasis on linear calculations used by E-Vlivy program, in which the operational possibilities are simulated. Therefore, a description of this program is also included. Suggested operation possibilities correspond with E.ON's valid distribution network operation rules. The outcome of this paper will serve to E.ON's 22kV network's controllers as materials for network operating in nonstandard operation states.

KEY WORDS:

22 kV distribution network; distribution network operation rules; E-Vlivy; nonstandard operation possibility; E.ON; biogas station; photovoltaic power station; power regulation; voltage regulation; power factor regulation; circuit breaker; load connectivity; voltage variation

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ.....	14
SEZNAM ZKRATEK.....	16
1 ÚVOD.....	17
2 DISTRIBUČNÍ SÍŤ VN V ČESKÉ REPUBLICE.....	18
3 CÍLE PRÁCE	20
4 VÝPOČETNÍ METODY ŘEŠENÍ SÍTÍ V USTÁLENÉM STAVU.....	21
5 POPIS VÝPOČETNÍHO PROGRAMU E-VLIVY	26
5.1 NASTAVENÍ PROGRAMU.....	26
5.2 VYTVOŘENÍ SÍŤE	28
5.2.1 NAPÁJECÍ UZEL	28
5.2.2 TRANSFORMÁTOR	29
5.2.3 VEDENÍ.....	32
5.2.4 ZÁTĚŽ	33
5.2.5 SYNCHRONNÍ STROJ.....	34
5.2.6 VYPÍNAČ	36
5.3 VÝPOČETNÍ METODY PROGRAMU	37
5.3.1 CHOD SÍŤE.....	37
5.3.2 CHOD SÍŤE S KONSTANTNÍM VÝKONEM.....	38
5.3.3 PŘIPOJITELNOST ZÁTĚŽE.....	38
6 STÁVAJÍCÍ STAV SÍŤE.....	39
6.1 STÁVAJÍCÍ PROVOZNÍ ROZPOJENÍ.....	41
6.2 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_V2	43
6.3 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_ZEL	45
6.4 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_V3	47
6.5 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_V3 A ODPOJENOU FVE RYBNÍČEK.....	49
6.6 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_VN121	51
6.7 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_VN121 A ODPOJENOU FVE RYBNÍČEK ..	53
6.8 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_DR22	55
7 SÍŤ SE ZDROJEM BPS_Z O VÝKONU 0,5 MW	57
7.1 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_DR121	57
7.2 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_V2	59
7.3 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_ZEL	61
7.4 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_DR22	63
8 SÍŤ SE ZDROJEM BPS_Z O VÝKONU 1 MW	65

8.1 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_DR121	65
8.2 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_V2	67
8.3 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_ZEL	69
8.4 PROVOZNÍ ROZPOJENÍ S VYPNUTÝM VYPÍNAČEM SS_DR22	71
9 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ	73
10 ZÁVĚR.....	74
POUŽITÁ LITERATURA	76

PŘÍLOHY:**PŘÍLOHA 1 – TOPOLOGICKÉ SCHÉMA ŘEŠENÉ SÍTĚ V ZADANÉ OBLASTI**

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 4-1 Schéma sítě</i>	23
<i>Obr. 5-1 Nastavení programu E-Vlivy</i>	26
<i>Obr. 5-2 Grafické znázornění napájecího uzlu</i>	28
<i>Obr. 5-3 Okno volby parametrů napájecího uzlu</i>	29
<i>Obr. 5-4 Grafické znázornění transformátoru</i>	29
<i>Obr. 5-5 Zjednodušené okno parametrů transformátoru</i>	30
<i>Obr. 5-6 Výběr transformátoru z databáze</i>	30
<i>Obr. 5-7 Plné zobrazení okna parametrů transformátoru</i>	31
<i>Obr. 5-8 Grafické znázornění vedení ve schématu</i>	32
<i>Obr. 5-9 Okno výběru vedení z databáze</i>	32
<i>Obr. 5-10 Okno volby parametrů vedení</i>	33
<i>Obr. 5-11 Grafické znázornění zátěže ve schématu</i>	33
<i>Obr. 5-12 Okno voleb parametrů zátěže</i>	34
<i>Obr. 5-13 Grafické znázornění synchronního stroje ve schématu</i>	34
<i>Obr. 5-14 Okno voleb parametrů synchronního stroje</i>	35
<i>Obr. 5-15 P-Q diagram synchronní stroje podle [6]</i>	36
<i>Obr. 5-16 Grafické znázornění vypínače ve schématu</i>	36
<i>Obr. 5-17 Okno voleb parametrů vypínače</i>	36
<i>Obr. 6-1 Graf změny napětí po připojení zdrojů ve výchozím stavu při QL5</i>	41
<i>Obr. 6-2 Schéma stávajícího stavu modelované sítě</i>	42
<i>Obr. 6-3 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V2</i>	43
<i>Obr. 6-4 Schéma sítě při vypnutém SS_V2</i>	44
<i>Obr. 6-5 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_ZEL</i>	45
<i>Obr. 6-6 Schéma sítě při vypnutém SS_ZEL</i>	46
<i>Obr. 6-7 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V3</i>	47
<i>Obr. 6-8 Schéma sítě při vypnutém SS_V3</i>	48
<i>Obr. 6-9 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V3 a vypnutou FVE Rybníček</i>	49
<i>Obr. 6-10 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_VN121</i>	51
<i>Obr. 6-11 Schéma sítě při vypnutém SS_VN121</i>	52
<i>Obr. 6-12 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_VN121 a vypnutou FVE Rybníček</i>	53
<i>Obr. 6-13 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3</i>	55

<i>Obr. 6-14 Schéma sítě při vypnutém SS_DR22</i>	56
<i>Obr. 7-1 Schéma sítě při vypnutém SS_DR121</i>	58
<i>Obr. 7-2 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR121 s BPS_Z 0,5 MW</i>	59
<i>Obr. 7-3 Schéma sítě při vypnutém SS_V2</i>	60
<i>Obr. 7-4 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V2 s BPS_Z 0,5 MW</i>	61
<i>Obr. 7-5 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_ZEL s BPS_Z 0,5 MW</i>	61
<i>Obr. 7-6 Schéma sítě při vypnutém SS_ZEL</i>	62
<i>Obr. 7-7 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR22 s BPS_Z 0,5 MW</i>	63
<i>Obr. 7-8 Schéma sítě při vypnutém SS_DR22</i>	64
<i>Obr. 8-1 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR121 s BPS_Z 1 MW</i>	67
<i>Obr. 8-2 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V2 s BPS_Z 1 MW</i> ..	69
<i>Obr. 8-3 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_ZEL s BPS_Z 1 MW</i>	69
<i>Obr. 8-4 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR22 s BPS_Z 1 MW</i>	71

SEZNAM TABULEK

Tab. 6-1 Stávající prvky sítě.....	40
Tab. 6-2 Tabulka změny napětí výchozího stavu.....	42
Tab. 6-3 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_V2.....	43
Tab. 6-4 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V2 při QL5 a P3 u FVE	44
Tab. 6-5 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_ZEL při QL5 a P3 u FVE.....	46
Tab. 6-6 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_V3.....	47
Tab. 6-7 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V3 při QL3 a P1 u FVE	48
Tab. 6-8 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_V3 a odpojené FVE Rybníček	49
Tab. 6-9 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V3 a vypnutou FVE Rybníček	50
Tab. 6-10 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_VN121 při QL3 a P1 u FVE.....	52
Tab. 6-11 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_VN121 a odpojené FVE Rybníček	53
Tab. 6-12 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_VN121 a vypnutou FVE Rybníček...	54
Tab. 6-13 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_DR22.....	55
Tab. 6-14 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3	56
Tab. 7-1 Nové domodelované prvky sítě	57
Tab. 7-2 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR121	57
Tab. 7-3 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR121 při QL5	58
Tab. 7-4 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_V2	59
Tab. 7-5 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V2 při QL5 a P3 u FVE	60
Tab. 7-6 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_ZEL při QL5 a P3 u FVE.....	62
Tab. 7-7 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR22	63
Tab. 7-8 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3	64
Tab. 8-1 Změněné parametry prvků sítě	65
Tab. 8-2 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR121 a výkonu BPS_Z 1 MW.....	65
Tab. 8-3 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR121 při QL5 a BPS_Z 1 MW.....	66
Tab. 8-4 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_V2 a výkonu BPS_Z 1 MW	67
Tab. 8-5 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V2 při QL5 a P3 u FVE	68
Tab. 8-6 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_ZEL při QL5 a P3 u FVE.....	70
Tab. 8-7 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR22 a výkonu BPS_Z 1 MW.....	71
Tab. 8-8 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3 a BPS_Z 1 MW	72
Tab. 9-1 Nastavení zdrojů podle vypnutých vypínačů.....	73

SEZNAM SYMBOLŮ

Značka	Veličina	Jednotka
B_{km}	příčná susceptance na 1 km	$S \cdot km^{-1}$
I	efektivní hodnota proudu	A
\bar{I}	fázor efektivní hodnoty uzlového proudu	A
$[\bar{I}]$	matice fázorů efektivních hodnot uzlových proudů	A
$\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3, \bar{I}_4$	fázory efektivní hodnoty uzlových proudů	A
I_{max}	maximální zatěžovací proud	A
I_{n1}	jmenovitý proud primárního vinutí transformátoru	A
I_{n2}	jmenovitý proud sekundárního vinutí transformátoru	A
I_{zkr}	zkratový proud	A
P	činný výkon	W
P_o	ztráty transformátoru naprázdno	%
P_k	ztráty nakrátko	W
Q	jalový výkon	Var
Q_k	kompenzační výkon	Var
R	rezistance	Ω
R_0	netočivá složka rezistance	Ω
R_1	sousledná složka rezistance	Ω
R_{n1}	rezistance uzemnění uzlu primárního vinutí transformátoru	Ω
R_{n2}	rezistance uzemnění uzlu sekundárního vinutí transformátoru	Ω
R_{km}	podélný odpor vedení na 1 km	$\Omega \cdot km^{-1}$
S	zdánlivý výkon	VA
S_n	jmenovitý výkon	VA
S_t	jmenovitý výkon transformátoru	VA
S_{zkr}	zkratový výkon	VA
$SAIDI$	průměrná systémová doba trvání výpadku	min·rok ⁻¹
$SAIFI$	průměrná systémová intenzita poruch	rok ⁻¹
U	efektivní hodnota napětí	V
\bar{U}	fázor efektivní hodnoty uzlového napětí	V
$[\bar{U}]$	matice fázorů efektivních hodnot uzlových napětí	V
$\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_4$	fázory efektivní hodnoty uzlových napětí	V
U_n	jmenovité napětí	V
U_{n1}	jmenovité primární napětí transformátoru	V
U_{n2}	jmenovité sekundární napětí transformátoru	V
U_{prov}	provozní napětí	V
X	reaktance	Ω
X_0	netočivá složka reaktance	Ω
X_1	sousledná složka reaktance	Ω
X_d	subtranzitní reaktance	%
X_{n1}	reaktance uzemnění uzlu primárního vinutí transformátoru	Ω
X_{n2}	reaktance uzemnění uzlu sekundárního vinutí transformátoru	Ω
X_{km}	podélná reaktance vedení na 1 km	$\Omega \cdot km^{-1}$
\bar{Y}	uzlová admitance sítě	S
$[\bar{Y}]$	matice fázorů hodnot uzlových admitancí	S
$\bar{Y}_{11}, \dots, \bar{Y}_{44}$	fázory uzlových admitancí	S

a_{11}, \dots, a_{nn+1}	koeficienty v soustavě rovnic	-
$\cos \varphi$	účinník	-
$\cos \varphi_n$	jmenovitý účinník	-
i	index čísla řádku matice	-
i_o	proud transformátoru naprázdno	%
j	index čísla sloupce matice	-
n	počet	-
u_k	napětí transformátoru nakrátko	%
x_1, \dots, x_n	neznámé v soustavě rovnic	-
\bar{y}	admitance prvků sítě	S
$\bar{y}_{11}, \dots, \bar{y}_{44}$	fázory admitancí prvků	S
$\Delta_{\Delta U}$	rozdílný úbytek napětí před a po připojení zdrojů	%
ΔU_1	úbytek napětí oproti jmenovité hodnotě před připojením zdrojů	%
ΔU_2	úbytek napětí oproti jmenovité hodnotě po připojení zdrojů	%

SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam zkratky
BPS	bioplynová stanice
ČSN	česká státní norma
DS	distribuční soustava
FVE	fotovoltaická elektrárna
HDO	hromadné dálkové ovládání
PNE	podniková norma energetiky
PPDS	pravidla provozování distribuční soustavy
VTE	větrná elektrárna
nn	hladina nízkého napětí
vn	hladina vysokého napětí

1 ÚVOD

Vzhledem ke stále vzrůstajícímu počtu připojených malých zdrojů a to zejména zdrojů obnovitelných do distribučních sítí dochází ke stále většímu přejímání funkcí sítí přenosové soustavy těmito sítěmi, což vede k častějšímu výskytu poruch, které se projeví zhoršením ukazatelů spolehlivosti *SAIFI* a *SAIDI*. Z těchto důvodů je nutno ověřit možná nestandardní zapojení distribučních sítí, tak aby byly dodrženy napěťové a frekvenční podmínky ve všech uzlech sítě a byla tak zajištěna požadovaná kvalita dodávané elektrické energie a obnova dodávky elektrické energie co největšímu počtu odběratelů v co nejkratším čase. K zajištění výše zmíněného se s výhodou využívá zařazení dálkově ovládaných úsečnicků – recloserů do distribuční soustavy. Součástí přepojení může být i odpojení některých malých zdrojů připojených do distribuční soustavy. Tyto analýzy lze také využít při plánovaných odstávkách sítě z důvodů údržby anebo rekonstrukce částí soustavy.

Výsledkem analýzy sítě může být i návrh na rekonstrukci respektive posílení částí soustavy tak, aby byla zajištěna dodávka maximálnímu počtu spotřebitelů při přijatelných nákladech s ohledem na co největší variabilitu možných provozních přepojení.

2 DISTRIBUČNÍ SÍTĚ VN V ČESKÉ REPUBLICE

Distribuční soustava je soubor elektrických zařízení sloužících k dopravě elektrické energie z přenosové soustavy ke koncovým odběratelům. V České Republice se distribuční soustava skládá ze sítí na následujících napěťových hladinách:

- 110 kV
- 35 kV
- 22 kV
- 10 kV
- 6 kV
- 0,4 kV

Soustava 110 kV slouží k distribuci elektrické energie na větší vzdálenosti, ale tam kde se ještě nevyužívá přenosové soustavy. Síť této napěťové hladiny je v porovnání s nižšími napěťovými hladinami poměrně řídká. Soustava 110 kV je provozována zokruhovaně s účinně uzemněným uzlem. Soustava 22 kV a výjimečně např. v severních Čechách 35 kV slouží převážně k přenosu elektrické energie oblastně a k významnějším odběratelům, tato soustava je provozována paprskově s izolovaným nebo nepřímo uzemněným uzlem, stejně jako soustavy 6 a 10 kV, které se využívají pro připojení závodů tam, kde není možné nebo nutné připojení do lokální distribuční soustavy 22 respektive 35 kV. Napěťové hladiny 6 a 10 kV se však v distribučních sítích ČR vyskytují velmi zřídka a na distribučním území E.ON se již vůbec nevyskytují. Napěťová hladina 0,4 kV je provozována s přímo uzemněným uzlem a vyvedeným středním vodičem, slouží k lokální přepravě elektrické energie především k maloodběratelům, proto je na této napěťové hladině připojen největší počet zákazníků. Hladina 0,4 kV se provozuje většinou paprskově, avšak může být i zokruhovaná, v městských aglomeracích se využívá tzv. mřížových sítí. V případě města Brna je historické centrum provozováno jako mřížová síť a zbytek města kombinovaně.

Spínání distribučních sítí je dle [9] provedeno pomocí:

- Výkonových vypínačů umístěných v rozvodně sloužících k vypnutí všech proudů jím tekoucích včetně proudů zkratových. Výkonový vypínač má na obou stranách odpojovače sloužící k viditelnému rozpojení vodivé cesty, dále je vybaven uzemňovačem.
- Recloserů umístěných na stožárech VN. Reclosery slouží k dálkově ovládanému spínání vedení do svého jmenovitého proudu pomocí zhášecí komory s olejem, SF₆, nebo vakuem, který je obvykle dimenzován na poruchový proud vzdáleného zkratu. Jejich výhodou je velká rychlost vypnutí a tudíž zachování dodávky ostatním odběratelům. Na distribučním území E.ON jsou v současnosti reclosery teprve zaváděny a jejich výskyt je tedy zatím pouze řídký.
- Dálkově ovládané úsečníky slouží v sítích VN k odpojení místa poruchy a k obnově napájení co největšímu počtu odběratelů v relativně krátkém čase. Jejich funkce je založena na dálkovém odpojování úseků sítě vypnuté výkonovým vypínačem. Při opětovném zapnutí je zjišťováno, zda porucha stále trvá a postup se opakuje, dokud nejsou odpojeny pouze nezbytně nutné úseky vedení.

- Ručně ovládané úsečníky plní obdobnou funkci jako úsečníky dálkově ovládané s tím, že je napřed nutné na místo vyslat havarijní čet, která bude s úsečníkem manipulovat v beznapěťovém stavu v koordinaci s dispečerem.

V praxi se nejčastěji používá kombinace těchto spínacích prvků v kombinaci dané kompromisem mezi technickou a ekonomickou efektivností. Při rekonstrukcích se však stále častěji na klíčových úsecích důležitých vedeních dává přednost dálkově ovládaným spínačům.

3 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je modelování distribuční sítě 22 kV v zadané oblasti včetně všech v současnosti provozovaných zdrojů. V této síti budou následně namodelovány možné nestandardní provozní zapojení sítě i s ohledem na možné připojení dalších zdrojů do této sítě při možných nestandardních provozních stavech budou uvažovány pouze ty varianty, které zachovávají napájení v celé řešené oblasti. Z těchto simulací budeme vycházet při výsledném návrhu možných provozních režimů a omezení jednotlivých zdrojů pracujících do jednotlivých částí sítě při nestandardním zapojení daného úseku sítě 22 kV. K provedení výše uvedeného využijeme program E-Vlivy od firmy EnerGoConsult ČB s.r.o. Jelikož program E-Vlivy využívá pro řešení sítí lineární výpočty, budou proto v této diplomové práci zpracovány výpočty ustáleného chodu se zaměřením na tuto metodu.

4 VÝPOČETNÍ METODY ŘEŠENÍ SÍTÍ V USTÁLENÉM STAVU

Ustálený chod elektrizační soustavy je jisté zjednodušení, které zavádíme, protože v reálné síti nikdy nedosáhneme stavu, kdy nedochází k žádným změnám – připínání anebo odpínání zdrojů, vedení a zátěží. Reálná síť se totiž chová dynamicky a nikdy v ní ustálený chod nenastane, pro určité typy úloh je dynamický chod nevhodný a vystačíme si se zjednodušením na ustálený chod sítě, která má následující předpoklady:

- a) konstantní dodávané respektive odebírané výkony zdrojů a zátěží
- b) vyrovnanou výkonovou bilanci
- c) konstantní velikost napětí i proudů
- d) konstantní fázový posun
- e) konstantní frekvence
- f) harmonický průběh napětí i proudu
- g) uvažujeme pouze 1. harmonickou složku napětí i proudu

Při sestavování základních rovnic nutných pro výpočet ustáleného chodu, používáme metody pro řešení lineárních obvodů. Nejčastěji využíváme metodu uzlových napětí, jelikož její algoritmus pro sestavování uzlových admitancí lze snadno implementovat do softwaru pro výpočetní techniku.

Při řešení ustáleného chodu elektrizačních soustav vede matematický výpočet k soustavě nelineárních rovnic, pro jejich řešení je podle [1] a [2] nutno použít iteračních metod. Jejich řešení je náročné na výpočetní techniku a tedy i na čas. Nelineární metody využíváme, máme-li odběry a dodávky reprezentovány činnými a jalovými výkony, přičemž pro odběrové uzly značíme výkon záporným znaménkem, v případě, že zdroj dodává do uzlu induktivní výkon nebo spotřebič odebírá z uzlu kapacitní výkon, jsou znaménka v obou případech stejná - kladná. Bilanční uzel značený jedničkou hradí rozdíl mezi dodávkami a odběry výkonů stejně jako ztráty činného a jalového výkonu. V praxi se pro výpočet nejčastěji používají následující dvě metody:

- a) Gauss – Seidlova iterační metoda

Tato metoda se vyznačuje jednoduchým algoritmem výpočtu a krátkou dobou nutnou k výpočtu jednoho iteračního kroku, její nevýhodou ovšem je pomalá konvergence především u málo zauzlených sítí, což v důsledku znamená velký počet iteračních kroků nutných k dosažení požadované vysoké přesnosti výpočtu, která je nutná, aby nedošlo k zanesení značné chyby v tocích výkonů a uzlových bilancích výkonů způsobené nepřesným výpočtem napětí.

- b) Newtonova iterační metoda

Někdy je tato metoda nazývána jako Newton – Raphsonova metoda. Výhodou této metody je rychlá konvergence a z toho vyplývající malý počet iteračních kroků, přesnost této metody téměř nezávisí na velikosti řešené sítě. Nevýhodou této metody jsou značné nároky na výpočetní paměť při výpočtu diferenciálních kořenů. Současně je nutný poměrně velký výpočetní výkon na řešení matice parciálních derivací, které

je časově náročné. Nepožadujeme-li přesné výpočty, lze použít následující zjednodušení: zanedbáme podélnou rezistanci vedení a transformátorů, protože převažuje jejich reaktance, zanedbáme závislost činného výkonu na velikosti napětí a jalového výkonu na úhlu napětí. Tyto zjednodušení soustavu parciálních derivací značně zjednoduší.

Podle [8] při řešení ustáleného chodu sítí výpočetními programy dochází většinou ke kombinaci obou výše zmíněných iteračních metod, přičemž jako první metodu využíváme Gauss – Seidlovu iterační metodu, na kterou po několika krocích navazuje Newtonova iterační metoda, tímto dochází ke snížení doby potřebné k výpočtu. Bližší popis těchto iteračních metod obsahuje literatura dle [3] a [4], dále se jimi zabývat nebudeme, protože program E-Vlivy využívá lineárního řešení.

Pro výpočty, kde nepožadujeme velkou přesnost výsledku, můžeme úlohu linearizovat. Linearizaci provedeme tak, že výkony zadané v uzlech sítě převedeme na proudy podělením střední hodnotou napětí nebo napětím jmenovitým. Modelaci sítě pro výpočet provádíme tak, že vedení nahrazujeme Π články, transformátory můžeme nahradit Γ nebo Π články. Příčné admitance jsou spojeny mezi příslušný uzel sítě a referenční uzel, který je nejčastěji reprezentován zemí o nulovém potenciálu. Následně musíme přepočítat všechny prvky sítě na jednu společnou vztažnou hladinu napětí. Příklad sítě je uveden na Obr. 4-1 a lze ho podle [1] popsat soustavou rovnic (4.1) vytvořených pomocí metody uzlových napětí.

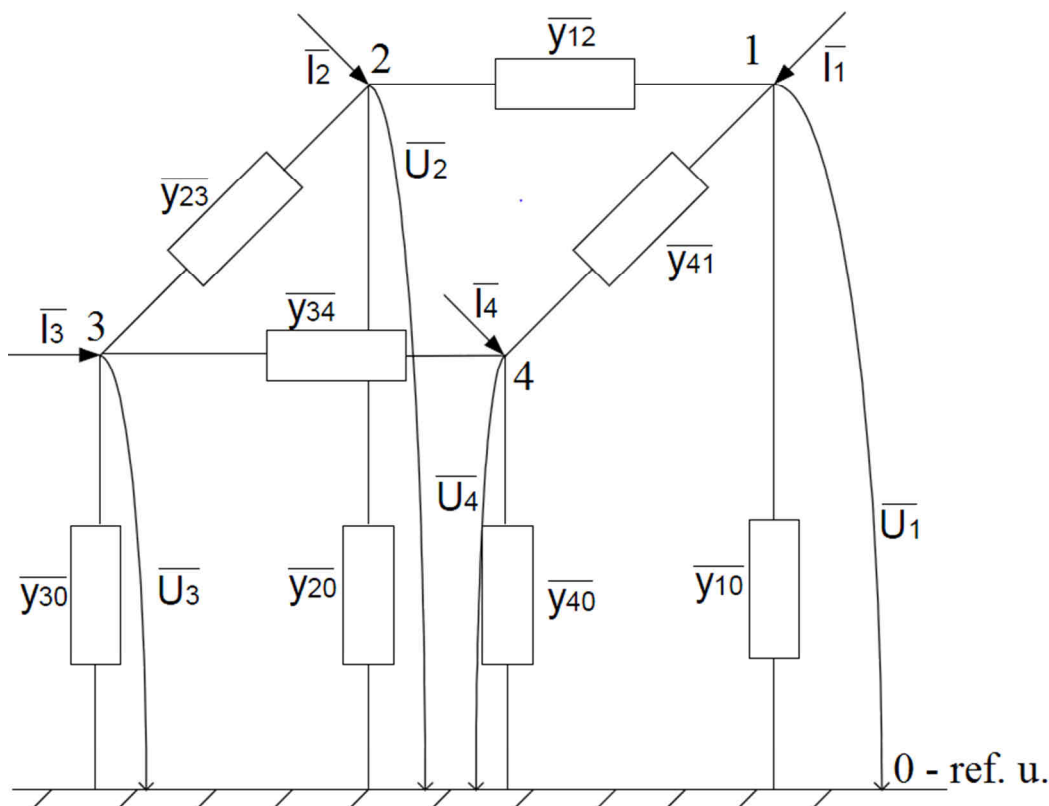
$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

V soustavě rovnic (4.1) jsou napětí \bar{U}_1 až \bar{U}_4 neznámá uzlová napětí a proudy \bar{I}_1 až \bar{I}_4 jsou zadanými uzlovými proudy, kde kladně značené proudy jsou proudy do uzlu vtékající – dodávané a záporně značené jsou z uzlu vytékající – odebírané. Soustavu rovnic (4.1) můžeme podle [1] také zkráceně zapsat ve tvaru podle rovnice (4.2).

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}] \cdot [\bar{U}] \quad (4.2)$$

Soustavu popsanou s použitím metody uzlových napětí, kde prvky admitanční uzlové matice v rovnici (4.1) jsou sestavy podle algoritmu, který vyplývá z II. Kirchhoffova zákona a to tak, že i -tý prvek admitanční matice na hlavní diagonále \bar{Y}_{ii} je tvořen součtem všech admitancí větví napojených do i -tého uzlu, mimodiagonální prvky admitance \bar{Y}_{ij} jsou tvořeny součtem všech admitancí větví spojujících i -tý a j -tý uzel a výsledek součtu je brán se záporným znaménkem. Pro výpočet admitancí neuvažujeme induktivní vazby mezi větvemi. Pro přehlednost značení píšeme admitanční uzlové matice a uzlové veličiny velkými písmeny, zatímco větvové veličiny malými písmeny. Soustavu rovnic (4.2) lze podle [1] také zapsat ve tvaru rovnice (4.3), ve které

„ n “ značí počet uzlů v síti bez započítání referenčního uzlu, který má pro zjednodušení přiřazeno číslo 0.



Obr. 4-1 Schéma sítě

V případě, že neuvažujeme příčné admittance prvků sítě je soustava rovnic (4.2) závislá, závislost soustavy můžeme odstranit eliminací bilančního uzlu.

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (4.3)$$

Minimálně jeden z uzlů sítě musí hradit neznámé proudy tekoucí příčnými větvemi a vyrovnávat bilanci mezi dodávaným a odebíraným proudem, tento uzel nazýváme bilančním. Jelikož je v bilančním uzlu neznámý proud je třeba znát alespoň jeho napětí. Bilanční uzel má vždy přiřazeno číslo 1. Potom můžeme rovnici (4.1) upravit podle [1] do tvaru (4.4) respektive (4.5), kde platí „ i “ jde od 2 do „ n “.

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{21} \cdot \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{31} \cdot \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{41} \cdot \bar{U}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$\bar{I}_i = \bar{Y}_{i1} \cdot \bar{U}_1 + \sum_{j=2}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (4.5)$$

Po výpočtu neznámých napětí \bar{U}_2 až \bar{U}_n dopočítáme neznámý proud v bilančním uzlu tak, že vypočítáme všechny ostatní proudy větví a z nich provedeme dopočet proudu bilančního uzlu. Tento postup nazýváme eliminací bilančního uzlu.

Pro výpočetní řešení soustav lineárních rovnic se podle [3] v praxi používají dva různé způsoby řešení. První způsob je přesné řešení nejčastěji pomocí Gaussovi eliminace, které po konečném počtu kroků dosáhne řešení, jehož přesnost je závislá pouze na chybách vzniklých zaokrouhlením. Druhý způsob je řešení pomocí iteračních metod, které na rozdíl od přímých metod nevedou k přesnému řešení po konečném předem daném počtu kroků. Pro iterační řešení lineárních soustav lze dle [3] použít Jacobiho metodu nebo Gauss – Seidlovu iterační metodu. Jelikož program E-Vlivy využívá přímých metod, budeme se dále zabývat pouze jimi.

Základem Gaussovy eliminační metody je úprava soustavy rovnic za využití elementárních operací, tak abychom dostali trojúhelníkový tvar matice. Pomocí přičítání vhodných násobků první rovnice vyeliminujeme z ostatních rovnic první člen, totéž provedeme pomocí přičítání vhodných násobků druhé rovnice k rovnicím 3 až „n“. Postup budeme opakovat pro každý další řádek až do předposledního řádku soustavy rovnic. Tímto postupem dosáhneme jednoho kořene soustavy, který zpětnou substitucí dosadíme do vyšších řádků a následně dopočítáme zbývající kořeny. Obecné matematické vyjádření podle [3] je následující, soustavu rovnic přepíšeme na (4.6):

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n &= a_{1n+1} \\ a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots + a_{2n} \cdot x_n &= a_{2n+1} \\ \vdots & \\ a_{n1} \cdot x_1 + a_{n2} \cdot x_2 + \dots + a_{nn} \cdot x_n &= a_{nn+1} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Za předpokladu, že $a_{11} \neq 0$ se snažíme pomocí přičítání vhodných násobků první rovnice eliminovat x_1 ve zbylých rovnicích. Postupně odečítáme první rovnici násobenou číslem $\frac{a_{i1}}{a_{11}}$ od i -té rovnice, přičemž „ i “ nabývá hodnot od 2 do „ n “. Takto podle [3] dostaneme soustavu (4.7):

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots + a_{1n} \cdot x_n &= a_{1n+1} \\ a_{22}^{(1)} \cdot x_2 + \dots + a_{2n}^{(1)} \cdot x_n &= a_{2n+1}^{(1)} \\ \vdots & \\ a_{n2}^{(1)} \cdot x_2 + \dots + a_{nn}^{(1)} \cdot x_n &= a_{nn+1}^{(1)} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Nové koeficienty byly vypočteny jako $a_{ij}^{(1)} = a_{ij} - \frac{a_{i1}}{a_{11}} \cdot a_{1j}$, kdy „ i “ je v rozsahu 2 až „ n “, „ j “ je v rozsahu 2 až $n + 1$. Obdobným způsobem postupujeme pro 2 řádek, kdy eliminujeme x_2 ve třetí a každé následující rovnici, díky čemuž dostaneme soustavu rovnic (4.8):

$$\begin{aligned} a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 + \dots + a_{1n} \cdot x_n &= a_{1n+1} \\ a_{22}^{(1)} \cdot x_2 + a_{23}^{(1)} \cdot x_3 + \dots + a_{2n}^{(1)} \cdot x_n &= a_{2n+1}^{(1)} \\ & a_{33}^{(2)} \cdot x_3 + \dots + a_{3n}^{(2)} \cdot x_n = a_{3n+1}^{(2)} \\ & \vdots \\ & a_{n3}^{(2)} \cdot x_3 + \dots + a_{nn}^{(2)} \cdot x_n = a_{nn+1}^{(2)} \end{aligned} \quad (4.8)$$

V rovnici (4.8) platí, že $a_{ij}^{(2)} = a_{ij}^{(1)} - \frac{a_{i2}^{(1)}}{a_{22}^{(1)}} \cdot a_{2j}^{(1)}$, kdy i je v rozsahu 3 až „ n “, „ j “ je v rozsahu 3 až $n + 1$. Při pokračování analogickým způsobem dostaneme po $n - 1$ krocích soustavu v trojúhelníkovém tvaru podle (4.9):

$$\begin{aligned}
 a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_3 + \dots + a_{1n} \cdot x_n &= a_{1n+1} \\
 a_{22}^{(1)} \cdot x_2 + a_{23}^{(1)} \cdot x_3 + \dots + a_{2n}^{(1)} \cdot x_n &= a_{2n+1}^{(1)} \\
 a_{33}^{(2)} \cdot x_3 + \dots + a_{3n}^{(2)} \cdot x_n &= a_{3n+1}^{(2)} \\
 &\vdots \\
 a_{nn}^{(n-1)} \cdot x_n &= a_{nn+1}^{(n-1)}
 \end{aligned} \tag{4.9}$$

Ze soustavy rovnic (4.9) určíme řešení pomocí tzv. zpětné substituce, někdy též nazývané zpětný chod, tak jak je ukázáno v soustavě (4.10), přičemž prvek $a_{nn}^{(n-1)}$ je tzv. hlavní prvek.

$$\begin{aligned}
 x_n &= \frac{a_{nn+1}^{(n-1)}}{a_{nn}^{(n-1)}} \\
 x_{n-1} &= \frac{1}{a_{n-1n-1}^{(n-2)}} \cdot \left(a_{n-1n+1}^{(n-2)} - a_{n-1n}^{(n-2)} \cdot x_n \right) \\
 &\vdots \\
 x_1 &= \frac{1}{a_{11}} \cdot \left(a_{1n+1} - a_{12} \cdot x_2 - a_{13} \cdot x_3 - \dots - a_{1n} \cdot x_n \right)
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

Dalším způsobem řešení lineárních obvodů je využití principu superpozice, což je dle [5] obecný fyzikální princip, který platí v libovolné lineární soustavě a říká nám, že účinek součtu příčin je roven součtu účinků jednotlivých příčin působících samostatně. V našem případě to znamená, že elektrizační soustavu budeme řešit pro každý napájecí bod zvlášť a poté sečteme příspěvky těchto napájecích bodů v každém prvku sítě.

5 POPIS VÝPOČETNÍHO PROGRAMU E-VLIVY

Pro modelování a výpočet námi řešené části sítě využijeme program E-Vlivy od firmy EnerGoConsult ČB, s.r.o. (EGC), který je navržen pro modelování zpětných vlivů připojovaných zátěží i nových zdrojů a následné analyzování úrovně a kvality dodávky elektrické energie v sítích nn a vn. Při tvorbě této kapitoly byly použity materiály podle [6] a [7].

5.1 Nastavení programu

Otevření okna nastavení – v programu pod názvem „Možnosti“ provedeme z menu „Úpravy“ volbou položky „Možnosti“. Na Obr. 5-1 je vidět rozdělení nastavení programu na 6 základních sekcí.

The screenshot shows the 'Možnosti' dialog box with the following settings:

- Obecné vlastnosti:**
 - Výpočet do schématu
 - Parametry prvku
 - Kontrola návaznosti napěťových hladin
 - Pasivovaný prvek:
 - Jazyk: CZ
- Počet desetinných míst:**
 - Napětí: 3
 - Výkony: 3
 - Úhly: 3
 - Proudy: 3
 - Impedance: 3
 - Ostatní: 3
- Export výpočtů:**
 - Datový export
 - Formátovaný export
- Výpočet zkratů:**
 - Souhrnný výpis
 - Podrobný výpis
- Topologie:**
 - Podle priority zdroje: 1-4 (color-coded)
 - Neurčeno: (black square)
 - Podle napěťové úrovně: 110 kV, 35 kV, 22 kV, 10 kV, 6 kV, 3 kV, 0,69 kV, 0,4 kV (color-coded)
- Cesty:**
 - Výchozí adresář pro ukládání datových souborů: C:\Users\Foxtro.4\Documents\evlivy\
 - Společná databáze s parametry prvků (pouze pro čtení): C:\Program Files (x86)\EVlivy\parametry.mdb
 - Uživatelská databáze s parametry prvků (možno upravovat): C:\Program Files (x86)\EVlivy\parametry.mdb

Buttons at the bottom: Výchozí nastavení, OK, Storno, Ulož nastavení.

Obr. 5-1 Nastavení programu E-Vlivy

V sekci „Obecné vlastnosti“ jsou následující položky:

- a) „Výpočet do schématu“
- b) „Parametry prvku“
- c) „Kontrola návaznosti napěťových hladin“
- d) „Pasivovaný prvek“
- e) „Jazyk“

ad a) Zaškrtnutím příslušného pole v nabídce určíme, zda bude část vypočítaných hodnot vypisována přímo do schématu sítě a zároveň všechny výsledky do tabulek. V případě, že volba není zaškrtnuta, jsou výsledky vypisovány jenom do tabulek.

ad b) Tato volba určuje, zda při volbě prvku v pracovním prostředí programu automaticky dojde k zobrazení okna s nastavením parametrů prvku.

ad c) Tato volba zapíná v programu automatickou kontrolu propojení prvků o stejné napěťové hladině.

ad d) V této volbě nastavujeme barvu prvku sítě, který je momentálně pasivován.

ad e) Tato volba umožňuje volbu jazykového prostředí programu.

V sekci „Počet desetinných míst“ nastavujeme, kolik desetinných míst bude zobrazováno u výpisů jednotlivých veličin, toto nastavení neovlivňuje přesnost výpočtu, jelikož se týká pouze zobrazení.

V sekci „Export výpočtů“ nám program nabízí dvě volby. První volba „Datový export“ je určeno pro export dat do jakékoli aplikace. Druhá volba „Formátovaný export“ je určena pro export dat přímo do programu MS Word.

V sekci „Výpočet zkratů“ nám program nabízí dvě volby. První volba „Souhrnný výpis“ zajišťuje výpis pouze výsledných poruchových proudů a napětí. Druhá volba „Podrobný výpis“ zajišťuje kromě výpisu poruchových proudů a napětí v závislosti na poruše, také výpis jejich jednotlivých složek – sousledné, zpětné a netočivé.

V sekci „Topologie“ můžeme definovat barvy, jakými budou zbarveny prvky schématu v závislosti na jejich příslušnosti ke zdroji anebo napěťové hladině. Pokud není vybráný styl barvení topologie, je barva schématu definována pomocí barvy zvolené u položky „Neurčeno“.

V sekci „Cesty“ nastavujeme cestu k umístění uživatelské databáze s parametry prvků.

5.2 Vytvoření sítě

Po vytvoření nebo otevření stávajícího modelu sítě, které provedeme v menu „Soubor. Následně můžeme vkládat anebo upravovat prvky sítě. Jediný prvek, který můžeme vložit samostatně na plochu je napájecí uzel, všechny ostatní prvky musí mít před svým vložením vybraný výchozí bod - uzel, kterým může být konec vedení, vývod z transformátoru, přípojnice napájecího uzlu atd. Po zadání koncového bodu prvku se nám ve schématu objeví grafická reprezentace prvku a okno pro zadání parametrů, pokud zadáme nějaký parametr nesmyslně, probarví se pole s danou hodnotou červeně. Program umožňuje předem nastavit počet vývodů z uzlu – sběrnice a tím nastavit její délku a změnit polohu uzlu – sběrnice z vertikální na horizontální. V případě rozsáhlejších sítí se dá s výhodou použít zarovnání vybraných prvků k danému bodu. Níže je proveden rozbor zadání jednotlivých využitých prvků, hradící člen, asynchronní stroj a zdroj proudu nejsou blíže rozebrány, protože nejsou obsaženy v námi řešené síti.

5.2.1 Napájecí uzel

Na Obr. 5-2 je vidět grafické znázornění napájecího uzlu pojmenovaného „Vyškov“ spolu s výstupním uzlem pojmenovaným V-VV.



Obr. 5-2 Grafické znázornění napájecího uzlu

Na Obr. 5-3 je zobrazeno okno pro nastavování parametrů napájecího uzlu. Z roletového menu můžeme vybrat buď jeden z předdefinovaných napájecích uzlů, čímž dojde k vyplnění parametrů. V případě, že žádný z předdefinovaných uzlů neodpovídá našim požadavkům, zadáme nové jméno a následující parametry:

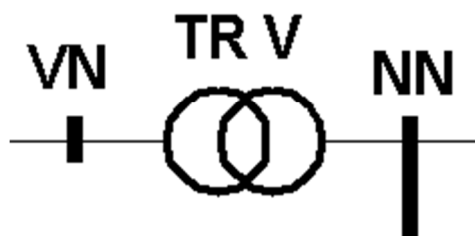
- a) U_n – jmenovité napětí napájecího uzlu v kV
- b) U_{prov} – provozní napětí uzlu v kV
- c) I_{zkr} – zkratový proud uzlu v kA
- d) S_{zkr} – zkratový výkon uzlu MVA
- e) R_0/R_1 – poměr netočivé a sousledné složky rezistence uzlu
- f) X_0/X_1 – poměr netočivé a sousledné složky reaktance uzlu
- g) R/X – poměr činné a jalové složky impedance uzlu

V případě zadání S_{zkr} se z napětí automaticky dopočte I_{zkr} a naopak zadáním I_{zkr} dojde k dopočtení S_{zkr} . Položka „Zdroj barvy“ slouží ke zvolení barvy zdroje, která bude následně přiřazen i příslušným prvkům sítě, které jsou z něj napájeny.

Obr. 5-3 Okno volby parametrů napájecího uzlu

5.2.2 Transformátor

Při kreslení transformátoru vybíráme jako výchozí bod - uzel stranu primárního vinutí. Na Obr. 5-4 je transformátor pojmenovaný „TR V“, s výchozím bodem – uzlem VN, který je primární stranou transformátoru a koncovým NN, který je sekundární stranou transformátoru.



Obr. 5-4 Grafické znázornění transformátoru

Při zadávání parametrů transformátorů máme k dispozici buď zjednodušené zadávací okno, jak jej můžeme vidět na Obr. 5-5 nebo úplné zadávací okno zobrazené na Obr. 5-7. Přejít mezi

zjednodušeným a úplným zadáváním je možný pomocí tlačítka „Úplné zadání“. Pomocí tlačítka výběr transformátoru se dostaneme do nabídky s výběrem transformátorů různých výrobců, které můžeme třídit podle napěťových hladin na primární a sekundární straně vinutí a výkonu, tak jak je znázorněno na Obr. 5-6.

Obr. 5-5 Zjednodušené okno parametrů transformátoru

Parametry transformátoru podle Obr. 5-5:

- Jméno – pokud není vyplněno, program doplní „T“ a číslo transformátoru ve schématu
- U_{n1} – napětí primárního vinutí v kV
- U_{n2} – napětí sekundárního vinutí v kV
- S_t – jmenovitý výkon transformátoru MVA
- P_k – ztráty nakrátko kW
- u_k – napětí nakrátko %

Obr. 5-6 Výběr transformátoru z databáze

Parametry transformátoru z rozšířeného zadání podle Obr. 5-7:

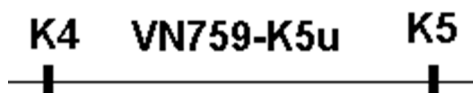
- i_0 – proud naprázdno v %
- P_0 – ztráty naprázdno v %
- Primár – typ zapojení primární strany vinutí transformátoru
- Sekundár – typ zapojení sekundární strany vinutí transformátoru
- H. úhel – hodinový úhel spojení vinutí transformátoru – posun fázoru napětí sekundárního vinutí vůči primárnímu
- Počet odb. – počet regulačních odboček transformátoru
- Krok – procentuální změna napětí na jeden regulační stupeň transformátoru v %
- I_{n1} – jmenovitý proud primárního vinutí v A
- I_{n2} – jmenovitý proud sekundárního vinutí v A
- X_{n1} – reaktance uzemnění uzlu primárního vinutí v Ω
- R_{n1} – rezistence uzemnění uzlu primárního vinutí v Ω
- X_{n2} – reaktance uzemnění uzlu sekundárního vinutí v Ω
- R_{n2} – rezistence uzemnění uzlu sekundárního vinutí v Ω
- R_0/R_1 – poměr netočivé a sousledné složky rezistence transformátoru
- X_0/X_1 – poměr netočivé a sousledné složky reaktance transformátoru
- Blokový transformátor – při zaškrtnutí tohoto pole je transformátor brán jako blokový a tedy není při výpočtu zkratu uvažován korekční součinitel k_T

Obr. 5-7 Plné zobrazení okna parametrů transformátoru

Pokud definujeme nový transformátor, můžeme je následně uložit pro další použití stisknutím tlačítka „Do Databáze“. Pod nastavením aktuálního regulačního stupně je tlačítko pro zobrazení hodnoty napětí definovaných regulačních stupňů.

5.2.3 Vedení

Na Obr. 5-8 vidíme grafické znázornění vedení s názvem „VN795-K5u“ zapojené mezi uzly s názvy „K4“ a „K5“.



Obr. 5-8 Grafické znázornění vedení ve schématu

Parametry vedení podle Obr. 5-10:

- Název vedení – v rozsahu 0 až 10 znaků, při nezadání žádného názvu bude vedení označeno „V“ a číslem určujícím pořadí vedení ve schématu
- Napětí – napěťová hladina vedení v kV
- Druh – určuje, zda se jedná o venkovní nebo kabelové vedení
- Typ – typové označení
- R_{km} – podélný odpor vedení v Ω vztažený na 1 kilometr délky
- X_{km} – podélná reaktance vedení v Ω vztažená na 1 kilometr délky
- B_{km} – příčná susceptance vedení v μS vztažená na 1 kilometr délky
- I_{max} – maximální zatěžovací proud v A
- Délka – délka vedení v kilometrech

Výběr parametrů z databáze

Napětí: 22 Druh: kabel

Typ	R/km [Ohm/km]	X/km [Ohm/km]	B/km [μS /km]	I_{max} [A]
110AFJ	0,259	0,36	1,445	405
120ANK	0,309	0,125	97	241
120ANKO	0,315	0,088	76	247
120AXEKCY	0,253	0,469	75	307
120SAXKA	0,256	0,13	69	315
150ANK	0,247	0,121	104	309
150ANKO	0,248	0,121	104	273
150AXEKCY	0,206	0,211	79	356
150DISTR1	0,206	0,164	91	390
185ANK	0,2	0,12	113	306
185ANKO	0,204	0,084	89	318
185SAXKA	0,167	0,12	79	400
240ANK	0,154	0,113	123	353
240ANKO	0,157	0,082	98	371
240AXEKCY	0,128	0,198	94	506
35SAXKA	0,87	0,16	47	151

OK Zrušit

Obr. 5-9 Okno výběru vedení z databáze

Dál jsou podle Obr. 5-10 k dispozici tlačítka „Vybrat“, které otevře okno výběru vedení z databáze podle Obr. 5-9, kde můžeme využít třídění podle napěťové hladiny a druhu vedení, „Vložit“, které nám umožní námi zadané vedení uložit do databáze a „Netočivá složka“, které umožňuje zadat parametry netočivé impedance vedení v poměrných jednotkách.

Parametry vedení	
Nepovinný parametr	
Název vedení	VN759-K5u
Parametry vedení	
Napětí	22
Druh	kabel
Typ	240ANKO
R/km [Ohm/km]	0,157
X/km [Ohm/km]	0,082
B/km [uS/km]	98
Imax [A]	371
Délka [km]	0,28339
Databáze:	Vložit Vybrat
Netočivá složka	
OK	Zrušit

Obr. 5-10 Okno volby parametrů vedení

5.2.4 Zátěž

Na Obr. 5-11 vidíme grafické znázornění zátěže pojmenované „FVE_R“, v našem případě využijeme zátěže se zadaným záporným výkonem pro modelování fotovoltaických elektráren připojených do sítě.



Obr. 5-11 Grafické znázornění zátěže ve schématu

Na Obr. 5-12 je znázorněno okno zadávání parametrů zátěže. Zátěž je možné definovat pěti způsoby, přičemž po jakémkoli zadání, se zbývající hodnoty dopočítají:

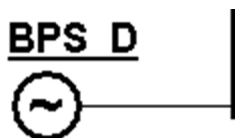
1. U [kV], S [kVA], $\cos\varphi$
2. U [kV], P [kW], Q [kVAr]
3. U [kV], I [kA], P [kW]
4. U [kV], I [kA], $\cos\varphi$
5. U [kV], P [kW], $\cos\varphi$

Obr. 5-12 Okno voleb parametrů zátěže

Zátěž je pro lepší identifikaci ve schématu možno pojmenovat, délka jména nesmí přesáhnout 5 znaků. Pokud jméno nezadáme, bude zátěž označena písmenem “Z” a pořadovým číslem zátěže ve schématu. V případě, že námi zadávaná zátěž je nesymetrická provedeme další upřesnění zadání po stisknutí tlačítka „Nesymetrická zátěž“, obdobně zátěž generující flikr zadáme přes tlačítko „Flikr“. Vzhledem k tomu, že uvažujeme horší stav sítě – síť nezátíženou a zátěž využíváme pouze pro modelování fotovoltaických elektráren, nebudeme se proto dalším nastavováním zátěže zabývat.

5.2.5 Synchronní stroj

Na Obr. 5-13 je synchronní stroj s názvem „BPS_D“, synchronní stroje v této práci využíváme pro modelování bioplynových elektráren.



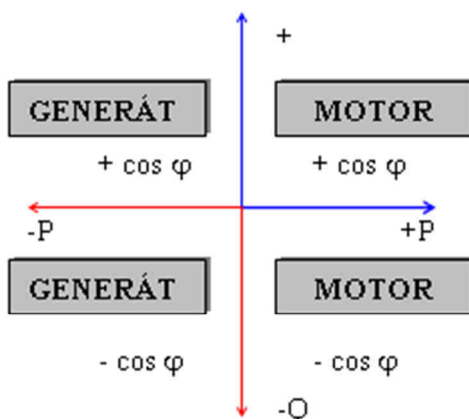
Obr. 5-13 Grafické znázornění synchronního stroje ve schématu

Obr. 5-14 Okno voleb parametrů synchronního stroje

Podle obrázku 5-14 máme k dispozici následující nastavení synchronního stroje:

- a) druh synchronního stroje
 - a. motor
 - b. generátor
 - c. větrná elektrárna
- b) U – napětí synchronního stroje v kV
- c) S – provozní výkon v kVA
- d) $\cos \varphi$ – provozní účinník
- e) S_n – jmenovitý výkon v kVA
- f) $\cos \varphi_n$ – jmenovitý účinník
- g) X_d – subtranzitní reaktance v %
- h) R/X – poměr činné a jalové složky impedance

Jméno stroje může obsahovat až 5 znaků, pokud není zadáno, bude programem nastaveno na „SS“ a pořadové číslo synchronního stroje ve schématu. Tlačítkem „Chod“ se zapíná započítávání stroje při výpočtu chodu sítě. Tlačítkem „Harm/HDO/Zkraty“ se zapíná započítávání stroje do výpočtu harmonické analýzy, útlumu HDO a výpočtu zkratů. V případě, že stroj nastavíme na větrnou elektrárnu je stroj automaticky započítáván do výpočtu flikru a musí se dále zadat parametry fázového úhlu generátoru, činný a jalový výkon vyvolaný vlastním zdrojem a činitel flikru. V případě volby rozšířeného zadání, máme možnost vložit údaje o rezistanci a reaktanci uzlu uzemnění statorového vinutí stroje a poměru netočivé a sousledné složky rezistence a reaktance. Pokud zvolíme tlačítko „PQ diagram synchronního stroje“, zobrazí se nám vedle zadaných parametrů P-Q diagram synchronního stroje s aktuální pracovní oblastí vyznačenou šrafováním.



Obr. 5-15 P-Q diagram synchronní stroje podle [6]

Provoz synchronního stroje v režimu motor – generátor spolu s příslušnými znaménky účinníku $\cos \varphi$ je zobrazen na Obr. 5-15.

5.2.6 Vypínač

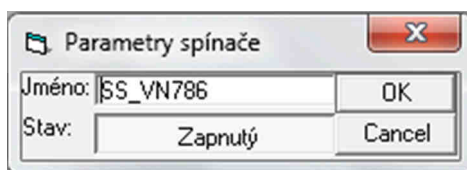
Na Obr. 5-16 je grafické znázornění vypínače se jménem „SS_V786“ zapojeného mezi uzly „200a“ a „200b“. Vzhledem k tomu, že v programu E-Vlivy nejsou k dispozici jiné spínací prvky, budeme používat tento prvek a v textu budeme používat označení vypínač.



Obr. 5-16 Grafické znázornění vypínače ve schématu

Jedinými zadávanými parametry u vypínače jsou podle Obr. 5-17 jeho jméno a stav (vypnuto – zapnuto), který se projeví i změnou jeho barvy ve schématu:

- zelená – zapnuto
- červená - vypnuto



Obr. 5-17 Okno voleb parametrů vypínače

5.3 Výpočetní metody programu

Výpočty v programu E-Vlivy jsou podle [6] založeny na metodě uzlových napětí a principu superpozice. Ze vstupních dat program nejprve sestaví jednopólový matematický model, kdy je síť podle metody uzlových napětí popsána soustavou lineárních rovnic s komplexními koeficienty, k jejímuž řešení je využita Gaussova eliminační metoda. Pokud by byl prováděn exaktní výpočet, bylo třeba uvažovat celou řadu faktorů jako je nelinearita s frekvenční závislostí prvků sítě, nesymetrie soustavy atd. Uvažování těchto aspektů by vedlo k velmi složitému matematickému modelu sítě, ke kterému by ani nešlo opatřit všechna vstupní data, proto program využívá pro jednotlivé druhy výpočtů zjednodušení odpovídající ČSN a PNE.

V programu E-Vlivy můžeme provádět následující druhy výpočtů:

- Chod sítě
- Chod sítě s konstantním výkonem
- Harmonická analýza
- Posouzení připojitelnosti odběratele z hlediska znečištění sítě harmonickými
- Útlum signálu HDO
- Frekvenční charakteristika uzlu
- Připojitelnost zátěže
- Rozložení napětí před a po připojení posuzované zátěže
- Výpočet ztrát v modelované síti
- Flikr
- Chod sítě s nesymetrickou zátěží
- Zkrat
- Frekvenční charakteristika uzlu

Vzhledem k povaze námi řešené problematiky se dále budeme zabývat pouze výpočty chodu sítě, chodu sítě s konstantním výkonem a připojitelnosti zátěže.

5.3.1 Chod sítě

Výpočet „Chod sítě“ je používán k určení proudových a napěťových poměrů v modelované síti v ustáleném stavu. Při tomto výpočtu jsou ignorovány prvky generující flikr, nesymetrii, synchronní a asynchronní stroje bez zadaných parametrů pro chod sítě. Výstupem výpočtu jsou dvě tabulky s následujícími výsledky:

- Napětí v uzlech
 - Amplituda a úhel napětí v jednotlivých uzlech
 - Změna napětí oproti provozované úrovni napětí, dojde-li k překročení hodnoty povolené normou, bude hodnota zvýrazněna červeně
 - Amplituda a úhel zkratové impedance
 - Zkratový výkon

- Proudý a výkony ve větvích
 - Amplituda a úhel proudu větve
 - Amplituda a úhel impedance
 - Činný výkon
 - Jalový výkon
 - Zdánlivý výkon

5.3.2 Chod sítě s konstantním výkonem

Vzhledem k úbytku napětí v uzlech, zátěže zpravidla nedosahují zadaného provozního výkonu. Při tomto druhu výpočtu je během něj opakovaně měněna impedance zátěže tak, aby vypočtený výkon byl shodný se zadaným, z tohoto důvodu trvá výpočet několikanásobně déle než výpočet „Chod sítě“, ovšem předpoklady a výstupy jsou obdobné.

5.3.3 Připojitelnost zátěže

Tento výpočet slouží k posouzení možnosti připojení zátěže nebo zdroje do sítě, které nám umožňuje posuzovat ze 3 hledisek:

- Posouzení připojitelnosti zátěže na dovolenou změnu napětí
- Posouzení připojitelnosti nesymetrické zátěže
- Posouzení připojitelnosti zátěže ovlivňující signál HDO

Pro naše výpočty využijeme funkci „posouzení připojitelnosti zátěže na dovolenou změnu napětí“, která posuzuje, zda připojením zdroje nebo zátěže nedojde ke změně napětí v žádném uzlu sítě mimo stanovené meze ($\pm 2\%$).

K dispozici máme dva druhy výpočtu a to „chod sítě“ a „chod sítě s konstantním výkonem“. Ve schématu vybereme posuzovaný prvek nebo prvky a zvolíme způsob výpočtu. Zobrazí se okno s výpisem všech napětí v uzlech sítě před a po připojení zdroje/zdrojů a relativním rozdílem těchto napětí. Pokud některý z uzlů nevyhoví podmínkám, je červeně zvýrazněn. Uzel, do kterého je daný prvek nebo prvky připojován, je zvýrazněn jinou barvou pro větší přehlednost.

6 STÁVAJÍCÍ STAV SÍTĚ

Při modelování stávajícího stavu jsme vycházeli z [10] a [11]. V tomto modelu se zabýváme oblastí distribuční sítě 22 kV napájené z rozvodny Vyškov vývodem VN795, který je složen jak z kabelového, tak venkovního vedení, a vede do obce Želeč. Zde navazuje venkovní vedení VN22 vedoucí do spínací stanice Dřevnovice, která je s rozvodnou Vyškov spojena také venkovním vedením VN121, které je však v základním provozním stavu v rozvodně Dřevnovice vypnuté. Ze spínací stanice Dřevnovice vede také námi simulované vedení VN786 do obce Koválovice – Osíčany ze které vede paprsková odbočka do obce Švábenice kde je připojena bioplynová elektrárna Ing. Bureše (BPS_B) o výkonu 1 MW. Na vedení VN786 v uzlu 188 je připojena bioplynová elektrárna Tištín (BPS_T) o výkonu 526 kW. Dále je do námi modelované sítě připojena fotovoltaická elektrárna Moravské Málkovice (FVE_M) o výkonu 500 kW odbočkou z vedení VN121 na uzlu 41, na stejném vedení jsou ještě připojeny další dvě elektrárny, a to solární park Rybníček (FVE_R) o výkonu 4594,7 kW v uzlu 67 a bioplynová elektrárna Rybníček (BPS_R) o výkonu 526 kW připojená do uzlu 54. Dalším zdrojem připojeným do sítě je fotovoltaická elektrárna Želeč o výkonu 1,75 MW, která je připojena do uzlu 206 na vedení VN22. V současném stavu jsou z připojených zdrojů schopny regulace účinníku pouze bioplynové elektrárny, regulace účinníku u FVE Želeč a FVE Rybníček je plánována. Stávajícímu stavu sítě odpovídá schéma na Obr. 6-2, které je vytvořeno podle topologického schématu v příloze 1.

Dle [12] musí všechny zdroje spadající do kategorie „s výkonem zdroje od 250kW do transformačního výkonu výroby 630 kVA včetně“ připojené do DS splňovat podmínky dynamické podpory sítě. Dále jsou výroby standardně provozovány s neutrálním účinníkem. V odůvodněných případech na základě potřeby a požadavku E.ON je zdroj provozován s jiným účinníkem a to v případě, kdy je to žádoucí z pohledu potřeby minimalizace ztrát, tj. vyrovnání bilance jalového výkonu a/nebo potřeby regulace napětí v místě připojení (zejména v mimořádných provozních stavech), při delším provozu je nutno dát pozor na případné nežádoucí zvyšování ztrát. Bioplynové, fotovoltaická a kogenerační elektrárny mají v běžných případech možnost řízení účinníku v předávacím místě z dispečinku v následujících stupních, kde názvy pro kapacitní a induktivní účinník jsou vztaženy k DS, tedy kapacitní účinník je dodávka Q do DS a induktivní účinník je odběr Q z DS.

- QL5 > $\cos \varphi = 0,95$ induktivní
- QL3 > $\cos \varphi = 0,97$ induktivní
- Q0 > $\cos \varphi = 1$
- QC3 > $\cos \varphi = 0,97$ kapacitní
- QC5 > $\cos \varphi = 0,95$ kapacitní

Řízení činného výkonu je ze strany E.ON provázáno pouze v případech stanovených energetickým zákonem, tj. v případě ohrožení života, stavu nouze, neoprávněné distribuce, plánovaných prací, poruch atd. U FVE a VTE je regulace prováděna v následujících stupních z celkového jmenovitého výkonu zdroje:

- $P1 > 0\%$ jmenovitého výkonu
- $P2 > 30\%$ jmenovitého výkonu
- $P3 > 60\%$ jmenovitého výkonu
- $P4 > 100\%$ jmenovitého výkonu (základní provozní stav)

Regulační stupně pro zdroje nad 630 kVA jsou dle [15] stejné.

Pro bioplynové elektrárny a kogenerační jednotky je regulace prováděna v následujících stupních:

- $P1 > 0\%$ jmenovitého výkonu
- $P2 > 50\%$ jmenovitého výkonu
- $P3 > 70\%$ jmenovitého výkonu
- $P4 > 100\%$ jmenovitého výkonu (základní provozní stav)

Dle [13] a [14] v nejnepříznivějším případě se nesmí vlivem provozu připojených výroben zvýšit napětí oproti provozu bez připojení těchto zdrojů o více než 2 % v sítích vn a 110 kV, zároveň s tím nesmí dojít k překročení limitů napětí v předávacím místě. U všech zdrojů typové skupiny se provádí regulace na stejný stupeň.

V Tab. 6-1 je uveden výpis stávajících prvků modelované sítě, včetně jejích parametrů.

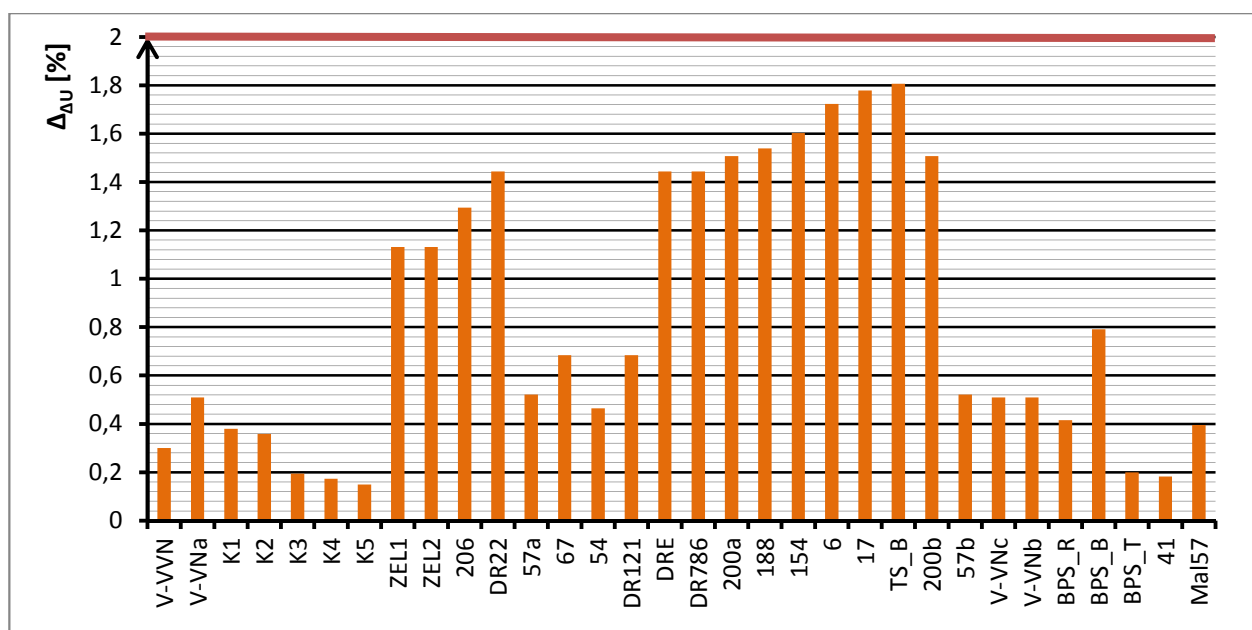
Tab. 6-1 Stávající prvky sítě

Nap. uzel	Název	U_{vnt} [kV]	U_{prv} [kV]	I_{zkr} [kA]	S_{zkr} [MVA]	R/X		
	Vyškov	110	110	2,624	500	0		
Transf.	Název	U_1 [kV]	U_2 [kV]	S_t [MVA]	P_k [kW]	U_k [%]	I_0 [%]	P_0 [kW]
	TR V	110	23	40	210,7	10,8	0,38	38
	Ryb.	22	0,4	0,63	6,9	6	0,8	1,65
	Bur.	22	0,4	1,25	11,3	6	0,7	2,7
	Tiš.	22	0,4	0,63	6	6,9	0,8	1,65
Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	$\cos \varphi$				
	BPS_B	0,4	1001,27	0,999				
	BPS_R	0,4	526,75	0,999				
	BPS_T	0,4	526,94	0,998				
Vedení	Název	Druh	Typ	R_{km} [Ω /km]	X_{km} [Ω /km]	B_{km} [μ S/km]	Délka [km]	I_{max} [A]
	VN795-K1u	kabel-22	240ANKO	0,157	0,082	98	1,545	371
	VN795K2	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	0,440	506
	VN795-K3u	kabel-22	240ANKO	0,157	0,082	98	1,955	371
	VN795-K4	kabel-22	240AXEKCY	0,128	0,198	94	0,440	506
	VN759-K5u	kabel-22	240ANKO	0,157	0,082	98	0,283	371
	VN795-V	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	9,744	289
	VN22a	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	1,210	289
	VN22b	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	4,492	289
	VN121c	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	0,602	289
	VN121b	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	0,245	318
	VN121d	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	7,969	289
	VN786a	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	1,876	289

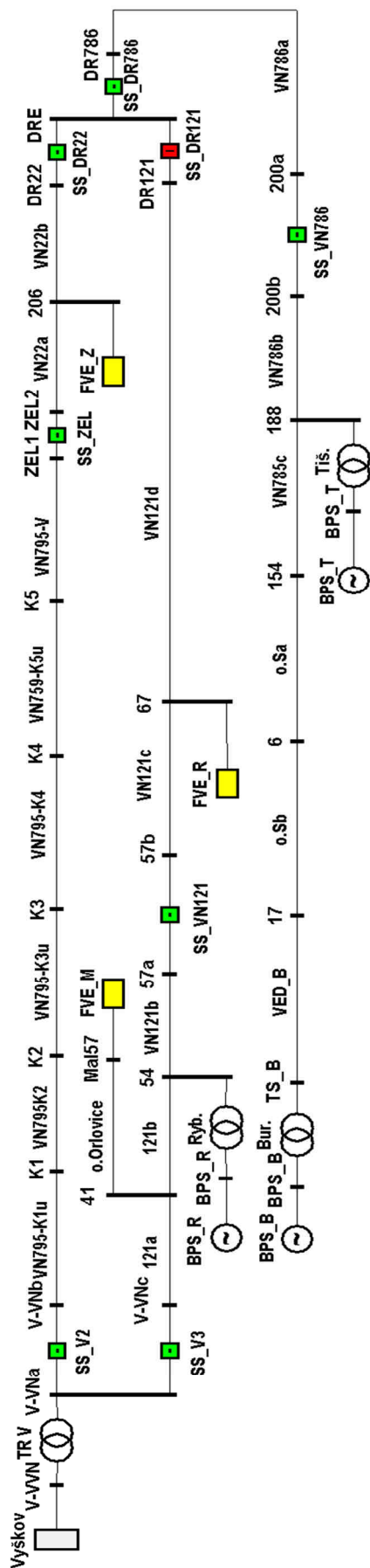
	VN786b	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	0,930	289
	VN785c	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	2,858	289
	o.Sa	venko-22	70/11-1AlFe6	0,431	0,383	1,431	2,616	225
	o.Sb	venko-22	70AlFe6	0,434	0,391	1,427	1,199	225
	VED_B	venko-22	70AlFe6	0,434	0,391	1,427	0,630	225
	121a	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	2,606	318
	121b	venko-22	110/22AlFe6	0,259	0,368	1,46	1,164	318
	o.Orlovice	venko-22	70AlFe6	0,434	0,391	1,427	5,000	225
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q_k [kVAr]
	FVE_R	22	-120,58	1	-4594,7	0	-4594,7	0
	FVE_Z	22	-45,93	1	-1750	0	-1750	0
	FVE_M	22	-13,12	1	-500	0	-500	0
Spínač	Název	Stav						
	SS_ZEL	Zapnuto						
	SS_DR22	Zapnuto						
	SS_DR121	Vypnuto						
	SS_DR786	Zapnuto						
	SS_VN786	Zapnuto						
	SS_VN121	Zapnuto						
	SS_SS_V3	Zapnuto						
	SS_SS_V2	Zapnuto						

6.1 Stávající provozní rozpojení

Schéma modelované sítě je uvedeno na Obr. 6-2, síť je v současnosti provozována s rozpojením ve spínací stanici Dřevnovice ze strany vedení VN121, pomocí vypínače SS_DR121. V Tab. 6-2 je uveden procentní přehled napětí v jednotlivých uzlech sítě před a po připojení zdrojů a rozdíl těchto dvou napětí, jejich grafické znázornění je na Obr. 6-1. Síť je v současnosti provozována na regulačním stupni QL5.



Obr. 6-1 Graf změny napětí po připojení zdrojů ve výchozím stavu při QL5



Obr. 6-2 Schéma stávajícího stavu modelované sítě

Tab. 6-2 Tabulka změny napětí výchozího stavu

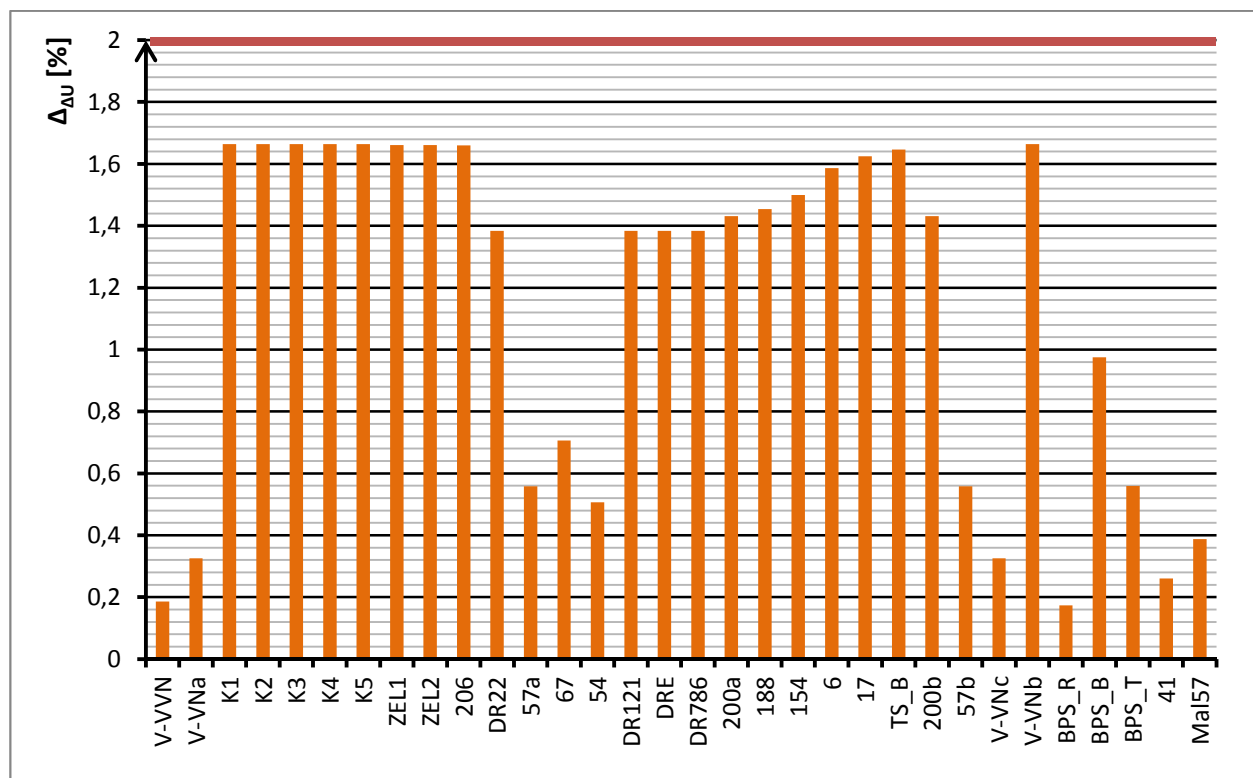
Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,02	0,28	0,3
V-VNa	-4,61	-4,101	0,509
K1	-4,615	-4,236	0,379
K2	-4,617	-4,259	0,358
K3	-4,62	-4,426	0,194
K4	-4,62	-4,448	0,173
K5	-4,62	-4,472	0,149
ZEL1	-4,617	-5,747	1,131
ZEL2	-4,617	-5,747	1,131
206	-4,616	-5,91	1,294
DR22	-4,612	-6,055	1,444
57a	-4,611	-5,132	0,521
67	-4,612	-5,296	0,684
54	-4,611	-5,075	0,464
DR121	-4,613	-5,297	0,684
DRE	-4,612	-6,055	1,444
DR786	-4,612	-6,055	1,444
200a	-4,61	-6,117	1,507
188	-4,609	-6,148	1,539
154	-4,607	-6,21	1,603
6	-4,604	-6,327	1,723
17	-4,603	-6,381	1,778
TS_B	-4,602	-6,409	1,807
200b	-4,61	-6,117	1,507
57b	-4,611	-5,132	0,521
V-VNc	-4,61	-4,101	0,509
V-VNb	-4,61	-4,101	0,509
BPS_R	-4,586	-4,171	0,415
BPS_B	-13,06	-13,851	0,791
BPS_T	-13,06	-13,259	0,199
41	-4,611	-4,793	0,182
Ma157	-4,612	-5,007	0,395

6.2 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V2

Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V2 a sepnutým vypínačem SS_DR121, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 6-4 je nutné provést regulaci jalového výkonu na stupeň QL5 a regulaci činného výkonu na stupeň P3 u FVE, což znamená, že FVE budou mít výkon omezen na 60 %, tak jak je uvedeno v Tab. 6-3. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 6-4 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 6-3.

Tab. 6-3 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_V2

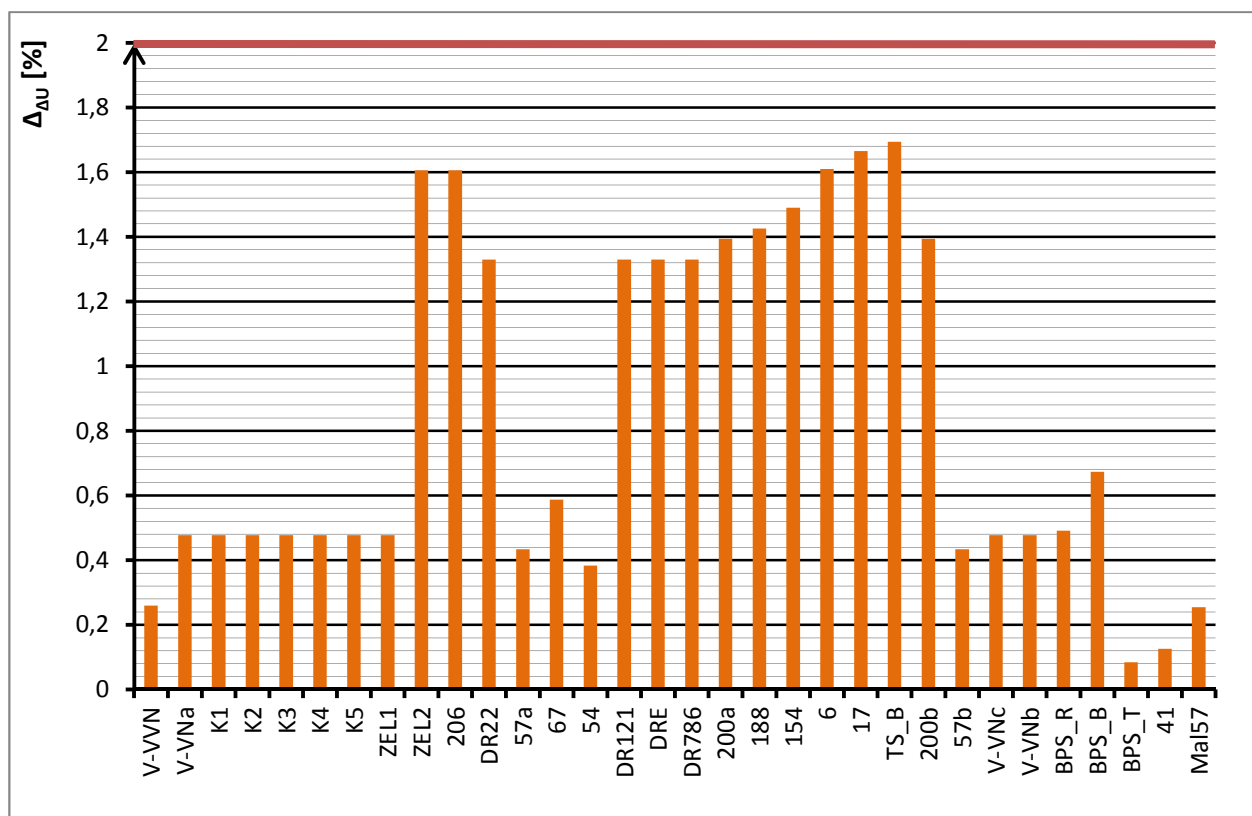
Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,95				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,95				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,95				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]	Q _k [kVar]
	FVE_R	22	-72,35	1	-2756,82	0	-2756,82	0
	FVE_Z	22	-27,56	1	-1050	0	-1050	0
	FVE_M	22	-7,87	1	-300	0	-300	0



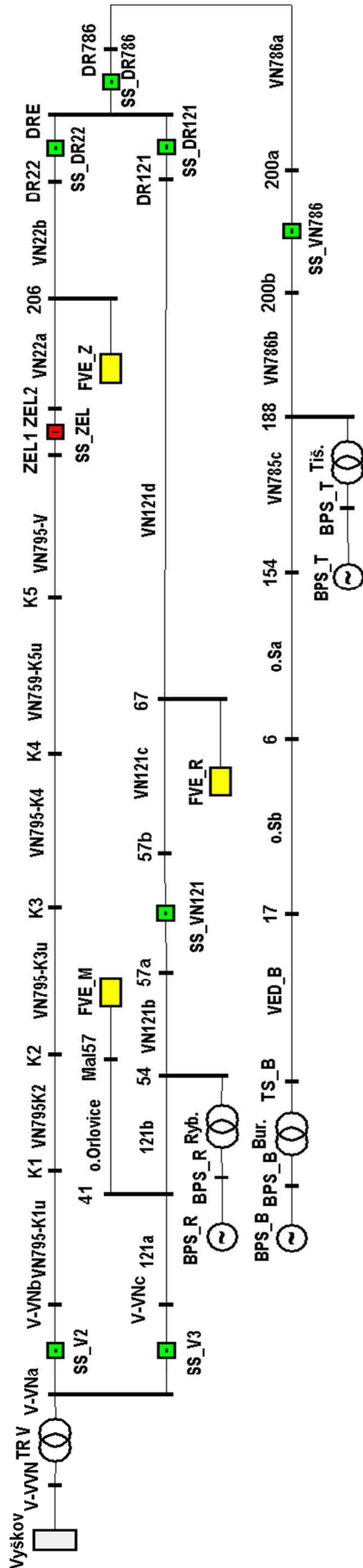
Obr. 6-3 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V2

6.3 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_ZEL

Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_ZEL, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 6-6 je nutné provést regulaci jalového výkonu na stupeň QL5 a regulaci činného výkonu na stupeň P3 u FVE. Nastavení zdrojů je stejné jako v předchozím případě a odpovídá mu Tab. 6-3. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 6-5 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 6-5.



Obr. 6-5 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_ZEL



Tab. 6-5 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_ZEL při QL5 a P3 u FVE

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,02	0,24	0,26
V-VNa	-4,61	-4,133	0,477
K1	-4,615	-4,138	0,477
K2	-4,618	-4,141	0,477
K3	-4,621	-4,144	0,477
K4	-4,622	-4,145	0,477
K5	-4,622	-4,145	0,477
ZEL1	-4,624	-4,147	0,477
ZEL2	-4,606	-6,212	1,606
206	-4,606	-6,212	1,606
DR22	-4,605	-5,935	1,33
57a	-4,609	-5,043	0,434
67	-4,609	-5,196	0,587
54	-4,609	-4,992	0,383
DR121	-4,605	-5,935	1,33
DRE	-4,605	-5,935	1,33
DR786	-4,605	-5,935	1,33
200a	-4,603	-5,997	1,394
188	-4,602	-6,028	1,426
154	-4,6	-6,09	1,49
6	-4,598	-6,207	1,61
17	-4,597	-6,261	1,665
TS_B	-4,596	-6,29	1,694
200b	-4,603	-5,997	1,394
57b	-4,609	-5,043	0,434
V-VNc	-4,61	-4,133	0,477
V-VNb	-4,61	-4,133	0,477
BPS_R	-4,584	-4,093	0,491
BPS_B	-13,053	-13,726	0,673
BPS_T	-13,053	-13,137	0,084
41	-4,61	-4,736	0,126
Mal57	-4,61	-4,865	0,255

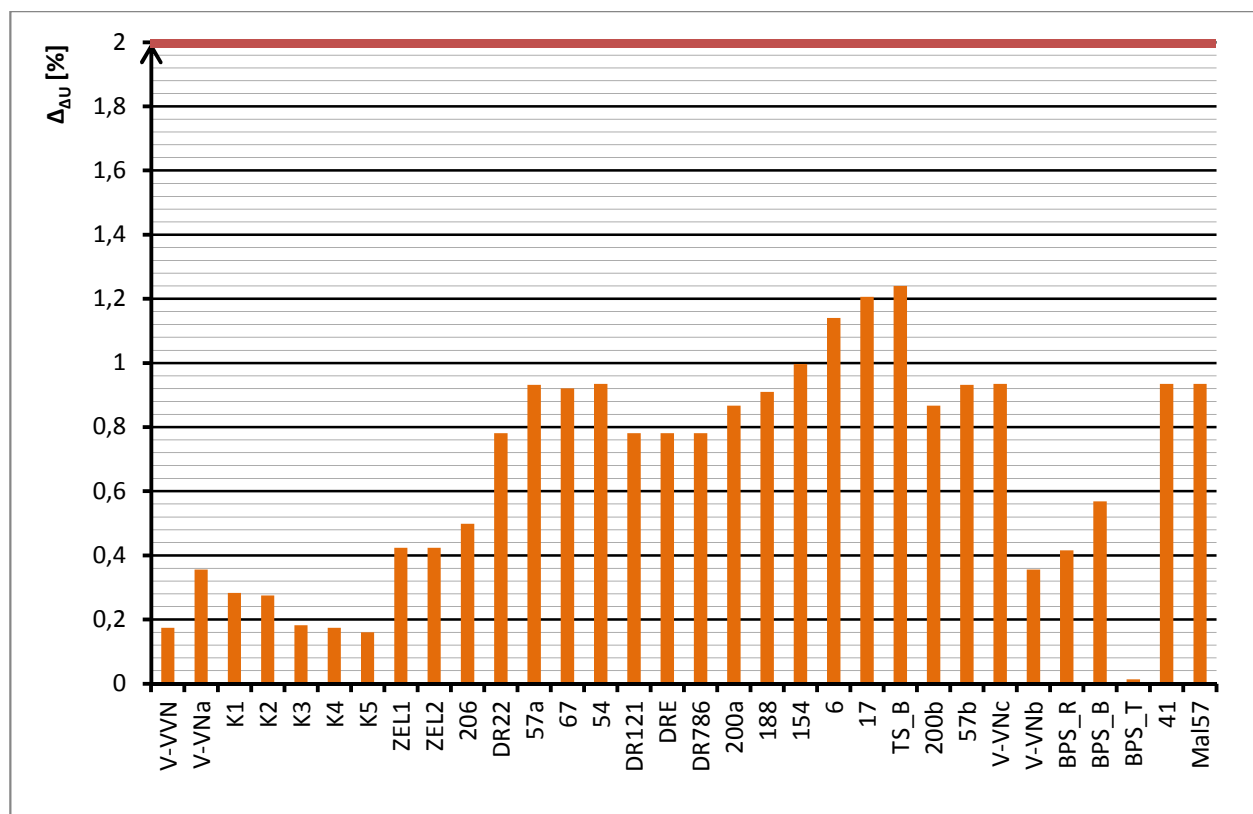
Obr. 6-6 Schéma sítě při vypnutém SS_ZEL

6.4 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V3

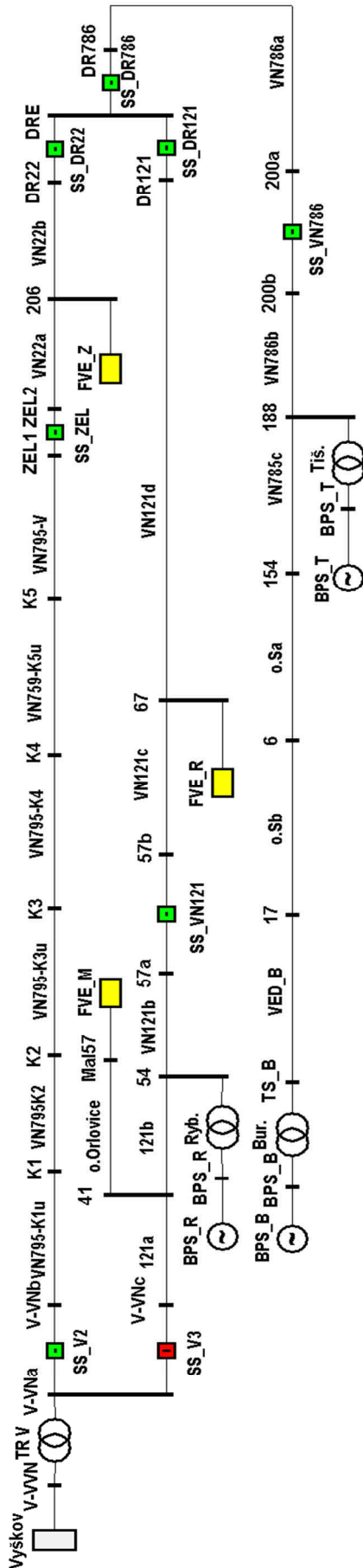
Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V3, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 6-8 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL3 u BPS a regulaci činného výkonu na stupeň P1 u FVE tj. jejich odstavení. Nastavení zdrojů je uvedeno v Tab. 6-6. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 6-7 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 6-7.

Tab. 6-6 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_V3

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,97				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,97				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,97				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	0	1	0	0	0	0
	FVE_Z	22	0	1	0	0	0	0
	FVE_M	22	0	1	0	0	0	0



Obr. 6-7 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V3



Tab. 6-7 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V3 při QL3 a P1 u FVE

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,02	0,153	0,174
V-VNa	-4,61	-4,254	0,356
K1	-4,615	-4,332	0,283
K2	-4,618	-4,343	0,275
K3	-4,62	-4,438	0,182
K4	-4,621	-4,447	0,174
K5	-4,621	-4,461	0,16
ZEL1	-4,622	-5,046	0,424
ZEL2	-4,622	-5,046	0,424
206	-4,622	-5,121	0,499
DR22	-4,62	-5,401	0,781
57a	-4,622	-5,554	0,932
67	-4,622	-5,543	0,921
54	-4,622	-5,558	0,935
DR121	-4,62	-5,401	0,781
DRE	-4,62	-5,401	0,781
DR786	-4,62	-5,401	0,781
200a	-4,618	-5,485	0,867
188	-4,617	-5,527	0,91
154	-4,615	-5,613	0,997
6	-4,613	-5,753	1,14
17	-4,611	-5,817	1,206
TS_B	-4,611	-5,851	1,24
200b	-4,618	-5,485	0,867
57b	-4,622	-5,554	0,932
V-VNc	-4,623	-5,558	0,935
V-VNb	-4,61	-4,254	0,356
BPS_R	-4,597	-5,013	0,416
BPS_B	-13,069	-13,637	0,568
BPS_T	-13,069	-13,055	0,014
41	-4,623	-5,558	0,935
Mal57	-4,623	-5,559	0,935

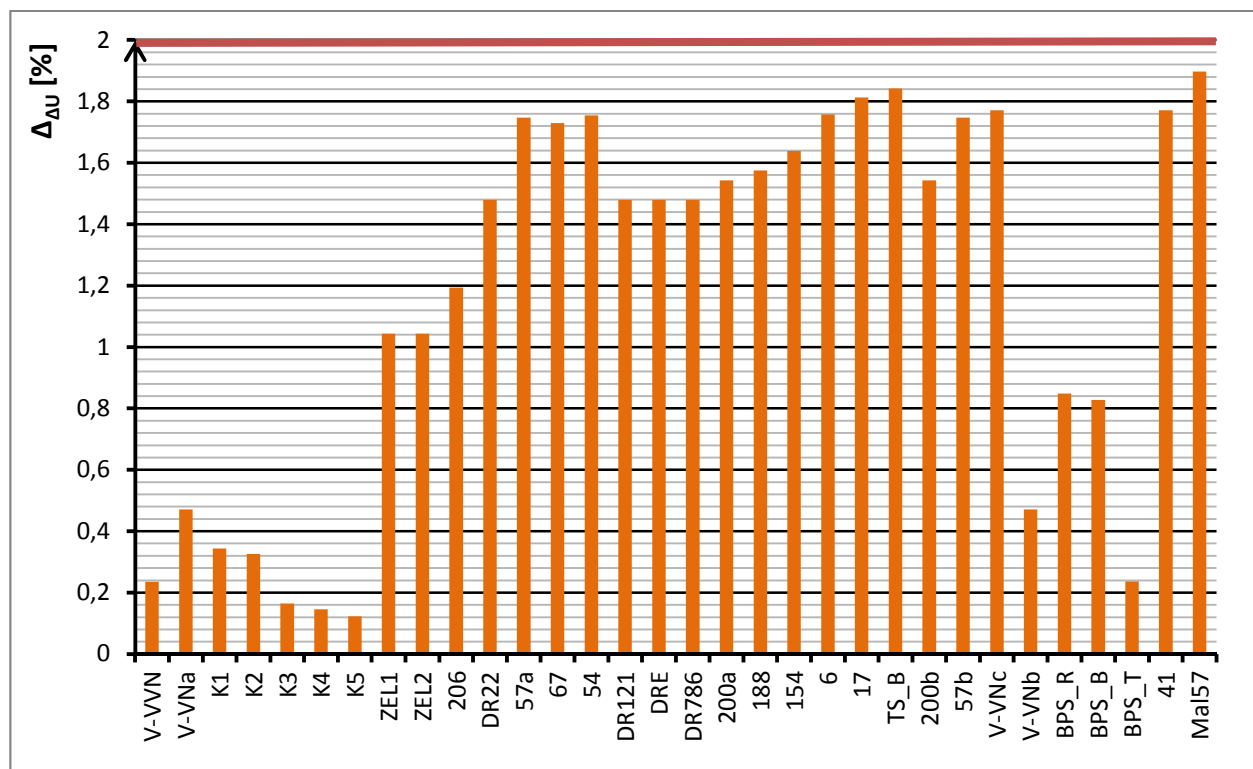
Obr. 6-8 Schéma sítě při vypnutém SS_V3

6.5 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V3 a odpojenou FVE Rybníček

Oproti předchozímu stavu s provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V3, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 6-8 je odpojena FVE Rybníček, jelikož se jedná o největší zdroj. Regulační stupeň jalového výkonu je QL5, bioplynové elektrárny jsou nastaveny podle regulačního stupně výkonu P4 a fotovoltaická elektrárny podle regulačního stupně výkonu P3. Tento provozní stav v současné době nenastane, protože všechny skupiny zdrojů mají nastavený stejný regulační stupeň. Nastavení zdrojů je uvedeno v Tab. 6-8. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 6-9 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 6-9.

Tab. 6-8 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_V3 a odpojené FVE Rybníček

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,95				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,95				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,95				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	0	1	0	0	0	0
	FVE_Z	22	-27,56	1	-1050	0	-1050	0
	FVE_M	22	-7,87	1	-300	0	-300	0



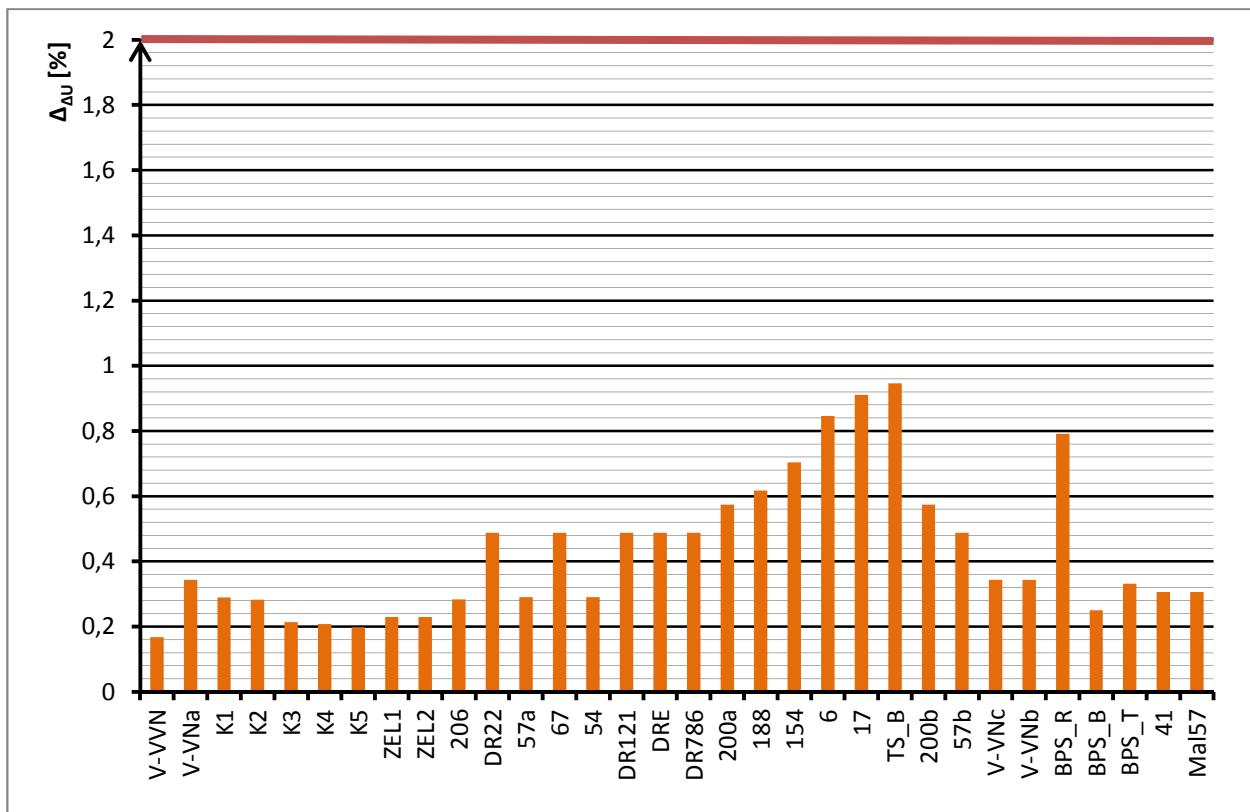
Obr. 6-9 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V3 a vypnutou FVE Rybníček

Tab. 6-9 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V3 a vypnutou FVE Rybníček

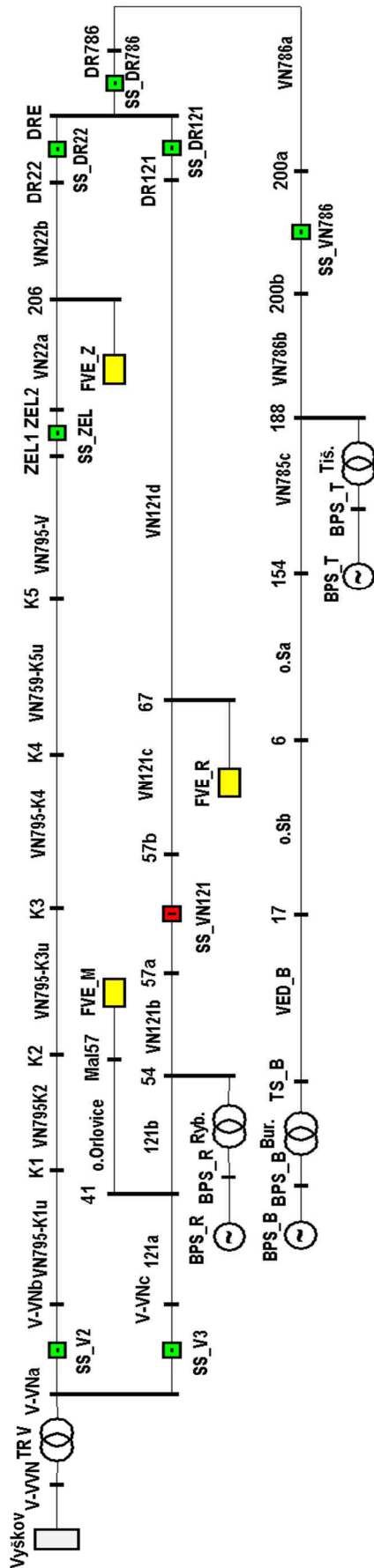
Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,02	0,215	0,235
V-VNa	-4,61	-4,139	0,471
K1	-4,615	-4,271	0,344
K2	-4,618	-4,292	0,326
K3	-4,62	-4,456	0,164
K4	-4,621	-4,475	0,146
K5	-4,621	-4,498	0,123
ZEL1	-4,622	-5,665	1,043
ZEL2	-4,622	-5,665	1,043
206	-4,622	-5,815	1,193
DR22	-4,62	-6,099	1,479
57a	-4,622	-6,37	1,747
67	-4,622	-6,351	1,729
54	-4,622	-6,376	1,754
DR121	-4,62	-6,099	1,479
DRE	-4,62	-6,099	1,479
DR786	-4,62	-6,099	1,479
200a	-4,618	-6,161	1,543
188	-4,617	-6,192	1,575
154	-4,615	-6,254	1,639
6	-4,613	-6,371	1,758
17	-4,611	-6,425	1,813
TS_B	-4,611	-6,453	1,842
200b	-4,618	-6,161	1,543
57b	-4,622	-6,37	1,747
V-VNc	-4,623	-6,394	1,771
V-VNb	-4,61	-4,139	0,471
BPS_R	-4,597	-5,446	0,848
BPS_B	-13,069	-13,898	0,828
BPS_T	-13,069	-13,305	0,236
41	-4,623	-6,394	1,771
Mal57	-4,623	-6,521	1,897

6.6 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_VN121

Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_VN121, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 6-11 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL3 u BSP a regulaci činného výkonu na stupeň P1 u FVE. Nastavení zdrojů je stejné jako v případě s vypnutým vypínačem SS_V3, tak jak je uvedeno v Tab. 6-6. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 6-10 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 6-10.



Obr. 6-10 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_VN121



Obr. 6-11 Schéma sítě při vypnutém SS_VN121

Tab. 6-10 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_VN121 při QL3 a P1 u FVE

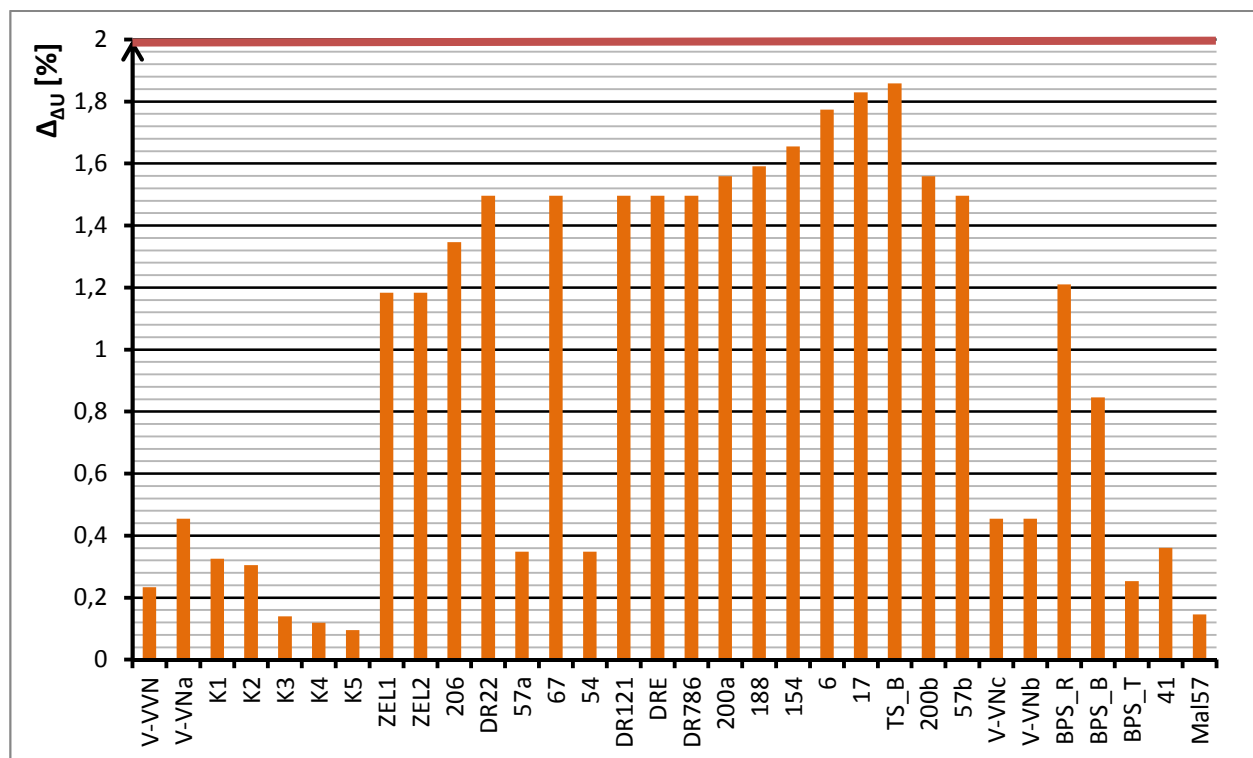
Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,02	0,147	0,168
V-VNa	-4,61	-4,267	0,343
K1	-4,615	-4,326	0,289
K2	-4,618	-4,335	0,283
K3	-4,62	-4,407	0,214
K4	-4,621	-4,413	0,208
K5	-4,621	-4,423	0,198
ZEL1	-4,622	-4,852	0,23
ZEL2	-4,622	-4,852	0,23
206	-4,622	-4,906	0,284
DR22	-4,62	-5,108	0,488
57a	-4,609	-4,32	0,29
67	-4,622	-5,11	0,488
54	-4,609	-4,32	0,29
DR121	-4,62	-5,108	0,488
DRE	-4,62	-5,108	0,488
DR786	-4,62	-5,108	0,488
200a	-4,618	-5,192	0,574
188	-4,617	-5,234	0,617
154	-4,615	-5,319	0,704
6	-4,613	-5,458	0,846
17	-4,611	-5,523	0,911
TS_B	-4,611	-5,556	0,946
200b	-4,618	-5,192	0,574
57b	-4,622	-5,11	0,488
V-VNc	-4,61	-4,267	0,343
V-VNb	-4,61	-4,267	0,343
BPS_R	-4,585	-3,794	0,791
BPS_B	-13,069	-13,319	0,25
BPS_T	-13,069	-12,736	0,332
41	-4,61	-4,304	0,306
Mal57	-4,611	-4,305	0,306

6.7 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_VN121 a odpojenou FVE Rybníček

Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_VN121, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 6-11 jsme provedli odpojení FVE Rybníček, ze stejného důvodu jako v kapitole 6.5. Regulaci jalového výkonu jsme nastavili na stupeň QL5 a regulaci činného výkonu jsme zvedli na stupeň P4, tedy na 100 % výkonu, tak jak je uvedeno v Tab. 6-11. Tento provozní stav v současné době také není možný, protože všechny zdroje běží se stejným regulačním stupněm. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 6-12 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 6-12.

Tab. 6-11 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_VN121 a odpojené FVE Rybníček

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,95				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,95				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,95				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	0	1	0	0	0	0
	FVE_Z	22	-45,93	1	-1750	0	-1750	0
	FVE_M	22	-13,12	1	-500	0	-500	0



Obr. 6-12 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_VN121 a vypnutou FVE Rybníček

Tab. 6-12 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_VN121 a vypnutou FVE Rybníček

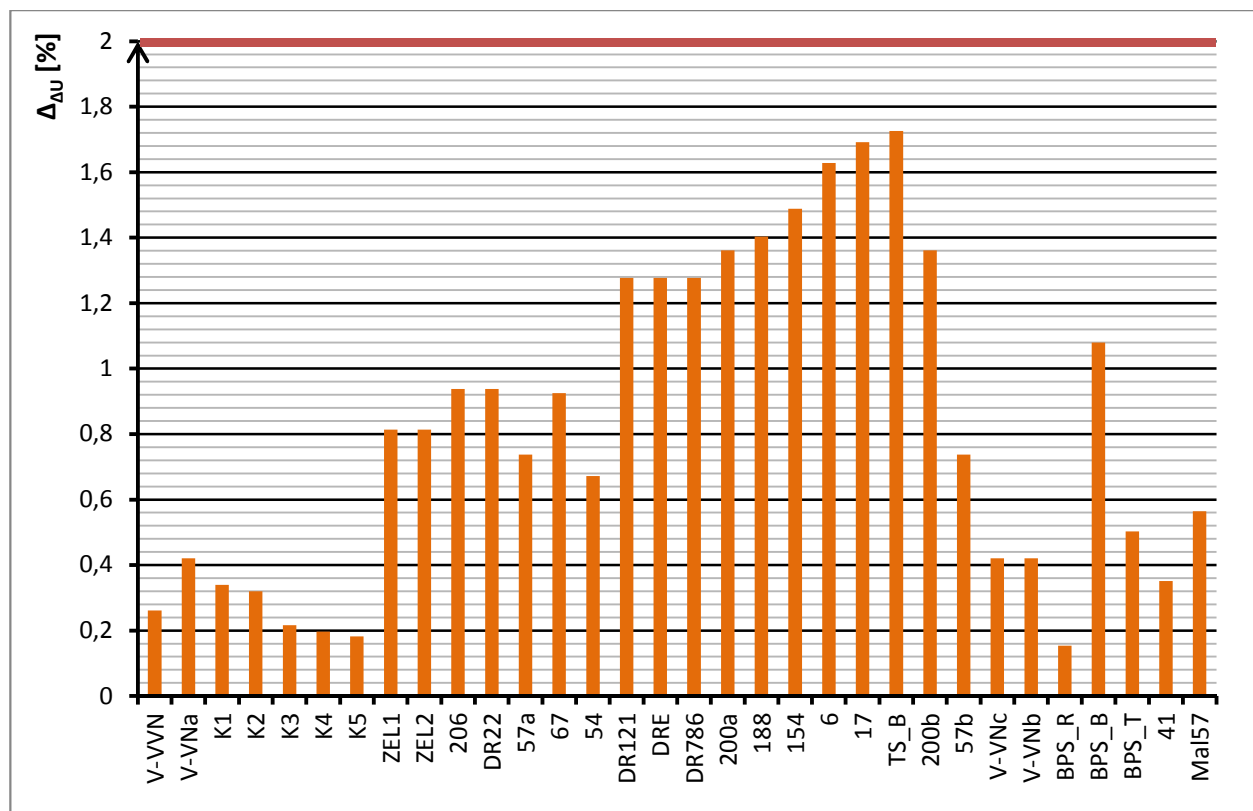
Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,02	0,214	0,234
V-VNa	-4,61	-4,155	0,455
K1	-4,615	-4,289	0,326
K2	-4,618	-4,313	0,305
K3	-4,62	-4,48	0,14
K4	-4,621	-4,502	0,119
K5	-4,621	-4,526	0,095
ZEL1	-4,622	-5,805	1,183
ZEL2	-4,622	-5,805	1,183
206	-4,622	-5,968	1,346
DR22	-4,62	-6,115	1,496
57a	-4,609	-4,262	0,348
67	-4,622	-6,118	1,496
54	-4,609	-4,262	0,348
DR121	-4,62	-6,115	1,496
DRE	-4,62	-6,115	1,496
DR786	-4,62	-6,115	1,496
200a	-4,618	-6,177	1,559
188	-4,617	-6,208	1,591
154	-4,615	-6,27	1,655
6	-4,613	-6,387	1,774
17	-4,611	-6,441	1,829
TS_B	-4,611	-6,469	1,858
200b	-4,618	-6,177	1,559
57b	-4,622	-6,118	1,496
V-VNc	-4,61	-4,155	0,455
V-VNb	-4,61	-4,155	0,455
BPS_R	-4,585	-3,374	1,21
BPS_B	-13,069	-13,915	0,846
BPS_T	-13,069	-13,322	0,253
41	-4,61	-4,249	0,361
Mal57	-4,611	-4,465	0,146

6.8 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR22

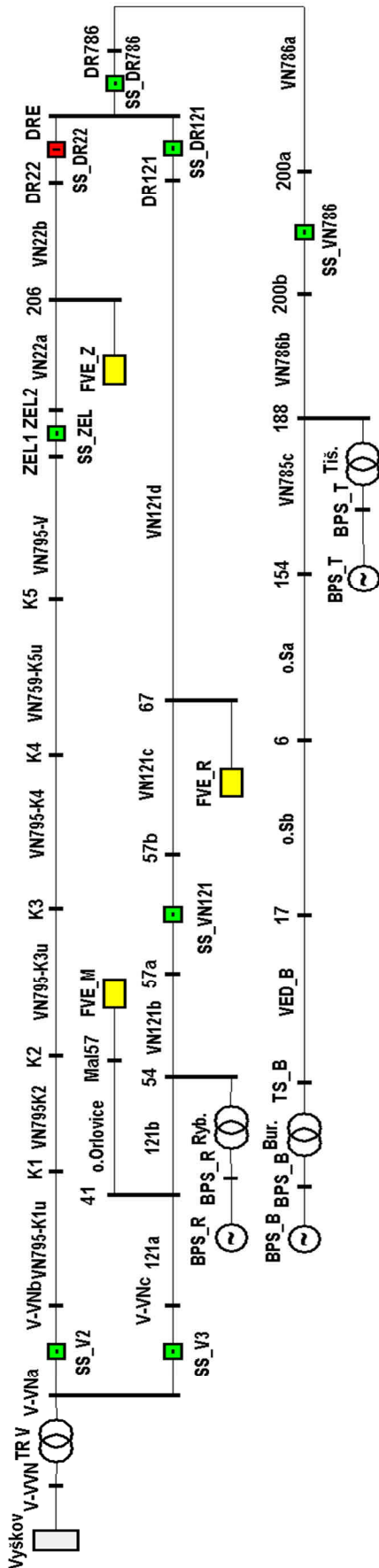
Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR22, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 6-14 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL3 a regulaci činného výkonu na stupeň P4. Nastavení zdrojů je uvedeno v Tab. 6-13. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 6-14 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 6-13.

Tab. 6-13 Nastavení zdrojů při vypnutém SS_DR22

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,97				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,97				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,97				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	-120,58	1	-4594,7	0	-4594,7	0
	FVE_Z	22	-45,93	1	-1750	0	-1750	0
	FVE_M	22	-13,12	1	-500	0	-500	0



Obr. 6-13 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3



Tab. 6-14 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,02	0,241	0,261
V-VNa	-4,61	-4,189	0,421
K1	-4,615	-4,277	0,339
K2	-4,618	-4,298	0,32
K3	-4,621	-4,406	0,216
K4	-4,622	-4,425	0,197
K5	-4,622	-4,44	0,182
ZEL1	-4,628	-5,441	0,814
ZEL2	-4,628	-5,441	0,814
206	-4,628	-5,566	0,938
DR22	-4,629	-5,567	0,938
57a	-4,608	-5,344	0,737
67	-4,607	-5,533	0,925
54	-4,608	-5,28	0,672
DR121	-4,601	-5,878	1,277
DRE	-4,601	-5,878	1,277
DR786	-4,601	-5,878	1,277
200a	-4,599	-5,961	1,361
188	-4,598	-6,002	1,403
154	-4,596	-6,085	1,488
6	-4,594	-6,222	1,628
17	-4,593	-6,285	1,692
TS_B	-4,592	-6,318	1,726
200b	-4,599	-5,961	1,361
57b	-4,608	-5,344	0,737
V-VNc	-4,61	-4,189	0,421
V-VNb	-4,61	-4,189	0,421
BPS_R	-4,583	-4,737	0,154
BPS_B	-13,049	-14,129	1,08
BPS_T	-13,048	-13,551	0,503
41	-4,609	-4,959	0,351
Mal57	-4,61	-5,173	0,564

Obr. 6-14 Schéma sítě při vypnutém SS_DR22

7 SÍŤ SE ZDROJEM BPS_Z O VÝKONU 0,5 MW

Do stávajícího stavu sítě, tak jak byl uveden v kapitole 6, jsme namodelovali nový bioplynový zdroj (BPS_Z) zemědělského družstva Nezamyslice o výkonu 0,5 MW připojeného do uzlu 208 vedení VN786, tuto část jsme oproti stávajícímu modelu museli domodelovat tak, že vedení VN786a jsme rozdělili na VN786a1 a VN786a2, mezi nimi vznikl nový uzel 208, do kterého je přes transformátor TZD vyveden výkon z bioplynové elektrárny BPS_Z. Tento zdroj v současné době neexistuje a teprve se zvažuje jeho výstavba. Nově modelované prvky jsou vypsány spolu se svými parametry v Tab. 7-1. Provozní zapojení s novým zdrojem bude řešeno pouze pro stavy z kapitoly 6, ve kterých nebyla u žádné skupiny zdroj provedena regulace výkonu na stupeň P1.

Tab. 7-1 Nové domodelované prvky sítě

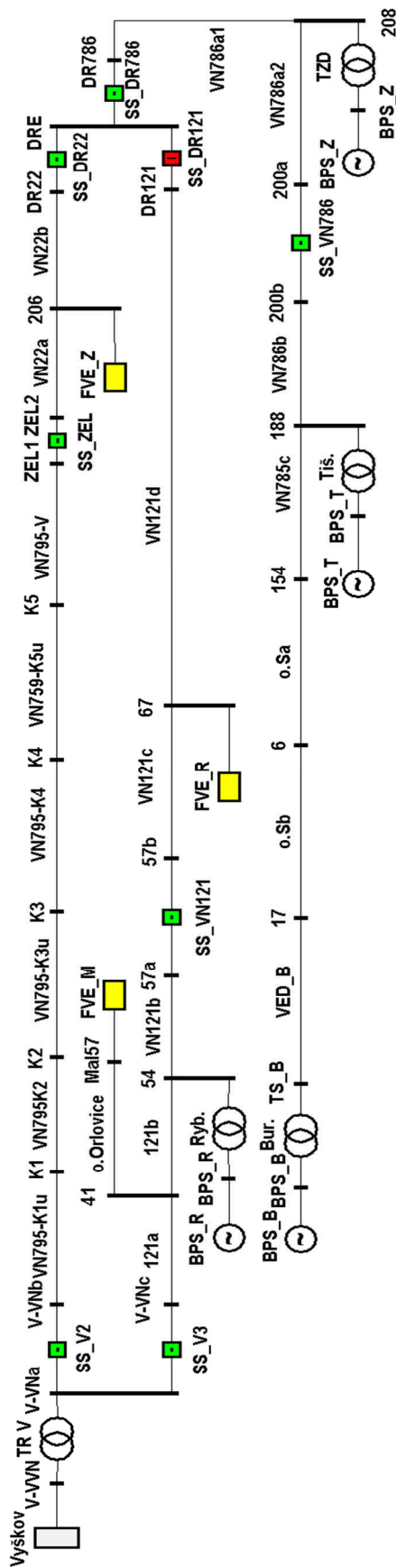
Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_Z	0,4	500	-0,998				
Vedení	Název	Druh	Typ	R _{km} [Ω /km]	X _{km} [Ω /km]	B _{km} [μ S/km]	Délka [km]	I _{max} [A]
	VN786a1	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	1,097	289
	VN786a2	venko-22	95AlFe6	0,301	0,374	1,448	0,779	289
Transf.	Název	U ₁ [kV]	U ₂ [kV]	S _t [MVA]	P _k [kW]	U _k [%]	i _o [%]	P _o [kW]
	TZD	22	0,4	0,63	7,6	6	1	1,7

7.1 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR121

Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR121, který odpovídá současnému provoznímu stavu bez nového zdroje, tak jak je znázorněno ve schématu na Obr. 7-1 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL5 a regulaci činného výkonu na stupeň P4. Nastavení zdrojů je uvedeno v Tab. 7-2. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 7-3 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 7-2.

Tab. 7-2 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR121

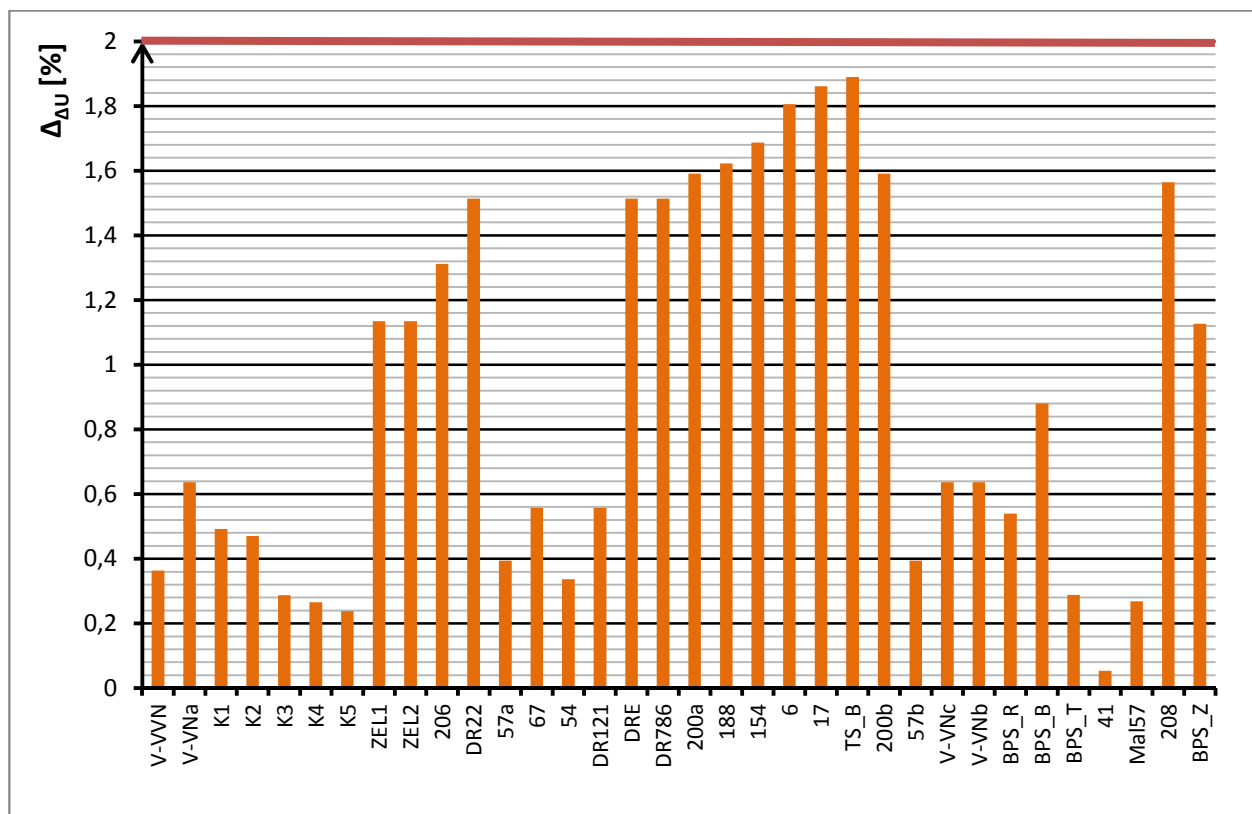
Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,95				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,95				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,95				
	BPS_Z	0,4	526,32	-0,95				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	-120,58	1	-4594,7	0	-4594,7	0
	FVE_Z	22	-45,93	1	-1750	0	-1750	0
	FVE_M	22	-13,12	1	-500	0	-500	0



Obr. 7-1 Schéma sítě při vypnutém
SS_DR121

Tab. 7-3 Tabulka změny napětí s vypnutým
vypínačem SS_DR121 při QL5

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,018	0,345	0,363
V-VNa	-4,605	-3,968	0,637
K1	-4,609	-4,117	0,492
K2	-4,612	-4,141	0,47
K3	-4,614	-4,327	0,287
K4	-4,614	-4,349	0,265
K5	-4,614	-4,375	0,238
ZEL1	-4,6	-5,735	1,135
ZEL2	-4,6	-5,735	1,135
206	-4,598	-5,91	1,312
DR22	-4,59	-6,104	1,514
57a	-4,606	-5	0,394
67	-4,606	-5,164	0,557
54	-4,606	-4,943	0,337
DR121	-4,608	-5,165	0,557
DRE	-4,59	-6,104	1,514
DR786	-4,59	-6,104	1,514
200a	-4,587	-6,178	1,591
188	-4,586	-6,208	1,623
154	-4,584	-6,27	1,687
6	-4,581	-6,387	1,806
17	-4,58	-6,441	1,861
TS_B	-4,579	-6,469	1,89
200b	-4,587	-6,178	1,591
57b	-4,606	-5	0,394
V-VNc	-4,605	-3,968	0,637
V-VNb	-4,605	-3,968	0,637
BPS_R	-4,581	-4,042	0,54
BPS_B	-13,035	-13,915	0,88
BPS_T	-13,035	-13,323	0,288
41	-4,606	-4,66	0,054
Mal57	-4,607	-4,874	0,268
208	-4,587	-6,152	1,564
BPS_Z	-13,044	-14,171	1,127



Obr. 7-2 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR121 s BPS_Z 0,5 MW

7.2 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V2

Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V2, jak je znázorněno ve schématu na Obr. 7-3 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL5 a regulaci činného výkonu na stupeň P3 u FVE. Nastavení zdrojů je uvedeno v Tab. 7-4. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 7-5 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 7-4.

Tab. 7-4 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_V2

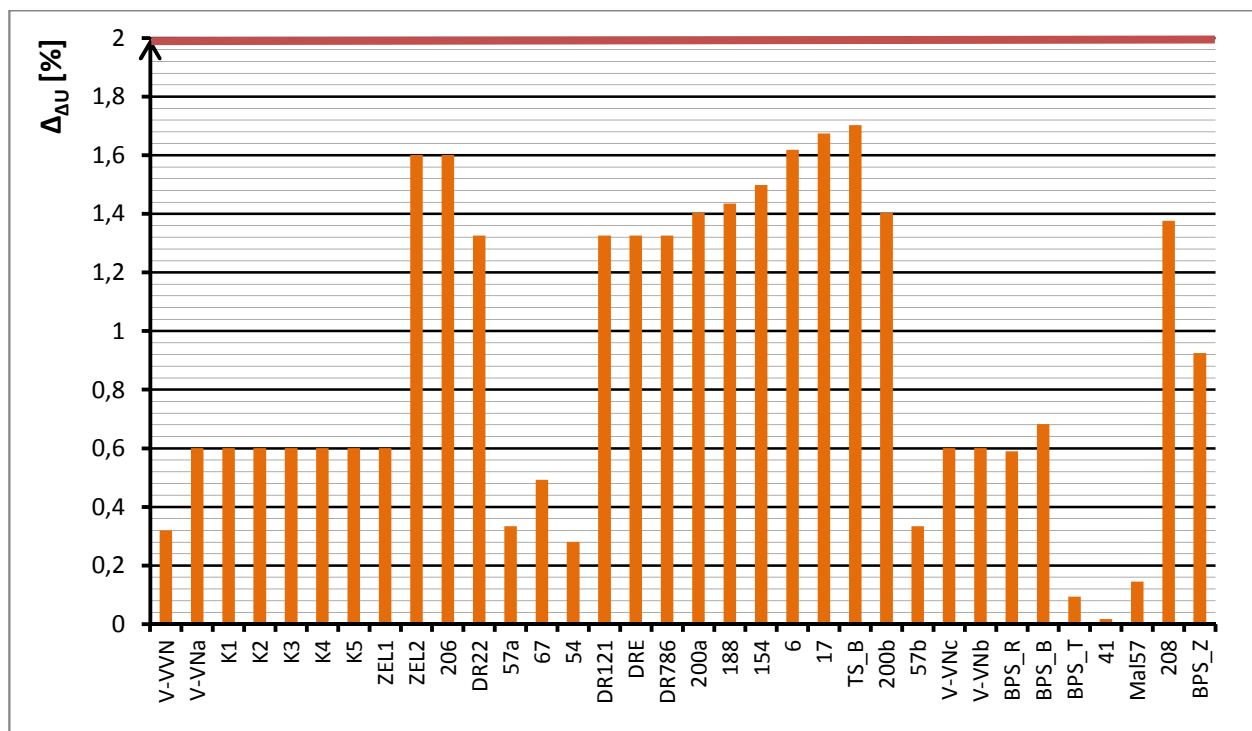
Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,95				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,95				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,95				
	BPS_Z	0,4	526,32	-0,95				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	-72,35	1	-2756,82	0	-2756,82	0
	FVE_Z	22	-27,56	1	-1050	0	-1050	0
	FVE_M	22	-7,87	1	-300	0	-300	0



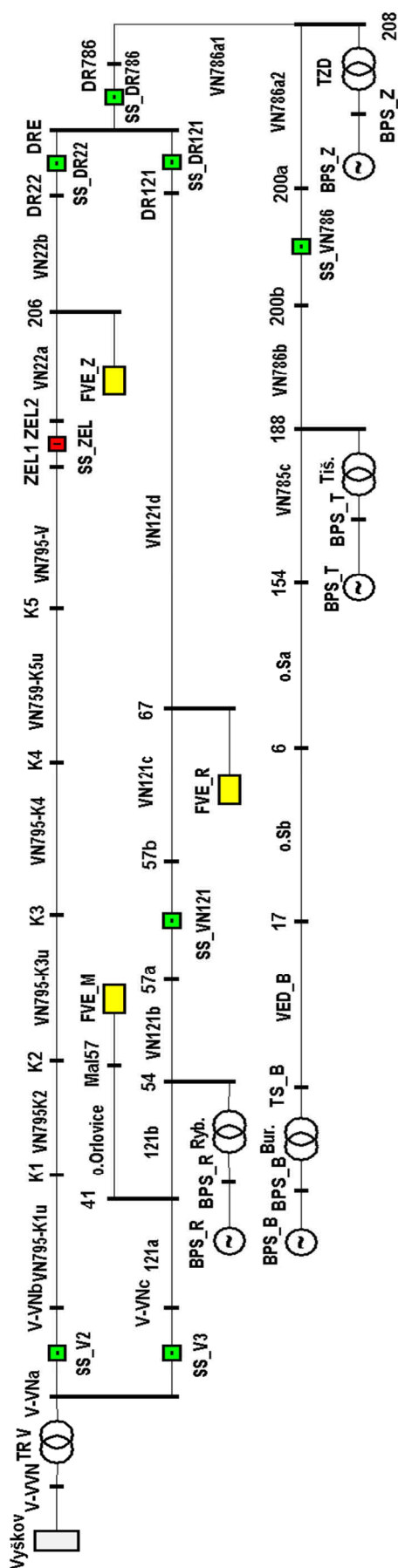
Obr. 7-4 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V2 s BPS_Z 0,5 MW

7.3 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_ZEL

Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_ZEL, jak je znázorněno ve schématu na Obr. 7-6 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL5 u BPS a regulaci činného výkonu na stupeň P3 u FVE. Nastavení zdrojů je stejné jako v případě vypnutí vypínače SS_V2 a je uvedeno v Tab. 7-4. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 7-6 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 7-5.



Obr. 7-5 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_ZEL s BPS_Z 0,5 MW



Tab. 7-6 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_ZEL při QL5 a P3 u FVE

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,018	0,302	0,32
V-VNa	-4,605	-4,004	0,601
K1	-4,61	-4,009	0,601
K2	-4,613	-4,012	0,601
K3	-4,616	-4,015	0,601
K4	-4,616	-4,015	0,601
K5	-4,616	-4,015	0,601
ZEL1	-4,619	-4,018	0,601
ZEL2	-4,589	-6,19	1,601
206	-4,589	-6,19	1,601
DR22	-4,588	-5,913	1,326
57a	-4,6	-4,934	0,334
67	-4,599	-5,092	0,493
54	-4,6	-4,881	0,281
DR121	-4,588	-5,913	1,326
DRE	-4,588	-5,913	1,326
DR786	-4,588	-5,913	1,326
200a	-4,585	-5,987	1,403
188	-4,584	-6,018	1,435
154	-4,582	-6,081	1,499
6	-4,579	-6,198	1,619
17	-4,578	-6,252	1,674
TS_B	-4,577	-6,28	1,703
200b	-4,585	-5,987	1,403
57b	-4,6	-4,934	0,334
V-VNc	-4,605	-4,004	0,601
V-VNb	-4,605	-4,004	0,601
BPS_R	-4,575	-3,985	0,59
BPS_B	-13,033	-13,716	0,683
BPS_T	-13,033	-13,127	0,094
41	-4,602	-4,619	0,017
Mal57	-4,603	-4,748	0,145
208	-4,585	-5,962	1,376
BPS_Z	-13,042	-13,967	0,925

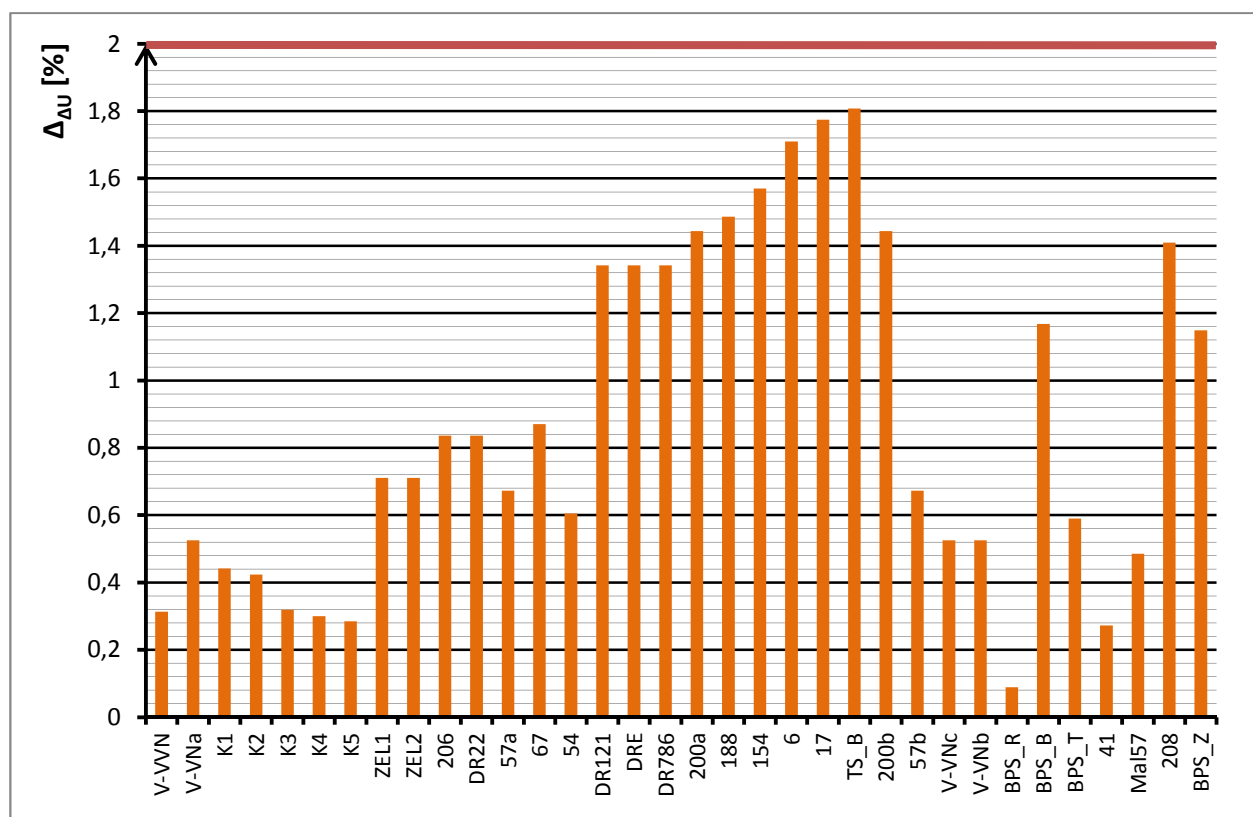
Obr. 7-6 Schéma sítě při vypnutém SS_ZEL

7.4 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR22

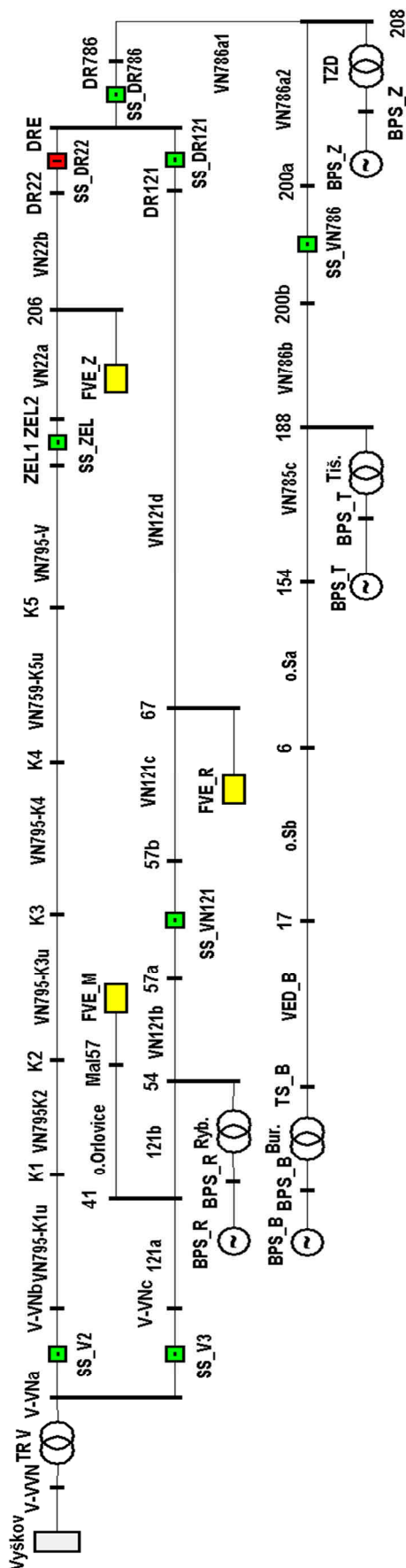
Při provozním rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR22, jak je znázorněno ve schématu na Obr. 7-8 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL3 a regulaci činného výkonu na stupeň P4. Nastavení zdrojů je uvedeno v Tab. 7-7. Procentní změny napětí v uzlech sítě při připojení zdrojů jsou uvedeny v Tab. 7-8 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 7-7.

Tab. 7-7 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR22

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,97				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,97				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,97				
	BPS_Z	0,4	515,46	-0,97				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	-120,58	1	-4594,7	0	-4594,7	0
	FVE_Z	22	-45,93	1	-1750	0	-1750	0
	FVE_M	22	-13,12	1	-500	0	-500	0



Obr. 7-7 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR22 s BPS_Z 0,5 MW



Tab. 7-8 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,018	0,295	0,313
V-VNa	-4,605	-4,08	0,525
K1	-4,61	-4,168	0,442
K2	-4,613	-4,189	0,424
K3	-4,616	-4,297	0,319
K4	-4,617	-4,317	0,3
K5	-4,617	-4,332	0,285
ZEL1	-4,623	-5,334	0,711
ZEL2	-4,623	-5,334	0,711
206	-4,623	-5,459	0,836
DR22	-4,624	-5,459	0,836
57a	-4,599	-5,271	0,673
67	-4,598	-5,468	0,87
54	-4,599	-5,204	0,605
DR121	-4,584	-5,926	1,342
DRE	-4,584	-5,926	1,342
DR786	-4,584	-5,926	1,342
200a	-4,581	-6,024	1,444
188	-4,58	-6,065	1,486
154	-4,578	-6,148	1,57
6	-4,575	-6,285	1,71
17	-4,574	-6,348	1,774
TS_B	-4,573	-6,381	1,808
200b	-4,581	-6,024	1,444
57b	-4,599	-5,271	0,673
V-VNc	-4,605	-4,08	0,525
V-VNb	-4,605	-4,08	0,525
BPS_R	-4,574	-4,663	0,089
BPS_B	-13,029	-14,196	1,168
BPS_T	-13,028	-13,619	0,59
41	-4,601	-4,873	0,272
Mal57	-4,602	-5,087	0,485
208	-4,581	-5,99	1,409
BPS_Z	-13,038	-14,186	1,149

Obr. 7-8 Schéma sítě při vypnutém SS_DR22

8 SÍŤ SE ZDROJEM BPS_Z O VÝKONU 1 MW

Obdobně jako v kapitole 7 řešíme připojení bioplynového zdroje umístěného v zemědělském družstvu Nezamyslice, který je připojen do uzlu 208 přes transformátor TZD do vedení VN786. V této řešené variantě má bioplynová elektrárna výkon 1 MW. Jedná se o druhou možnou variantu výstavby zdroje. Změněné parametry synchronního stroje a transformátoru jsou uvedeny v Tab. 8-1.

Tab. 8-1 Změněné parametry prvků sítě

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_Z	0,4	1000	-0,996				
Transf.	Název	U ₁ [kV]	U ₂ [kV]	S _t [MVA]	P _k [kW]	U _k [%]	i _o [%]	P _o [kW]
	TZD	22	0,4	1,25	11,3	6	0,7	2,7

8.1 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR121

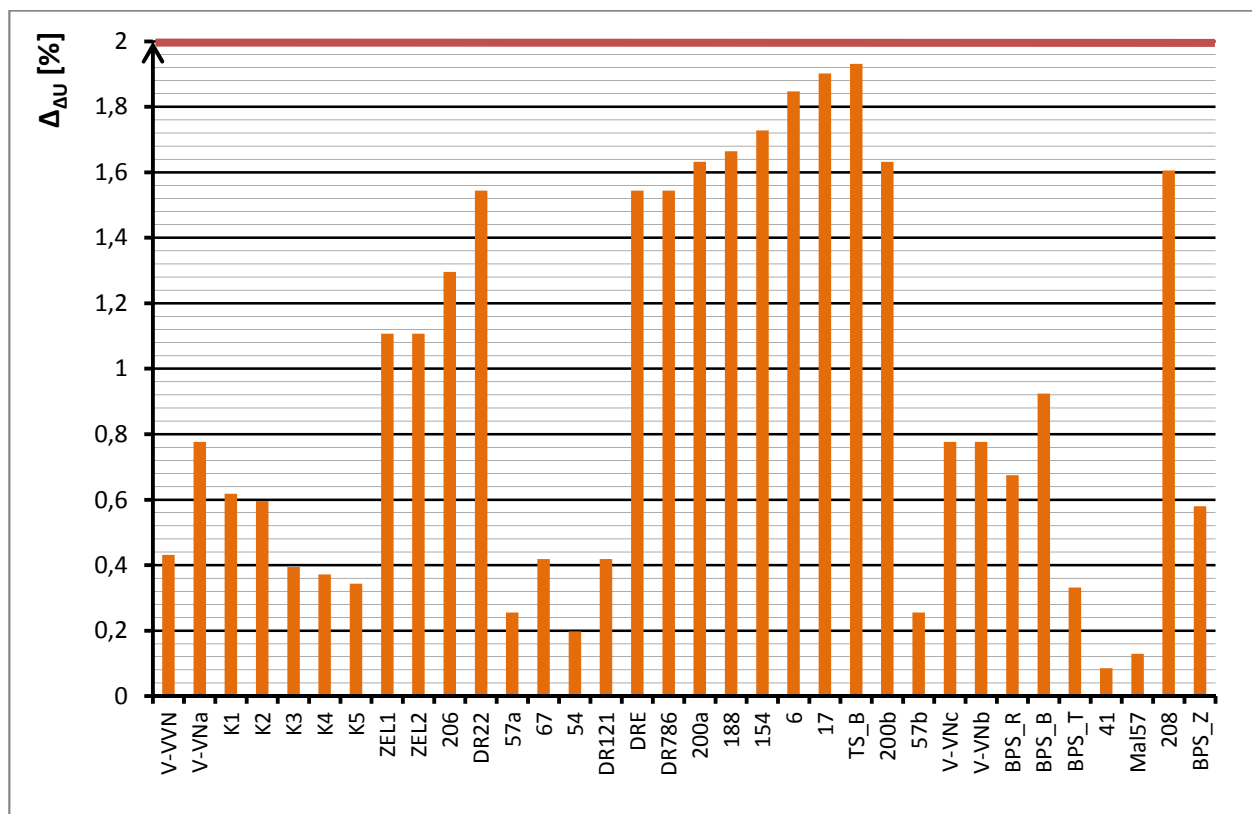
V případě rozpojení sítě vypínačem SS_DR121, tak jak je uvedeno na Obr. 7-1 jsme provedli regulaci jalového výkonu na stupeň QL5, přičemž činný výkon zůstává neomezen, tj. všechny zdroje běží na regulačním stupni P4. Nastavení zdrojů je uvedeno v Tab. 8-2. Procentní změny napětí v jednotlivých uzlech řešené sítě jsou uvedeny v Tab. 8-3 a jejich grafická reprezentace je na Obr. 8-1.

Tab. 8-2 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR121 a výkonu BPS_Z 1 MW

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,95				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,95				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,95				
	BPS_Z	0,4	1052,63	-0,95				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	-120,58	1	-4594,7	0	-4594,7	0
	FVE_Z	22	-45,93	1	-1750	0	-1750	0
	FVE_M	22	-13,12	1	-500	0	-500	0

Tab. 8-3 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR121 při QL5 a BPS_Z 1 MW

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,018	0,414	0,431
V-VNa	-4,605	-3,828	0,777
K1	-4,609	-3,991	0,618
K2	-4,612	-4,016	0,596
K3	-4,614	-4,219	0,394
K4	-4,614	-4,242	0,372
K5	-4,614	-4,271	0,343
ZEL1	-4,6	-5,707	1,107
ZEL2	-4,6	-5,707	1,107
206	-4,598	-5,894	1,296
DR22	-4,59	-6,133	1,544
57a	-4,606	-4,861	0,255
67	-4,606	-5,025	0,419
54	-4,606	-4,804	0,198
DR121	-4,608	-5,027	0,419
DRE	-4,59	-6,133	1,544
DR786	-4,59	-6,133	1,544
200a	-4,587	-6,219	1,632
188	-4,586	-6,25	1,664
154	-4,584	-6,312	1,728
6	-4,581	-6,429	1,847
17	-4,58	-6,482	1,902
TS_B	-4,579	-6,511	1,931
200b	-4,587	-6,219	1,632
57b	-4,606	-4,861	0,255
V-VNc	-4,605	-3,828	0,777
V-VNb	-4,605	-3,828	0,777
BPS_R	-4,581	-3,906	0,675
BPS_B	-13,035	-13,959	0,924
BPS_T	-13,035	-13,366	0,332
41	-4,606	-4,521	0,085
Mal57	-4,607	-4,736	0,129
208	-4,587	-6,193	1,606
BPS_Z	-13,044	-13,624	0,58



Obr. 8-1 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR121 s BPS_Z 1 MW

8.2 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_V2

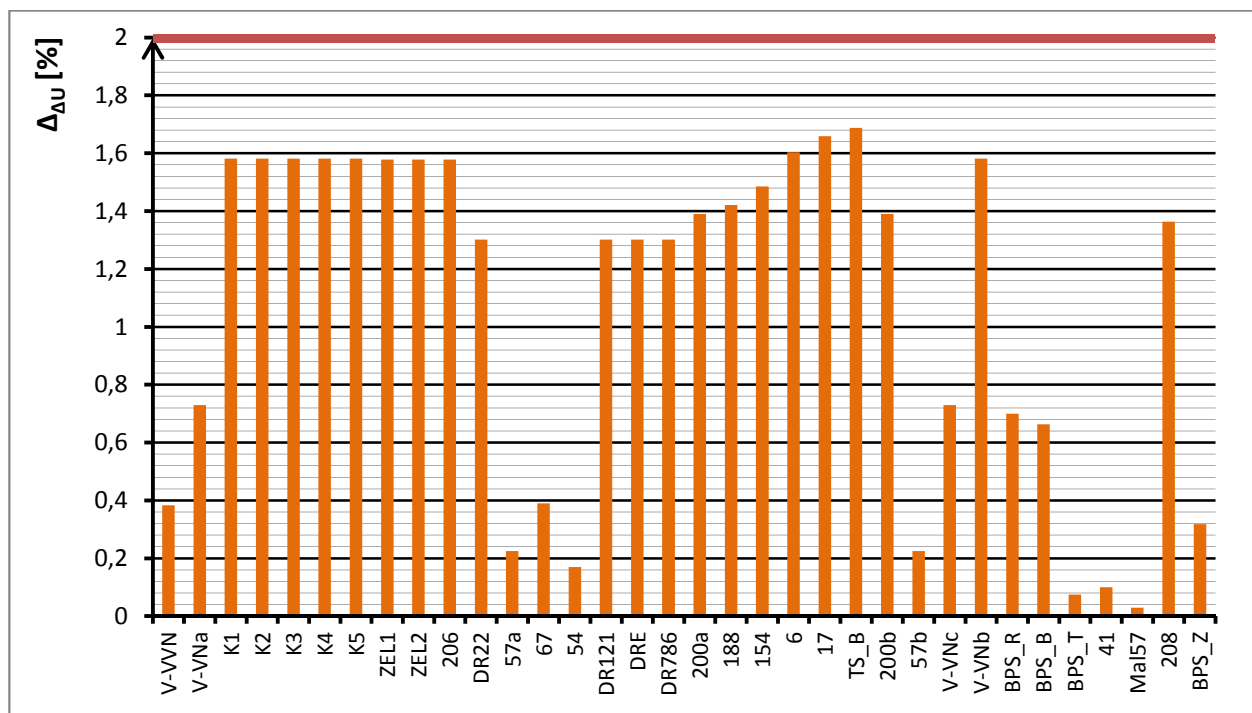
Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem je znázorněno na Obr. 7-3. V tomto zapojení je nutná pro splnění podmínky dvouprocentního rozdílu napětí po připojení zdrojů regulace jalového výkonu na stupni QL5 a činného výkonu na stupni P3. Nastavení zdrojů v tomto stavu je uvedeno v Tab. 8-4. Procentní změny napětí v jednotlivých uzlech sítě po připojení zdrojů jsou shrnuty v Tab. 8-5 a jejich grafická prezentace je na Obr. 8-2.

Tab. 8-4 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_V2 a výkonu BPS_Z 1 MW

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,95				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,95				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,95				
	BPS_Z	0,4	1052,63	-0,95				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVar]	S [kVA]	Q _k [kVar]
	FVE_R	22	-72,35	1	-2756,82	0	-2756,82	0
	FVE_Z	22	-27,56	1	-1050	0	-1050	0
	FVE_M	22	-7,87	1	-300	0	-300	0

Tab. 8-5 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_V2 při QL5 a P3 u FVE

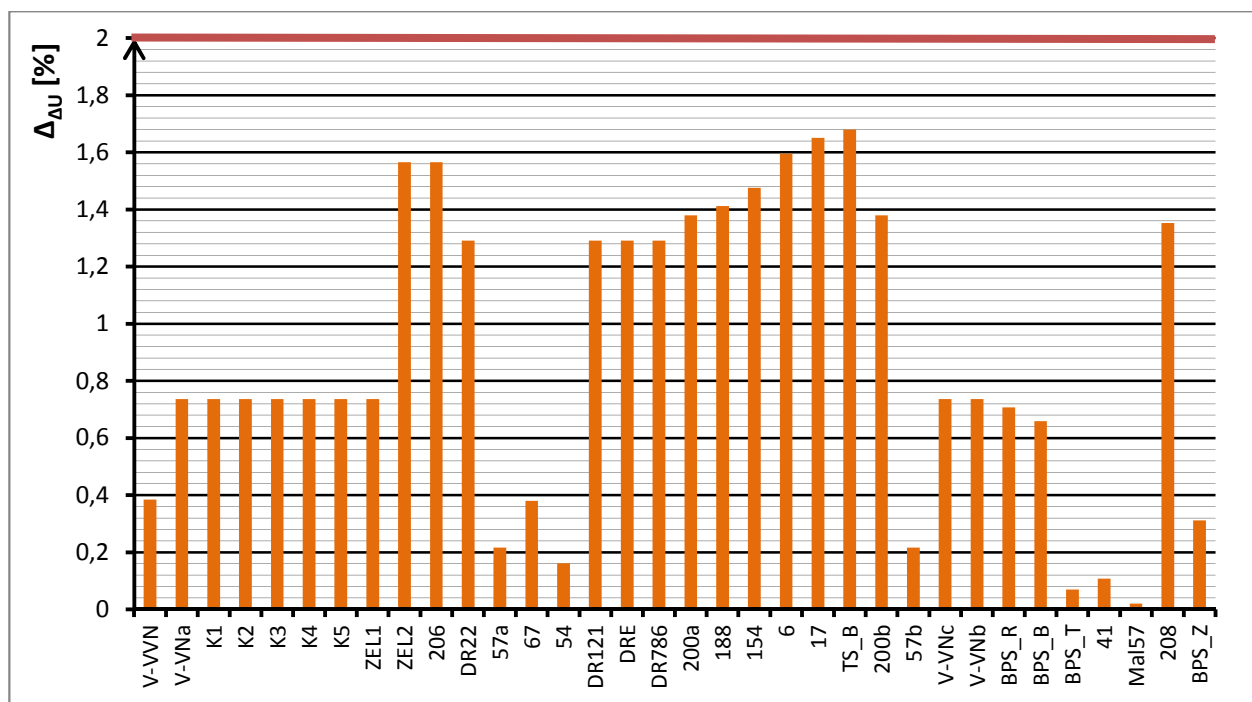
Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,018	0,365	0,383
V-VNa	-4,605	-3,875	0,73
K1	-5,111	-6,691	1,581
K2	-5,109	-6,69	1,581
K3	-5,104	-6,685	1,581
K4	-5,101	-6,681	1,581
K5	-5,099	-6,68	1,581
ZEL1	-4,923	-6,501	1,578
ZEL2	-4,923	-6,501	1,578
206	-4,901	-6,479	1,578
DR22	-4,818	-6,119	1,301
57a	-4,673	-4,898	0,225
67	-4,683	-5,073	0,39
54	-4,669	-4,839	0,17
DR121	-4,818	-6,119	1,301
DRE	-4,818	-6,119	1,301
DR786	-4,818	-6,119	1,301
200a	-4,815	-6,204	1,39
188	-4,814	-6,235	1,421
154	-4,812	-6,297	1,485
6	-4,809	-6,414	1,604
17	-4,808	-6,467	1,659
TS_B	-4,807	-6,496	1,688
200b	-4,815	-6,204	1,39
57b	-4,673	-4,898	0,225
V-VNc	-4,605	-3,875	0,73
V-VNb	-5,112	-6,692	1,581
BPS_R	-4,644	-3,944	0,7
BPS_B	-13,282	-13,945	0,663
BPS_T	-13,281	-13,356	0,075
41	-4,649	-4,55	0,1
Mal57	-4,65	-4,679	0,029
208	-4,815	-6,179	1,363
BPS_Z	-13,29	-13,608	0,318



Obr. 8-2 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_V2 s BPS_Z 1 MW

8.3 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_ZEL

Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_ZEL odpovídá schématu na Obr. 7-6. V tomto případě jsme provedli regulaci dodávky činného výkonu na stupeň P3 u FVE a regulaci jalového výkonu na stupeň QL5 u BPS. Nastavení zdrojů je stejné jako v případě vypnutého vypínače SS_V2 v kapitole 8.2 a odpovídá mu tedy Tab. 8-4. Znázornění procentní změny napětí v jednotlivých uzlech sítě je na Obr. 8-3 a jejich výpis je v Tab. 8-6.



Obr. 8-3 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_ZEL s BPS_Z 1 MW

Tab. 8-6 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_ZEL při QL5 a P3 u FVE

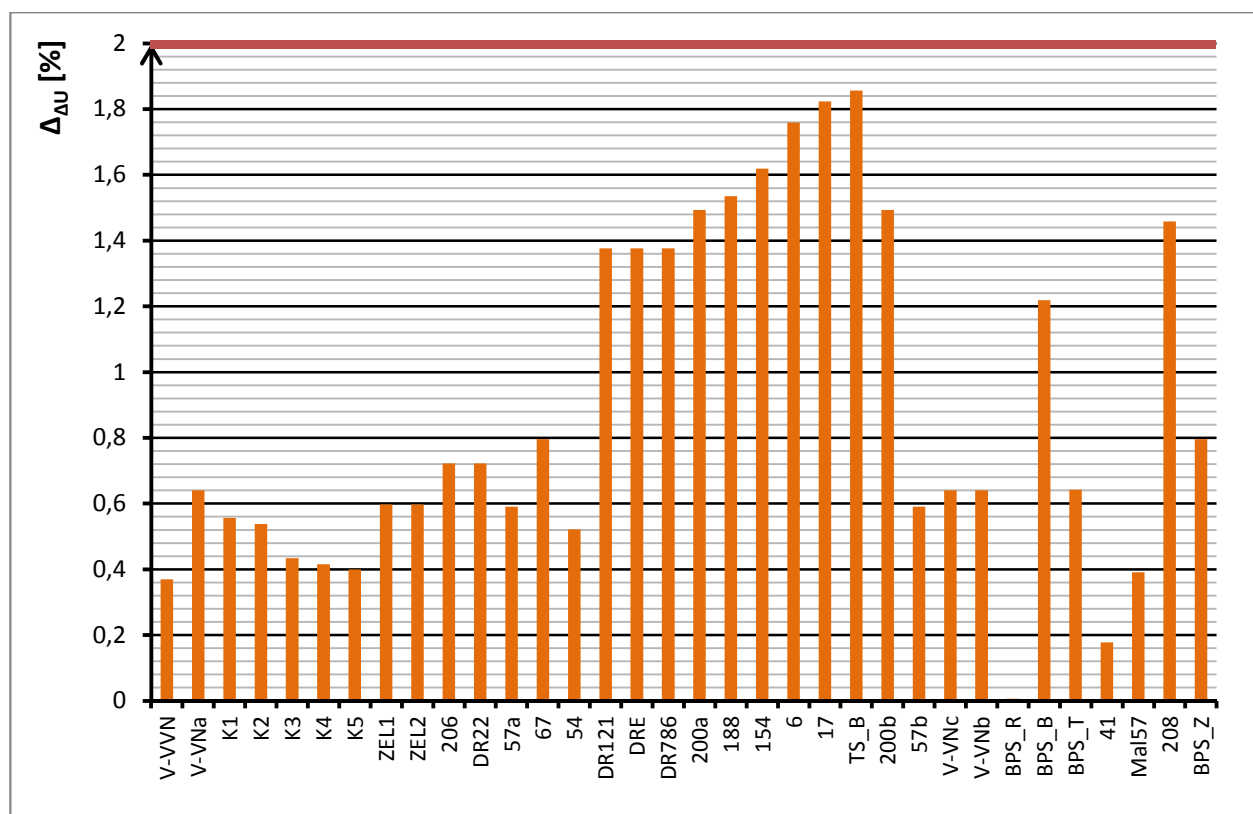
Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,018	0,368	0,385
V-VNa	-4,605	-3,869	0,736
K1	-4,61	-3,874	0,736
K2	-4,613	-3,876	0,736
K3	-4,616	-3,879	0,736
K4	-4,616	-3,88	0,736
K5	-4,616	-3,88	0,736
ZEL1	-4,619	-3,883	0,736
ZEL2	-4,589	-6,155	1,566
206	-4,589	-6,155	1,566
DR22	-4,588	-5,878	1,291
57a	-4,6	-4,816	0,216
67	-4,599	-4,979	0,38
54	-4,6	-4,761	0,161
DR121	-4,588	-5,878	1,291
DRE	-4,588	-5,878	1,291
DR786	-4,588	-5,878	1,291
200a	-4,585	-5,964	1,38
188	-4,584	-5,995	1,412
154	-4,582	-6,058	1,476
6	-4,579	-6,175	1,596
17	-4,578	-6,229	1,651
TS_B	-4,577	-6,257	1,68
200b	-4,585	-5,964	1,38
57b	-4,6	-4,816	0,216
V-VNc	-4,605	-3,869	0,736
V-VNb	-4,605	-3,869	0,736
BPS_R	-4,575	-3,868	0,707
BPS_B	-13,033	-13,692	0,659
BPS_T	-13,033	-13,103	0,07
41	-4,602	-4,494	0,108
Mal57	-4,603	-4,623	0,02
208	-4,585	-5,939	1,353
BPS_Z	-13,042	-13,353	0,312

8.4 Provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR22

Pokud provozujeme síť rozpojenou pomocí vypínače SS_DR22, provozujeme všechny zdroje s regulačním stupněm dodávky činného výkonu P4 tedy bez omezení a regulačním stupněm jalového výkonu QL3. Schéma rozpojení sítě odpovídá Obr. 7-8 z kapitoly 7.4. Nastavení zdrojů v tomto provozním stavu je uvedeno v Tab. 8-7. V Tab. 8-8 je uveden souhrn procentních změn napětí v jednotlivých uzlech sítě a na Obr. 8-4 je jejich grafické znázornění.

Tab. 8-7 Nastavení zdrojů při vypnutém vypínači SS_DR22 a výkonu BPS_Z 1 MW

Stroj S.	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ				
	BPS_T	0,4	526,94	-0,97				
	BPS_B	0,4	1001,27	-0,97				
	BPS_R	0,4	526,75	-0,97				
	BPS_Z	0,4	1000	-0,97				
Zátěž	Název	U [kV]	I [A]	cos φ	P [kW]	Q [kVAr]	S [kVA]	Q _k [kVAr]
	FVE_R	22	-120,58	1	-4594,7	0	-4594,7	0
	FVE_Z	22	-45,93	1	-1750	0	-1750	0
	FVE_M	22	-13,12	1	-500	0	-500	0



Obr. 8-4 Graf změny napětí po připojení zdrojů s vypnutým vypínačem SS_DR22 s BPS_Z 1 MW

Tab. 8-8 Tabulka změny napětí s vypnutým vypínačem SS_DR22 při QL3 a BPS_Z 1 MW

Uzel	ΔU_1	ΔU_2	$\Delta_{\Delta U}$
	[%]	[%]	[%]
V-VVN	-0,018	0,352	0,37
V-VNa	-4,605	-3,965	0,64
K1	-4,61	-4,053	0,557
K2	-4,613	-4,075	0,538
K3	-4,616	-4,182	0,434
K4	-4,617	-4,202	0,415
K5	-4,617	-4,217	0,4
ZEL1	-4,623	-5,22	0,597
ZEL2	-4,623	-5,22	0,597
206	-4,623	-5,345	0,722
DR22	-4,624	-5,346	0,722
57a	-4,599	-5,189	0,591
67	-4,598	-5,394	0,796
54	-4,599	-5,12	0,521
DR121	-4,584	-5,959	1,376
DRE	-4,584	-5,959	1,376
DR786	-4,584	-5,959	1,376
200a	-4,581	-6,074	1,493
188	-4,58	-6,114	1,535
154	-4,578	-6,197	1,619
6	-4,575	-6,334	1,759
17	-4,574	-6,397	1,823
TS_B	-4,573	-6,43	1,857
200b	-4,581	-6,074	1,493
57b	-4,599	-5,189	0,591
V-VNc	-4,605	-3,965	0,64
V-VNb	-4,605	-3,965	0,64
BPS_R	-4,574	-4,581	0,006
BPS_B	-13,029	-14,248	1,219
BPS_T	-13,028	-13,671	0,642
41	-4,601	-4,779	0,178
Mal57	-4,602	-4,993	0,391
208	-4,581	-6,039	1,458
BPS_Z	-13,038	-13,834	0,796

9 SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ

Podle vypočítaných hodnot jsme sestavili Tab. 9-1, která určuje nastavení zdrojů při zkoumaných provozních zapojeních. Tabulka odpovídá provozovaným zdrojům z kapitol 6, 7 i 8, protože změna způsobená novým připojeným zdrojem BPS_Z zemědělského družstva Nezamyslice nebyla dostatečně velká, aby ovlivnila nastavení jednotlivých regulačních stupňů. Regulační stupeň nového zdroje není řešen pro rozepnutí vypínačů SS_V3 a SS_VN121, jelikož byl požadavek řešit tento zdroj pouze pro stavy, kdy nedojde k vypnutí jedné ze skupin zdrojů.

Tab. 9-1 Nastavení zdrojů podle vypnutých vypínačů

	SS_DR121	SS_V2	SS_ZEL	SS_V3	SS_VN121	SS_DR22
FVE_Z	P4	P3	P3	P1	P1	P4
FVE_M	P4	P3	P3	P1	P1	P4
FVE_R	P4	P3	P3	P1	P1	P4
BPS_R	P4+QL5	P4+QL5	P4+QL5	P4+QL3	P4+QL3	P4+QL3
BPS_B	P4+QL5	P4+QL5	P4+QL5	P4+QL3	P4+QL3	P4+QL3
BPS_T	P4+QL5	P4+QL5	P4+QL5	P4+QL3	P4+QL3	P4+QL3
BPS_Z	P4+QL5	P4+QL5	P4+QL5	-	-	P4+QL3

10 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsme se zabývali popisem výpočetních metod vhodných pro řešení distribučních sítí napěťové hladiny 22 kV v ustáleném stavu. V našem případě jsme pro modelaci a následně řešení sítě využívali programu E-Vlivy, tento program je popsán v kapitole 5. Všechny námi modelované provozní varianty jsou ve stavu naprázdno, protože z hlediska napěťových poměrů jde o nejnepríznivější možný stav.

V současné době je námi řešená část sítě provozována s rozpojeným vypínačem SS_DR121, tak jak je znázorněno na Obr. 6-2, napěťové poměry jsou shrnuty v Tab. 6-2 a jejich grafické zpracování je na Obr. 6-1. Při žádné z řešených variant nebyla překročena povolená tolerance odchylky napětí od jmenovité hodnoty.

Při výpočtu nestandardních provozních stavů, tedy stavů, kdy síť je z důvody plánované nebo i neplánované odstávky zapojena jinak, než je optimální provozní rozpojení, jsme zjistili:

- Při vypnutém vypínači SS_V2 stejně jako v případě kdy je vypnut SS_ZEL je nutné pro splnění podmínky napěťové změny v uzlech sítě provést regulaci účinníku na stupeň QL5 u všech zdrojů, které to umožňují a zároveň provést regulaci dodávaného činného výkonu na stupeň P3 u FVE. Toto lze přičíst nevyužití přenosové kapacity vedení VN795 a také tomu, že všechny zdroje jsou provozovány na jednom paprsku, přičemž druhý největší zdroj – fotovoltaická elektrárna Želeč je připojena až na konci tohoto paprsku.
- Při vypnutém vypínači SS_V3 a také v případě, kdy je nutné vypnout vypínač SS_VN121 je nutné pro splnění podmínky napěťové změny v uzlech sítě vlivem připojení zdrojů provést regulaci činného výkonu na stupeň P1 u FVE, tedy odpojit všechny FVE od sítě, BPS jsou regulovány na stupeň P4 tedy 100 % výkonu při QL3. V případě vypnutí vypínače SS_V3 jsou všechny zdroje zapojené na jednom paprsku, přičemž největší zdroj fotovoltaická elektrárna Rybníček je takřka na konci paprsku spolu s fotovoltaickou elektrárnou Moravské Málkovice a bioplynovou elektrárnou Rybníček. V případě vypnutí vypínače SS_VN121 jsou sice fotovoltaická elektrárna Moravské Málkovice a bioplynová stanice Rybníček zapojeny na samostatném paprsku vyvedeném do rozvodny Vyškov vedením VN121, ale fotovoltaická elektrárna Rybníček, která představuje největší z řešených zdrojů, zůstává zapojena na konci druhého paprsku, který je veden do rozvodny Vyškov přes vedení VN795.
- Při vypnutém vypínači SS_DR22 je nutné pro dodržení podmínky napěťové změny v uzlech sítě vlivem připojení zdrojů provést regulaci účinníku na stupeň QL3.

Porovnáním vypočítaných hodnot stávajícího rozpojení s hodnotami při možných nestandardních provozních rozpojeních, jsme zjistili, že z hlediska napěťové změny vyvolané připojením zdrojů do sítě při stavu naprázdno je výhodnější provozní rozpojení s vypnutým vypínačem SS_DR22, jelikož dochází k regulaci účinníku pouze na stupeň QL3 oproti stávajícímu stavu, kdy dochází k regulaci účinníku na stupeň QL5. Toto poskytuje mimo jiné větší regulační rozsah při řízení sítě. Toto zlepšení je způsobeno tím, že druhý největší zdroj – FVE Želeč je zapojena samostatně na paprsku vedení VN795 vedoucí do rozvodny Vyškov a k ostatním fotovoltaickým zdrojům jsou v tomto stavu připojeny všechny bioplynové stanice, které

v podbuzeném stavu spotřebovávají jalový výkon a tím příznivě ovlivní změnu napětí v síti po připojení zdrojů.

Při vypnutém vypínači SS_V3 a regulaci činného výkonu FVE Rybníček na stupeň P1, tedy odpojení tohoto zdroje od sítě, by bylo možné provést regulaci činného výkonu bioplynových elektráren na stupeň P4, tedy na 100 % výkonu, a regulaci činného výkonu zbývajících fotovoltaických elektráren na stupeň P3, regulace účinníku zůstane na stupni QL5. V případě vypnutí vypínače SS_VN121 by bylo možné provést regulaci činného výkonu všech zdrojů na stupeň P4, tedy provoz bez omezení, při zachování regulačního stupně účinníku QL5. Tyto varianty s vypnutou FVE Rybníček však v současnosti nejsou možné, jelikož u všech zdrojů ve skupině připojených do sítě je provozován stejný regulační stupeň, toto pravidlo je zavedeno z důvodu rovného přístupu k dodávce elektrické energie do sítě, tedy každý dodává stejné procento ze svého instalovaného výkonu.

Při připojení nového bioplynového zdroje zemědělského družstva Nezamyslice o výkonu 0,5 MW do námi řešené distribuční soustavy se regulační stupně ve variantách vypnutých vypínačů SS_DR121, SS_V2, SS_ZEL a SS_DR22 nezměnili oproti variantě bez tohoto zdroje. Stejná nastavení regulačních stupňů platí i v případě připojení bioplynového zdroje zemědělského družstva Nezamyslice o výkonu 1 MW.

Připojením nového bioplynového zdroje došlo v některých uzlech sítě ke zlepšení změny napětí vlivem připojení zdrojů, což lze přičíst provozu stroje v podbuzeném stavu, kdy dochází k odběru induktivního jalového výkonu ze sítě. Toto zlepšení však není dostatečně velké, aby umožnilo změnu regulačního stupně. O vlivu nově připojovaného zdroje na síť rozhoduje nejenom jeho velikost, ale i jeho charakter a místo připojení.

Provozní stav s vypnutým vypínačem SS_V3 respektive s vypnutým vypínačem SS_VN121 a připojeným novým zdrojem nejsou řešeny, jelikož zde došlo k úplnému odstavení jedné skupiny zdrojů – fotovoltaických elektráren.

Tato diplomová práce bude sloužit jako jeden z podkladů pro dispečery při řízení distribuční soustavy E.ON 22 kV v řešené oblasti.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HALUZÍK, E. *Řízení provozu elektrizačních soustav*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 126 stran.
- [2] BLAŽEK, V., SKALA, P. *Distribuce elektrické energie*. Brno: VUT Brno, 2003, 140 stran.
- [3] FAJMON, B., RŮŽIČKOVÁ, I. *Matematika 3*. Brno: VUT Brno 2005, 257 stran.
- [4] HALUZÍKOVÁ, A. *Numerické metody*. Brno: VUT Brno, 1989, 124 stran.
ISBN 80-214-0039-0
- [5] BRANČÍK, L. *Elektrotechnika 1*. Brno: VUT Brno, 160 stran.
- [6] BALOUN, M., KYSNAR, F., STAŠEK, O. *E-Vlivy verze 2.0.1*, České Budějovice: EGC - EnerGoConsult ČB, s.r.o, 41 stran.
- [7] EnerGoConsult ČB s.r.o. [online]. Cit. 8.12.2011. Dostupné na: <http://www.egc-cb.cz/vlivy/hlavni.html>.
- [8] TOMAN, P., *MRES (přednáška)*, Brno: VUT Brno, 20. 10. 2011.
- [9] SKALA, P., *MMEZ (přednáška)*, Brno: VUT Brno, 29. 10. 2011.
- [10] OPAT, JAROSLAV. E.ON, Cejl 42/44, Brno, 9. 11. 2011.
- [11] E.ON, Firemní materiály E.ON, 9. 11. 2011
- [12] E.ON, *E ON podklady pro připojení zdrojů do 630kVA*. [online] 4.1.2012 Cit. 27.3.2012. Dostupné na: <http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/technical_information/EON-podklady-pro-pripojeni-zdroju-do-630kva.pdf?v=02>
- [13] E.ON, *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV PŘÍLOHA 4 PRAVIDLA PRO PARALELNÍ PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PROVOZOVATELE DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY*. [online] listopad 2011 Cit. 27.3.2012. Dostupné na: <http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_Dodatek_4_2011.pdf>
- [14] E.ON, *Pravidla provozování distribuční soustavy E.ON Distribuce, a.s.* [online] listopad 2011 Cit. 27.3.2012. Dostupné na: <http://www.eondistribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_2011.pdf>
- [15] E.ON, *E ON podklady pro připojení zdrojů nad 630kVA*. [online] 4.1.2012 Cit. 27.3.2012. Dostupné na: <http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/technical_information/EON-podklady-pro-pripojeni-zdroju-nad-630kva.pdf?v=02>