

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

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

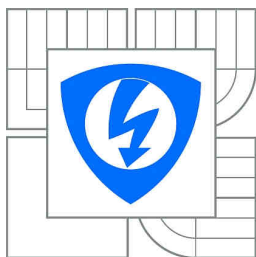
**POSOUZENÍ MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ VĚTRNÉHO
PARKU DRAHANY 45 MW DO SÍTĚ 110 KV**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

BC. TOMÁŠ GREGR

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Tomáš Gregr

ID: 106450

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

**Posouzení možnosti připojení větrného parku Drahaný 45 MW
do sítě 110 kV**

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popis výpočetních metod.
2. Seznámení a popis programu použitého pro výpočet.
3. Výpočet stávajícího stavu sítě 110 kV s provozovanými zdroji.
4. Výpočet sítě 110 kV s posuzovaným zdrojem pro několik variant možných míst připojení.
5. Vyhodnocení výpočtu a posouzení jednotlivých variant z pohledu investičních nákladů provozovatele zdroje a investičních nákladů provozovatele distribuční sítě a výběr nejvhodnější varianty.

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:

GREGR, T., *Posouzení možnosti připojení větrného parku Drahaný 45 MW do sítě 110 kV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 81 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

Tímto bych chtěl poděkovat zaměstnancům rozvoje VN společnosti E.ON za poskytnuté rady a materiály důležité k tvorbě této diplomové práce. Dále bych rád Poděkoval Ing. Davidu Topolánkovi, Ph.D. za vedení této diplomové práce.

V Brně, 15. května 2012.

Bc. Tomáš Gregr

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

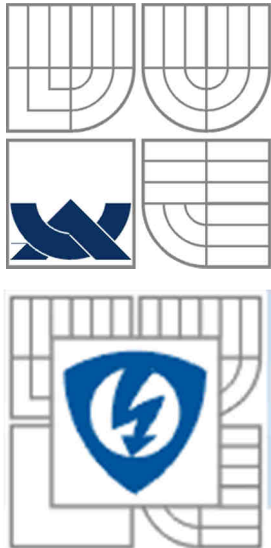
Posouzení možnosti připojení větrného parku Drahaný 45 MW do sítě 110 kV

Bc. Tomáš Gregr

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 possibilities for
connection of wind farm Drahaný
45 MW to 110 kV network**

by

Bc. Tomáš Gregr

Supervisor: Ing. David Topolánek, Ph.D.

Brno University of Technology, 2012

Brno

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku připojování nových zdrojů do elektrizační soustavy, a to především na ustálený chod a povolenou napěťovou změnu v uzlech sítě, které nastanou před a po připojení nového zdroje do distribuční soustavy s přihlédnutím k platné legislativě.

Novým zdrojem řešeným v této práci je větrný park Drahaný o výkonu 45 MW, který má být připojen do distribuční sítě 110 kV provozované distribuční společností E.ON. Výstupem práce je zjištění nejvhodnějšího přípojného místa větrného parku do distribuční sítě 110 kV, a to jak z hlediska přenosové kapacity jednotlivých vedení a napěťové změny v uzlech sítě, tak i z hlediska nákladů investora větrného parku Drahaný na vybudování přípojky k přípojnému místu a nákladů provozovatele distribuční soustavy na úpravu přípojného místa.

Dále jsou v této práci také popsány způsoby výpočtu elektrických sítí v ustáleném stavu, a to především lineární výpočty, jelikož na jejich základě provádí výpočty program E-vlivy, ve kterém byly namodelovány možné varianty připojení větrného parku Drahaný do sítě 110 kV pro různá přípojná místa. Dále se práce zabývá popisem programu E-Vlivy.

Tato diplomová práce je vypracována na základě firemních materiálů společnosti E.ON a bude sloužit jako jeden z dokumentů potřebných k posouzení připojeného místa větrného parku Drahaný do distribuční sítě 110 kV.

KLÍČOVÁ SLOVA: distribuční soustava 110 kV; E-Vlivy; lineární výpočty; procentní změna napětí; připojitelnost zátěže; přípojné místo; předávací místo; rozvodna; studie připojitelnosti; ustálený chod; uzel sítě; vedení; větrný park Drahaný

ABSTRACT

This Master's thesis is focused on connecting of new power sources into electrical network, particularly, the steady state and allowed voltage variation in network nodes, which occur in steady state before and after connection of a new power source into distribution network, with regard to valid legislation.

The new power source in question is the new wind farm Drahany with active power of 45 MW, which should be connected into distribution network 110kV, operated by distribution company E.ON. The aim of this work is to find the most suitable connection point of a wind farm into distribution network, considering transmission capacity of individual electric lines and voltage variations in network nodes, as well as Drahany wind farm's investor's expenses on construction of a connection line to connection point and the distribution network's operator's expenses on modification of the connection point.

Also, methods of calculating of electric networks in steady state are described in this paper, particularly, linear calculations, because these are needed for the calculations in E-vlivy program, in which the possible options of Drahany wind farm's connection into network 110 kV, in various places, were modeled. The description of the E-Vlivy program is also included in this paper.

The E.ON company's materials form the basis for this Master's thesis, which will later serve as one of the documents needed for Drahany wind farm's connection point evaluation into distribution network 110 kV.

KEY WORDS:

distribution network 110 kV; E-Vlivy; linear calculations; percentual voltage variation; load connectivity; connection point; interchange point; substation; connectivity study; steady state; network node; electric line; wind farm Drahany

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM TABULEK	13
SEZNAM SYMBOLŮ.....	15
SEZNAM ZKRATEK.....	17
1 ÚVOD.....	18
2 PŘIPOJOVÁNÍ ZDROJŮ DO ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY.....	19
2.1 PŘIPOJOVÁNÍ DO PŘENOSOVÉ SOUSTAVY	19
2.2 PŘIPOJOVÁNÍ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY 110 kV.....	19
2.3 PŘIPOJOVÁNÍ DO DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY VN	19
2.4 PŘIPOJOVÁNÍ DO SOUSTAVY NN.....	19
3 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	20
3.1 VLIVY VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN NA PROVOZ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY	22
4 CÍLE PRÁCE	24
5 METODY ŘEŠENÍ SÍTÍ V USTÁLENÉM STAVU	25
5.1 LINEÁRNÍ VÝPOČTY	25
5.1.1 ŘEŠENÍ SOUSTAV LINEÁRNÍCH ROVNIC	27
5.2 NELINEÁRNÍ VÝPOČTY	28
6 VÝPOČETNÍ PROGRAM E-VLIVY	30
6.1 MOŽNOSTI PROGRAMU.....	30
6.1.1 OBECNÉ VLASTNOSTI.....	31
6.1.2 POČET DESETINNÝCH MÍST	31
6.1.3 EXPORT VÝPOČTU.....	31
6.1.4 VÝPOČET ZKRATŮ	31
6.1.5 TOPOLOGIE	31
6.1.6 CESTY	32
6.2 TVORBA SÍTĚ	32
6.2.1 NOVÁ SÍŤ	32
6.2.2 OTEVŘÍT STÁVAJÍCÍ SÍŤ.....	33
6.2.3 ULOŽIT.....	33
6.2.4 PRVKY SÍTĚ.....	33
6.2.5 KRESLENÍ SCHÉMATU	44
6.3 VÝPOČETNÍ METODY	46
6.3.1 CHOD SÍTĚ.....	46
6.3.2 CHOD SÍTĚ S KONSTANTNÍM VÝKONEM.....	47
6.3.3 PŘIPOJITELNOST ZÁTĚŽE	47
6.3.4 ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ PŘED A PO PŘIPOJENÍ POSUZOVANÉ ZÁTĚŽE	47
6.3.5 OSTATNÍ TYPY VÝPOČTŮ	47
7 VÝPOČET STÁVAJÍCÍHO STAVU SÍTĚ.....	48

7.1	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO STÁVAJÍCÍ STAV	49
8	VÝPOČTY SÍTĚ S PŘIPOJENÝM VĚTRNÝM PARKEM DRAHANY	51
8.1	PŘIPOJENÍ DO ROZVODNY BOSKOVICE (V-1A)	52
8.1.1	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO V-1A	52
8.2	PŘIPOJENÍ DO ROZVODNY BOSKOVICE (V-1B)	53
8.2.1	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO V-1B	54
8.3	PŘIPOJENÍ DO ROZVODNY BLANSKO (V-2)	55
8.3.1	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO V-2	55
8.4	PŘIPOJENÍ DO ROZVODNY KONICE (V-3).....	56
8.4.1	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO V-3	57
9	VÝBĚR VHODNÉHO PŘÍPOJNÉHO MÍSTA.....	58
9.1	ZPŮSOB PŘIPOJENÍ DO ROZVODNY BO.....	58
9.2	KONTROLA NESTANDARDNÍHO PROVOZNÍHO ZAPOJENÍ (NPZ).....	60
9.2.1	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO NPZ	60
9.2.2	VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO NPZ-QL3.....	61
10	ZÁVĚR.....	63
	POUŽITÁ LITERATURA	65
	PŘÍLOHA 1 – PARAMETRY PRVKŮ SÍTĚ	66
	PŘÍLOHA 2 – TABULKY VYPOČÍTANÝCH HODNOT.....	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 3-1</i> Větrná mapa České republiky [6].....	20
<i>Obr. 3-2</i> Histogram rychlosti větru [6].....	21
<i>Obr. 3-3</i> Rychlost větru v ČR ve výšce 100 m nad povrchem [14]	21
<i>Obr. 3-4</i> Mapa území vhodných pro stavbu větrných elektráren [14].....	22
<i>Obr. 5-1</i> Principiální schéma sítě pro lineární výpočty	25
<i>Obr. 6-1</i> Nastavení Možnosti.....	30
<i>Obr. 6-2</i> Výchozí obrazovka.....	32
<i>Obr. 6-3</i> Schéma napájecího uzlu	34
<i>Obr. 6-4</i> Parametry napájecího uzlu.....	34
<i>Obr. 6-5</i> Schéma transformátoru	35
<i>Obr. 6-6</i> Parametry transformátoru.....	35
<i>Obr. 6-7</i> Parametry transformátoru - úplné zadání.....	36
<i>Obr. 6-8</i> Schéma vedení	37
<i>Obr. 6-9</i> Parametry vedení.....	37
<i>Obr. 6-10</i> Schéma zátěže	38
<i>Obr. 6-11</i> Parametry zátěže	38
<i>Obr. 6-12</i> Schéma hradícího členu.....	39
<i>Obr. 6-13</i> Parametry hradícího členu.....	39
<i>Obr. 6-14</i> Schémata jednotlivých typů asynchronních strojů	40
<i>Obr. 6-15</i> Parametry asynchronního stroje	40
<i>Obr. 6-16</i> Schémata jednotlivých typů synchronních strojů	41
<i>Obr. 6-17</i> Parametry synchronního stroje	41
<i>Obr. 6-18</i> PQ diagram synchronního stroje	42
<i>Obr. 6-19</i> Provozní stavy synchronního stroje [4].....	42
<i>Obr. 6-20</i> Schéma zdroje proudu	42
<i>Obr. 6-21</i> Parametry zdroje proudu.....	43
<i>Obr. 6-22</i> Schéma zapnutého vypínače	43
<i>Obr. 6-23</i> Schéma vypnutého vypínače	44
<i>Obr. 6-24</i> Parametry vypínače.....	44
<i>Obr. 6-25</i> Parametry uzlu	45
<i>Obr. 6-26</i> Parametry uzlu s více vývody	45
<i>Obr. 7-1</i> Schéma základní sítě.....	48

<i>Obr. 7-2 Schéma sítě ve stávajícím stavu.....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 7-3 Změna napětí v uzlech sítě ve stávajícím stavu</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 8-1 Vzdálenosti větrného parku drahany od možných přípojných míst.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 8-2 Schéma sítě pro V-1a.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 8-3 Změna napětí v uzlech sítě při V-1a</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 8-4 Schéma sítě pro V-1b.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 8-5 Změna napětí v uzlech sítě při V-1b</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 8-6 Schéma sítě pro V-2.....</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 8-7 Změna napětí v uzlech sítě při V-2</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 8-8 Schéma sítě pro V-3.....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 8-9 Změna napětí v uzlech sítě při V-3</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 9-1 Schéma rozvodny BO s připojeným větrným parkem Drahany.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 9-2 Schématické znázornění uspořádání rozvodny BO s připojeným parkem Drahany.....</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 9-3 Schéma sítě s připojením parku Drahany při NPZ.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 9-4 Změna napětí v uzlech sítě při NPZ.....</i>	<i>61</i>
<i>Obr. 9-5 Změna napětí v uzlech sítě při NPZ-QL3</i>	<i>62</i>

SEZNAM TABULEK

Tab. 8-1 Nastavení synchronního stroje DR pro V-1a.....	52
Tab. 8-7 Nastavení synchronního stroje DR pro V-1b.....	53
Tab. 8-3 Nastavení synchronního stroje DR pro V-2.....	55
Tab. 8-4 Nastavení synchronního stroje DR pro V-3.....	56
Tab. 9-1 Nastavení synchronního stroje DR pro NPZ.....	60
Tab. 9-5 Nastavení synchronního stroje DR pro NPZ-QL3.....	61
Tab. P1-1 Tabulka napájecích uzlů.....	66
Tab. P1-2 Tabulka synchronních alternátorů.....	66
Tab. P1-3 Tabulka asynchronních alternátorů.....	66
Tab. P1-4 Tabulka transformátorů.....	66
Tab. P1-5 Tabulka vedení a kabelů.....	66
Tab. P1-6 Tabulka zátěží.....	67
Tab. P1-7 Tabulka vypínačů.....	67
Tab. P1-8 Transformátory pro park Drahaný.....	67
Tab. P1-9 Vedení pro park Drahaný.....	67
Tab. P2-1 Impedance prvků sítě, proud a výkon tekoucí jednotlivými prvky sítě – stávající stav.....	68
Tab. P2-2 Napětí, zkratová impedance a zkratový výkon v uzlech sítě – stávající stav.....	69
Tab. P2-3 Tabulka napětí před a po připojení zdrojů – stávající stav.....	69
Tab. P2-4 Impedance prvků sítě, proud a výkon tekoucí jednotlivými prvky sítě – V-1a.....	70
Tab. P2-5 Napětí, zkratová impedance a zkratový výkon v uzlech sítě – V-1a.....	71
Tab. P2-6 Tabulka napětí před a po připojení zdrojů – V-1a.....	71
Tab. P2-7 Impedance prvků sítě, proud a výkon tekoucí jednotlivými prvky sítě – V-1b.....	72
Tab. P2-8 Napětí, zkratová impedance a zkratový výkon v uzlech sítě – V-1b.....	73
Tab. P2-9 Tabulka napětí před a po připojení zdrojů – V-1b.....	73
Tab. P2-10 Impedance prvků sítě, proud a výkon tekoucí jednotlivými prvky sítě – V-2.....	74
Tab. P2-11 Napětí, zkratová impedance a zkratový výkon v uzlech sítě – V-2.....	75
Tab. P2-12 Tabulka napětí před a po připojení zdrojů – V-2.....	75
Tab. P2-13 Impedance prvků sítě, proud a výkon tekoucí jednotlivými prvky sítě – V-3.....	76
Tab. P2-14 Napětí, zkratová impedance a zkratový výkon v uzlech sítě – V-3.....	77
Tab. P2-15 Tabulka napětí před a po připojení zdrojů – V-3.....	77
Tab. P2-16 Impedance prvků sítě, proud a výkon tekoucí jednotlivými prvky sítě - NPZ.....	78
Tab. P2-17 Napětí, zkratová impedance a zkratový výkon v uzlech sítě - NPZ.....	79

<i>Tab. P2-18 Tabulka napětí před a po připojení zdrojů - NPZ.....</i>	<i>79</i>
<i>Tab. P2-19 Impedance prvků sítě, proud a výkon tekoucí jednotlivými prvky sítě – NPZ-QL3</i>	<i>80</i>
<i>Tab. P2-20 Napětí, zkratová impedance a zkratový výkon v uzlech sítě – NPZ-QL3</i>	<i>81</i>
<i>Tab. P2-21 Tabulka napětí před a po připojení zdrojů – NPZ-QL3</i>	<i>81</i>

SEZNAM SYMBOLŮ

značka	veličina	jednotka
B_{km}	příčná susceptance vedení na 1 km délky	$S \cdot km^{-1}$
B/km	příčná susceptance vedení na 1 km délky	$S \cdot km^{-1}$
I	efektivní hodnota proudu	A
\bar{I}	fázor efektivní hodnoty proudu	A
$[\bar{I}]$	matice efektivních hodnot fázorů uzlových proudů	A
$\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3, \bar{I}_4$	efektivní hodnoty fázorů uzlových proudů	A
I_1	proud první harmonické zdroje proudu	A
I_{max}	maximální zatěžovací proud	A
I_n	proud n-té harmonické zdroje proudu	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 transformátoru nakrátko	W
Q	jalový výkon	VA
Q_c	kapacitní jalový 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	$\Omega \cdot km^{-1}$
R/km	podélný odpor vedení na 1 km	$\Omega \cdot km^{-1}$
S	zdánlivý výkon	VA
S_k	zkratový výkon sítě	VA
S_t	jmenovitý výkon transformátoru	VA
S_{zkr}	zkratový výkon	VA
U	efektivní hodnota napětí	V
\bar{U}	fázor efektivní hodnoty napětí	V
$[\bar{U}]$	matice efektivních hodnot fázorů uzlových napětí	V
$\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_4$	efektivní hodnoty fázorů 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_{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	$\Omega \cdot km^{-1}$
X/km	podélná reaktance vedení na 1 km	$\Omega \cdot km^{-1}$
\bar{Y}	uzlová admitance sítě	S
$[\bar{Y}]$	matice hodnot fázorů uzlových admitancí	S

\bar{Y}_{11} , až \bar{Y}_{44}	fázory uzlových admitancí	S
Z	impedance	Ω
Z_k	efektivní hodnota zkratové impedance	Ω
a_{11} , až a_{33}	prvky matice	-
b_1, b_2, b_3	prvky matice pravých stran	-
$\cos \varphi$	účinník	-
i	index čísla řádku matice	-
i_o	proud transformátoru naprázdno	%
j	index čísla sloupce matice	-
k_1, k_2, k_3	koeficienty	-
n	počet	-
p	reaktanční koeficient	%
u_k	napětí transformátoru nakrátko	%
x_1, x_2, x_3	neznámé rovnic	-
\bar{y}_{10} , až \bar{y}_{40}	admitance prvků sítě vůči zemi	S
\bar{y}_{12} , až \bar{y}_{41}	podélná admitance prvků sítě	S
δU_1	úbytek napětí před připojením zdrojů vůči jmenovitému napětí	%
δU_2	úbytek napětí po připojení zdrojů vůči jmenovitému napětí	%
δU_n	úbytek napětí vůči jmenovitému napětí	%
$\delta_{\delta U}$	rozdíl úbytků napětí před a po připojení zdroje	%
φ_I	úhel natočení proudu	°
φ_U	úhel natočení napětí	°
φ_Z	úhel natočení impedance	°
φ_{Zk}	úhel natočení zkratové impedance	°

SEZNAM ZKRATEK

Zkratka	Význam zkratky
BK	rozvodna Blansko
BO	rozvodna Boskovice
HDO	hromadné dálkové ovládání
KNC	rozvodna Konice
OKC	rozvodna Otrokovice
PRT	rozvodna Prostějov
VOP	rozvodna Velké Opatovice
NN	hladina nízkého napětí
NZAD	rozvodna Nezamyslice - České Dráhy
VN	hladina vysokého napětí
VTE	větrná elektrárna
VVN	hladina velmi vysokého napětí
ZDO	rozvodna Zdounky

1 ÚVOD

Vzhledem ke stále rostoucí poptávce po elektrické energii je nutno zvyšovat také její výrobu. Toto je možno provádět buď modernizací, resp. zvyšováním účinnosti stávajících zdrojů, nebo výstavbou nových zdrojů. Výroba elektrické energie je z největší části postavena na neobnovitelných zdrojích, jimiž jsou nejčastěji uhlí, ropa, zemní plyn a také uran. Jistým způsobem jak snížit spotřebu těchto primárních neobnovitelných zdrojů je využití zdrojů obnovitelných, jimiž jsou v České republice nejčastěji voda, vítr, sluneční záření a také biomasa. Tyto zdroje lze v ČR použít pouze jako doplňkové, jelikož jejich výkon silně závisí na okamžitém stavu počasí, jenž nelze žádným zcela spolehlivým způsobem předpovědět. Výjimku tvoří pouze tepelné elektrárny na biomasu, které pracují jako klasické tepelné elektrárny.

Při připojování těchto zdrojů do elektrizační soustavy je třeba brát v úvahu její omezení z hlediska kapacity přenesené energie v jednotlivých úsecích vedení. Z tohoto důvodu je nutno již při posuzování lokality pro výstavbu nového zdroje uvažovat schopnost vyvedení vyrobeného výkonu, případně realizace nového vedení či posílení stávajícího vedení. Z těchto důvodů je nutno před realizací vypracovat podrobnou studii o vlivech připojení daného zdroje, případně zdrojů, na elektrizační soustavu. Toto je nutno posuzovat z různých hledisek, kterými jsou například změna napětí v uzlech sítě, nové rozložení výkonů, změna zkratových poměrů, vznik nesymetrie, flikru a vyšších harmonických. Jedním z důležitých faktorů je také útlum signálu HDO. Studie se dále zabývá volbou typu připojovacího vedení od elektrárny, které je nejčastěji ovlivněno majetkoprávními vztahy a reliéfem povrchu. Pro vyvedení menších výkonů se zpravidla používá kabelového vedení oproti venkovnímu a to z důvodu menší poruchovosti a také z minimálního zásahu do rázu krajiny.

2 PŘIPOJOVÁNÍ ZDROJŮ DO ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

Připojujeme-li nový zdroj do sítě, je nutno při návrhu již brát v úvahu předpokládaný výkon zdroje a volbu vhodné napěťové hladiny, do níž bude zdroj připojen. Důležitým faktorem je schopnost vyvedení výkonu do dané napěťové hladiny. Obecně lze říct, že pro zdroj vyšších výkonů je vhodnější vyšší napěťová hladina, avšak dalším důležitým aspektem je lokalita daného zdroje.

2.1 Připojování do přenosové soustavy

Při připojování zdrojů velkého výkonu je vhodné z důvodu velké přenosové kapacity a nízkých ztrát volit připojení do přenosové soustavy. Stavíme-li zdroj velkého výkonu (stovky až tisíce megawatt), jeho náklady jsou velmi vysoké, a tedy náklady na výstavbu vedení jsou vzhledem k těmto nákladům zanedbatelné. Toto připojení je vždy provedeno novým připojením do rozvodny.

2.2 Připojování do distribuční soustavy 110 kV

Pro zdroje středních výkonů (desítky až stovky megawatt) je připojení do přenosové soustavy nákladné, vhodnější je připojit tyto zdroje do distribuční soustavy 110 kV. Připojení se provádí do nejbližší rozvodny, je však možné provést i připojení typu T na stožáru, nebo zasmyčkování na stávající vedení. Připojení k této napěťové hladině se také používá pro více menších zdrojů, které jsou mezi sebou lokálně propojeny, následně jsou všechny přes jeden transformátor připojeny do soustavy. Tento způsob se využívá například u větrných parků a fotovoltaických elektráren větších výkonů.

2.3 Připojování do distribuční soustavy VN

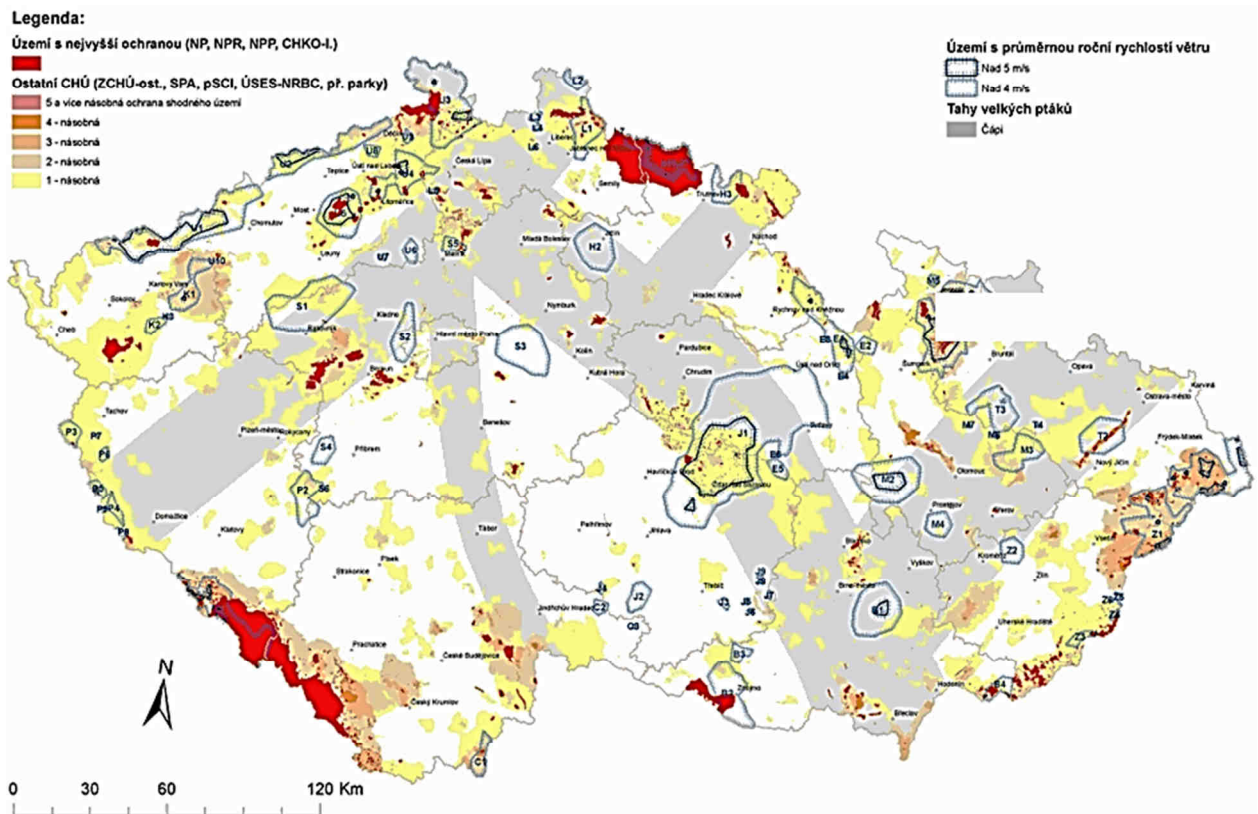
Pro zdroje malých výkonů (jednotky až desítky megawatt) je vhodné připojení do distribuční sítě 22 kV (případně 35 kV) a to nejčastěji T odbočkou. Připojení do distribuční sítě VN je poměrně jednoduché, a to z důvodu, že pokrytí touto sítí je velmi husté. Vzdálenosti od zdrojů do místa připojení k síti se pohybují v řádu jednotek kilometrů. V posledních letech bylo připojeno do této napěťové hladiny velké množství obnovitelných zdrojů a to zejména zdrojů fotovoltaických.

2.4 Připojování do soustavy NN

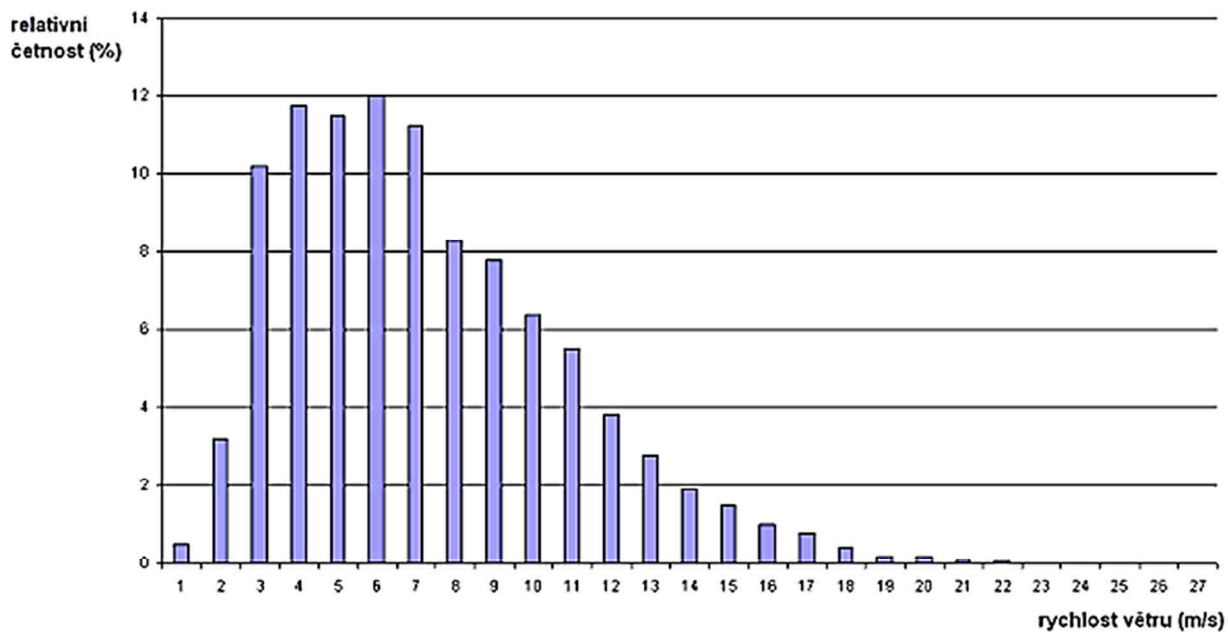
Mikro zdroje, tedy zdroje výkonů do 100 kW, lze připojovat také do sítě nízkého napětí, což je výhodné zejména z ekonomického hlediska. Tyto zdroje bývají nejčastěji umístěny u odběratelů na této napěťové hladině. Připojení do sítě je provedeno buď stávající instalací, nebo přípojkou NN, která má délky řádově desítky metrů.

3 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

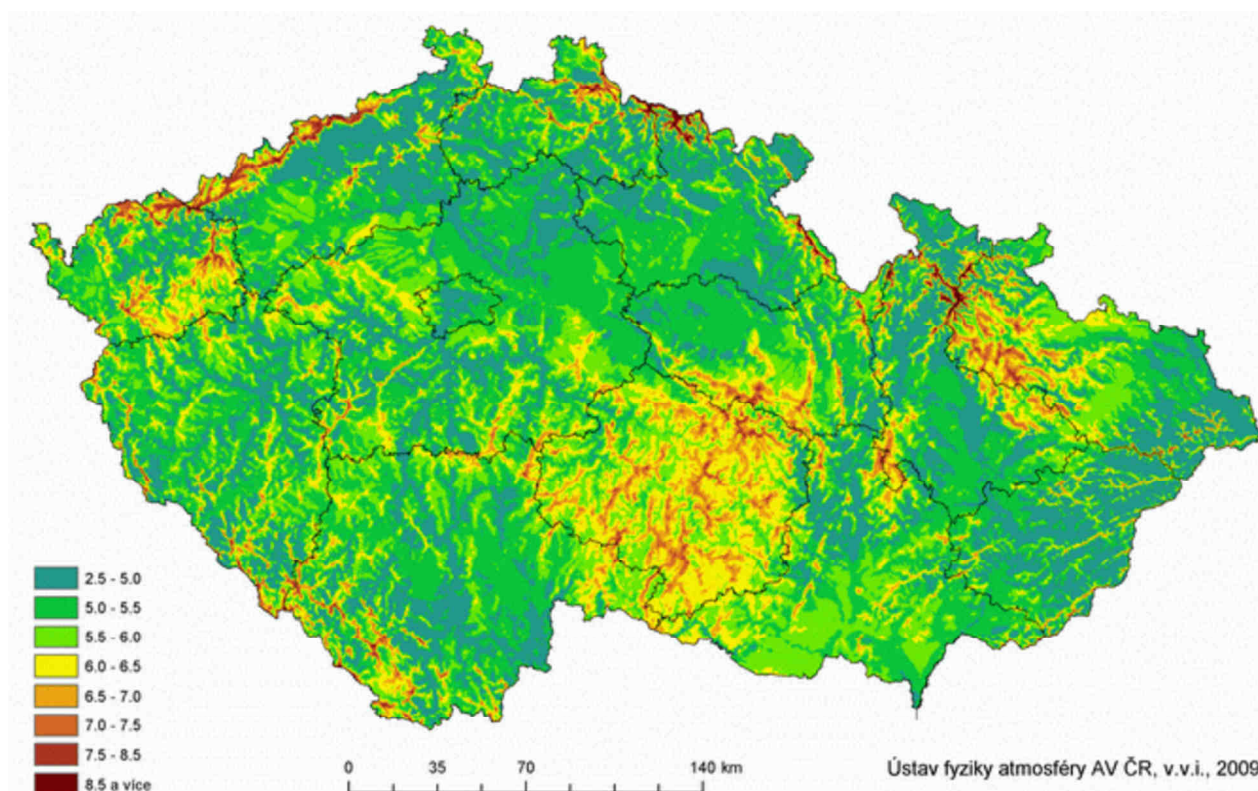
Větrná energie byla dříve využívána například u větrných mlýnů, v dnešní době tuto energii využíváme jako primární energii pro výrobu elektrické energie. Výhodou větrných elektráren je ekologická přeměna energie větru na elektrickou energii. Nevýhodou je však nestálost výkonu větru v čase, omezené pásmo výroby v závislosti na rychlosti větru, a také omezení geografické. Dle [8] je rychlost větru 3 až $5,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ minimální rychlost pro dodávání elektrické energie do sítě, jmenovitý výkon se obvykle dosahuje při rychlostech větru 13 až $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při rychlosti větru nad $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se větrné elektrárny odstavují z důvodu nebezpečí poškození vysokými otáčkami lopatek. Stojící větrná elektrárna musí odolat větru o rychlosti $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na Obr. 3-1 je zobrazena větrná mapa ČR, na Obr. 3-2 je zobrazen histogram rychlosti větru, na Obr. 3-3 je zobrazena průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad povrchem a na Obr. 3-4 je zobrazena mapa území vhodných pro výstavbu větrných elektráren v ČR, ze které je patrné, že v ČR je pouze poměrně malá část území vhodná pro výstavbu větrných elektráren.



Obr. 3-1 Větrná mapa České republiky [6]



Obr. 3-2 Histogram rychlosti větru [6]



Obr. 3-3 Rychlost větru v ČR ve výšce 100 m nad povrchem [14]



Obr. 3-4 Mapa území vhodných pro stavbu větrných elektráren [14]

Při výstavbě větrných elektráren se většinou z ekonomického hlediska využívá připojení přes jedno místo do sítě pro více elektráren, tzv. větrné parky, které jsou vhodné také z topografického hlediska. Pro elektrizační soustavu toto připojení však není příliš vhodné, jelikož výkon zdrojů kolísá v čase stejně a tedy výsledná změna napětí v přípojném místě může být poměrně velká.

3.1 Vlivy větrných elektráren na provoz elektrizační soustavy

Větrné elektrárny a farmy větrných elektráren mohou mít dle [6] následující vlivy na elektrickou síť:

- Přetěžování sítí - je třeba dostatečně dimenzované přípojně místo pro vyvedení výkonu.
- Kolísání napětí - napětí je ovlivněno kompenzací jednotlivých strojů či celé farmy větrných elektráren.
- Zvyšování zkratových poměrů - připojením větrné elektrárny do přípojněho místa se zvýší zkratové poměry v síti.
- Kvalita dodávky - větrné elektrárny jsou vybaveny regulací založenou na výkonové elektronice a jsou tedy často i rušivými zdroji v elektrické síti (flicker, vyšší harmonické, útlum signálu HDO, aj.)
- Při začlenění větrné elektrárny do pokrývání diagramu zatížení je dodávka nestabilní a závisí na povětrnostních podmínkách a proto je třeba zajistit dostatečné množství regulačního výkonu pro pokrývání odchylek způsobených větrnými elektrárnami

Časté kolísání napětí, neboli flicker, způsobuje změny světelného toku u zdrojů světla a je nepříjemný pro lidské oko, má dokonce vliv na psychiku lidí. Větrné elektrárny jsou jedním ze zdrojů kolísání napětí, a proto se musí provést posouzení, nejsou-li překročeny povolené hodnoty.

Dlouhodobá míra činitele flickeru nesmí dle [6] přesáhnout v místě připojení elektrárny hodnotu 0,46.

Aby byla zajištěna správná funkce zařízení využívající signál HDO, nesmí úroveň signálu klesnout pod požadovanou hodnotu. Pokud jsou překročeny povolené limity útlumu signálu HDO, je třeba provést opatření, které vede k odstranění toho nepříznivého ovlivnění, a to použitím podpůrné impedance, která upravuje impedanční poměry v daných částech sítě s ohledem na jejich zrovnoměnění a zejména zkvalitnění šíření signálu HDO.

Proudy vyšších harmonických vznikají především u zařízení, kde je využita výkonová elektronika. Harmonické proudy vyráběné těmito zařízeními musí udávat výrobce, avšak skutečné hodnoty je třeba změřit až po připojení zařízení do sítě. V dnešní době výrobci VTE udávají u svých zařízení hodnotu celkového činitele zkreslení vyššími harmonickými menší než 5 %.

4 CÍLE PRÁCE

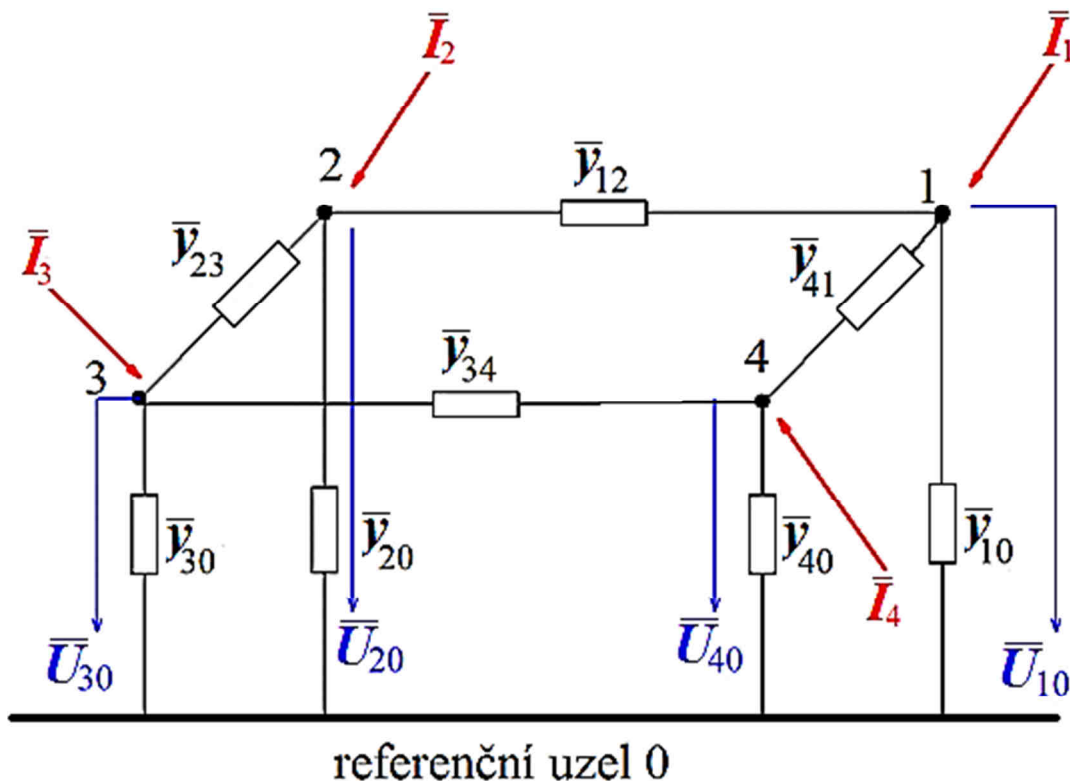
Cílem této diplomové práce je seznámení se s výpočetními metodami pro řešení distribučních sítí v ustáleném stavu a to převážně sítí 110 kV. Dalším cílem práce je seznámení se s výpočetním programem E-Vlivy od firmy EnerGoConsult ČB, s.r.o., který následně využijeme k modelaci stávajícího stavu zadané sítě 110 kV včetně zdrojů provozovaných v současné době. Dále se seznámíme s podmínkami připojení nových zdrojů do sítě 110 kV a namodelujeme pomocí programu E-Vlivy možné varianty připojení větrného parku Drahaný o celkovém výkonu 45 MW. Výsledkem práce je posouzení připojitelnosti a určení vhodného přípojného místa pro park Drahaný. Posouzení bude provedeno z hlediska napěťové změny v uzlech modelované distribuční sítě 110 kV, a také z hlediska změny zatížení prvků této sítě.

5 METODY ŘEŠENÍ SÍTÍ V USTÁLENÉM STAVU

Tato kapitola vychází z [2] a [3]. Pro řešení sítí se používá několik způsobů výpočtu, jenž se liší v rychlosti a v přesnosti získaných výsledků. Výpočty sítí lze rozdělit na dvě základní skupiny a to lineární a nelineární. Jelikož program E-Vlivy řeší ustálený stav jako lineární výpočet pomocí metody superpozice a Gaussovy eliminace budeme se v této kapitole zabývat především těmito metodami.

5.1 Lineární výpočty

U těchto výpočtů se vychází z předpokladu, že známe dodávané a odebírané proudy v jednotlivých uzlech sítě a příčné i podélné admitance všech prvků. Pro náhradu vedení využíváme nejčastěji Π článek, pro transformátory T článek, někdy pro zjednodušení výpočtu lze použít pro transformátory také Γ článek, který je však méně přesný. Příčné admitance prvků jsou ve schématu podle Obr. 5.1 zapojeny mezi daný uzel a zem, která bývá většinou také uzlem referenčním a předpokládá se pro ni nulový potenciál. Při výpočtu je nutno brát ohled na to, že všechny prvky musí být přepočítány na jednu vztažnou napěťovou hladinu.



Obr. 5-1 Principiální schéma sítě pro lineární výpočty

Síť zobrazenou na Obr. 5-1 můžeme popsat následujícími rovnicemi podle metody uzlových napětí a dostáváme tak soustavu rovnic (5.1) dle [3]

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \bar{Y}_{14} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{41} & \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Kde \bar{U}_1 až \bar{U}_4 jsou námi hledaná uzlová napětí a \bar{I}_1 až \bar{I}_4 jsou zadané proudy, kde znaménkem + značíme dodávky a znaménkem – značíme odběry.

Soustavu rovnic (5.1) můžeme dle [3] zkráceně zapsat v maticovém tvaru jako rovnicí (5.2)

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}] \cdot [\bar{U}] \quad (5.2)$$

Prvky admitanční uzlové matice $[\bar{Y}]$ sestavíme podle 2. Kirchhoffova zákona tak, že i -tý diagonální prvek \bar{Y}_{ii} sestavíme jako součet admitancí připojených do i -tého uzlu. Mimodiagonální prvek \bar{Y}_{ij} kdy $i \neq j$ sestavíme tak, že záporně sečteme všechny admitance větví spojujících i -tý a j -tý uzel. Vzájemné induktivní vazby mezi větvemi neuvažujeme.

Pro lepší přehlednost značíme prvky admitanční uzlové matice, stejně jako uzlové veličiny velkými písmeny, zatímco admitance jednotlivých větví a jím příslušné větvové proudy značíme malými písmeny.

Soustavu rovnic z maticového zápisu (5.2) můžeme dle [3] též zapsat ve tvaru rovnice (5.3).

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (5.3)$$

Kde n je počet uzlů v síti bez referenčního uzlu, kterému pro zjednodušení přiřazujeme číslo 0.

V případě, kdybychom neuvažovali z důvodu zjednodušení příčné admitance prvků sítě, bude matice $[\bar{Y}]$ singulární, což znamená, že její sloupce a řádky jsou lineárně závislé. Tuto závislost lze odstranit eliminací bilančního uzlu, což je takový uzel, který hradí neznámé proudy tekoucí příčnými admitancemi a vyrovnává tak bilanci mezi dodávkou a odběrem. Bilanční uzel má vždy známé napětí a je mu přiřazeno číslo 1. Pak lze soustavu rovnic (5.1) dle [3] upravit do tvaru uvedeného v (5.4), který lze také upravit do tvaru uvedeného v (5.5).

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{21} \cdot \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{31} \cdot \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{41} \cdot \bar{U}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

$$\bar{I}_i = \bar{Y}_{i1} \cdot \bar{U}_1 + \sum_{j=2}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (5.5)$$

Po výpočtu neznámých napětí \bar{U}_2 až \bar{U}_n můžeme dopočítat neznámý proud tekoucí do bilančního uzlu, a to tak, že vypočítáme všechny ostatní proudy větví a z nich provedeme počet námi hledaného proudu bilančního uzlu.

5.1.1 Řešení soustav lineárních rovnic

Pro řešení lineárních soustav máme k dispozici dvě skupiny matematických nástrojů. První skupinou jsou metody přímé, které soustavu řeší po jistém konečném počtu kroků a jejich přesnost je závislá pouze na míře zaokrouhlování při výpočtu. V ideálním případě lze prohlásit, že se touto metodou dostaneme na přesný výsledek řešení, což však v praxi nelze vždy dosáhnout, jelikož je nutno výpočet vždy provést na konečný počet desetinných míst, což způsobí menší či větší chybu. Pro konečný výsledek se tyto chyby mohou akumulovat nebo také rušit. Nejčastěji používanou metodou řešení je Gaussova eliminace.

Druhou skupinou matematických nástrojů jsou iterační metody, které na rozdíl od metod přímých nevedou k přesnému řešení po konečném předem daném počtu kroků. Principem iteračních metod je volba počáteční aproximace, která se poté v každém kroku postupně zlepšuje. Tímto se přibližujeme k řešení, kterého bychom obecně dosáhli v limitě. Jelikož ovšem provádíme výpočet na konečný počet kroků, je výsledek pouze přibližným řešením dané soustavy. Výpočet je obvykle ukončen při dosažení požadované přesnosti, která je definována jako rozdíl výsledků dvou po sobě jdoucích iteračních kroků.

5.1.1.1 Gaussova eliminační metoda

Základní myšlenkou této metody je, že za pomoci elementárních matematických operací provedeme úpravu soustavy rovnic na tzv. horní trojúhelníkový tvar, což je takový tvar, jenž pod hlavní diagonálou obsahuje pouze nulové členy, s tím také souvisí rozhodnutí, zda je soustava řešitelná a určení počtu neznámých. Horního trojúhelníkového tvaru dosáhneme přičítáním vhodných násobků prvního řádku k danému řádku tak, abychom eliminovali první prvek matice ve všech ostatních řádcích. První řádek zůstává neměnný. Dále za pomoci vhodných násobků provedeme obdobný postup s druhým řádkem, tak abychom eliminovali druhý prvek u každého dalšího řádku. První a druhý řádek se již nemění. Tento postup aplikujeme pro každý další až pro $n-1$ řádek, kde n značí počet řádků matice, resp. počet nezávislých rovnic. Následný zpětný výpočet neznámých z Gaussovy eliminace nazýváme zpětnou substitucí, nebo zpětným chodem.

Příklad použití Gaussovy eliminační metody provedeme na soustavě tří rovnic o třech neznámých x_1 , x_2 a x_3 , jak je znázorněno ve vztahu 5.6. Úpravu soustavy rovnic na horní trojúhelníkovou matici provedeme tak, že v prvním kroku vynásobíme první řádek koeficientem k_1 tak, aby po součtu s druhým řádkem bylo a_{21} rovno nule změněné koeficienty druhého a třetího řádku označíme \sim . Ve druhém kroku ponásobíme první řádek matice takovým koeficientem k_2 , aby po součtu s třetím řádkem byl koeficient a_{31} roven nule. Ve třetím kroku vynásobíme druhý řádek matice takovým koeficientem k_3 , aby po součtu s třetím řádkem bylo \widetilde{a}_{32} bylo rovno nule, změněné koeficienty třetího řádku označíme $\widehat{\cdot}$.

$$\left[\begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & b_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & b_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & b_3 \end{array} \right] \sim \left[\begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & b_1 \\ 0 & \widetilde{a}_{22} & \widetilde{a}_{23} & \widetilde{b}_2 \\ 0 & \widetilde{a}_{32} & \widetilde{a}_{33} & \widetilde{b}_3 \end{array} \right] \sim \left[\begin{array}{ccc|c} a_{11} & a_{12} & a_{13} & b_1 \\ 0 & \widetilde{a}_{22} & \widetilde{a}_{23} & \widetilde{b}_2 \\ 0 & 0 & \widehat{a}_{33} & \widehat{b}_3 \end{array} \right] \quad (5.6)$$

5.1.1.2 Metoda superpozice

Metoda superpozice vychází z tzv. nezávislého působení, který je obecným fyzikálním principem platným v jakékoliv lineární soustavě, která nám říká, že účinek součtu příčin je roven součtu účinků jednotlivých příčin působících samostatně.

V našem případě jsou příčinami napětí a proudy nezávislých zdrojů odezvami jsou napětí a proudy prvků obvodu. Dílčí hodnoty tedy dostaneme tak, že provedeme výpočet samostatně pro každý zdroj, přičemž ostatní napěťové zdroje odpojíme a proudové zkratujeme. Výsledné hodnoty jsou rovny algebraickým součtům hodnot dílčích, kdy bereme ohled na jejich směr vzhledem ke směru hodnoty výsledné. Metodu superpozice nemůžeme použít v nelineárním obvodu.

5.1.1.3 Iterační metody

Tyto metody se používají pro rychlejší dosažení výsledku a zmenšení nároků na výpočetní techniku u rozsáhlých výpočtů. Nejčastěji používanými metodami jsou Jacobiho metoda, která však nemusí vždy konvergovat a Gauss-Seidlova iterační metoda, která je velmi podobná metodě Jacobiho. Odlišnost je v tom, že při výpočtu další aproximace používáme vždy nejnovější přibližné hodnoty, které máme k dispozici. Obecně platí, že Gauss-Seidlova metoda konverguje rychleji, než Jacobiho a proto se také častěji používá. Z pohledu řešení velkých soustav na výpočetních jednotkách je výhodou Gauss-Seidlovy metody to, že pro uložení přibližného řešení nám stačí jediné přepisovatelné pole, zatímco u Jacobiho metody musíme mít k dispozici dvě pole, jedno pro starou a jedno pro novou aproximaci řešení. Podrobně jsou tyto metody popsány v [2].

5.2 Nelineární výpočty

Pokud máme zadány činné a jalové výkony v uzlech sítě (dodávky a odběry), napětí bilančního uzlu a příslušné admitance prvků (podélné i příčné) vede výpočet neznámých napětí k řešení soustavy nelineárních, resp. kvadratických rovnic. Po vypočtení hledaných uzlových napětí určíme toky výkonů v síti a výkonové ztráty.

Při výpočtu ustáleného chodu Gauss-Seidlovou metodou vyjádříme z první rovnice první neznámou, z druhé rovnice druhou neznámou, až z m -té rovnice n -tou neznámou. Následně dosadíme nultou aproximaci (odhad výsledků, nebo kořeny z výpočtů sítě provedené jinou metodou nebo pro změněnou konfiguraci) a v každém dalším kroku předchodí výslednou aproximaci. Výpočet ukončíme až rozdíl dvou po sobě jdoucích aproximací je menší nebo roven požadované přesnosti výpočtu. Výhodou Gauss-Seidlovy metody je jednoduchý algoritmus výpočtu a oproti ostatním metodám má poměrně krátkou dobu výpočtu na iterační krok. Nevýhodou je, že zejména u málo zauzlených sítí relativně pomalu konverguje, což může ve spojitosti s tím, že musíme volit velmi vysokou přesnost výpočtu, protože by mohlo dojít k tomu, že by nepřesně vypočítaná napětí způsobila značnou chybu v tocích výkonu a jejich bilanci.

Při výpočtu Newtonovou, nebo též Newton-Raphsonovou iterační metodou jsou tyto nedostatky do jisté míry eliminovány. Výhodou Newtonovy iterační metody je, že velmi rychle konverguje a počet potřebných iterací je závislý zejména na požadované přesnosti a minimálně závisí na velikosti požadované sítě. Mezi nevýhody této metody patří poměrně značné nároky na paměť výpočetní techniky, vzhledem k rozsáhlým výpočtům diferenciálních kořenů. Zároveň současné řešení soustavy rovnic značně prodlužuje čas výpočtu, proto, pokud nepožadujeme vysokou přesnost výpočtu, využíváme zjednodušení, které uvažuje to, že u sítí převažuje podélná

reaktance vedení a transformátorů a tedy se při malých změnách absolutní hodnoty napětí činné výkony v uzlech mění pouze minimálně. Obdobně platí, že pro malé změny úhlu uzlových napětí se pouze zanedbatelně mění jalové výkony. Zavedením tohoto zjednodušení se nám soustava rovnic zmenší na polovinu, což přinese velké snížení nároků na paměť a také na výpočetní výkon.

V praxi dle [9] výpočetní softwary však kombinují tyto dvě metody tak, že pro úvodní přiblížení využijeme Gauss-Seidlovu iterační metodu a po několika iteracích přejdeme na výpočet Newtonovy iterační metody. Toto je výhodné především pro úsporu výpočetního výkonu a tedy i času výpočtu.

Podrobně jsou tyto metody popsány v [2] a [3] a tato práce se jimi dále zabývat nebude.

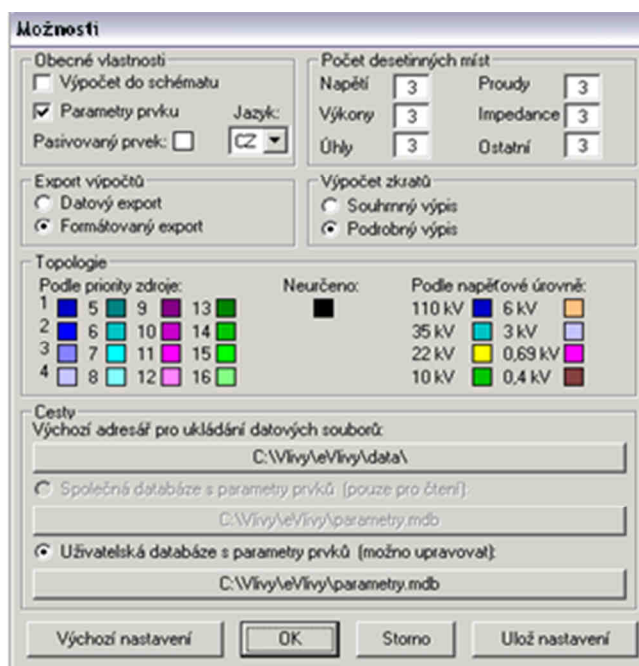
6 VÝPOČETNÍ PROGRAM E-VLIVY

Tato kapitola je zpracována na základě [4] a [5]. Program E-Vlivy od firmy EnerGoConsult ČB, s.r.o. (EGC) je určen k modelování vlivu připojovaných zařízení na úroveň a změnu sledovaných parametrů kvality v sítích. Účelem tohoto programu je poskytnutí analýzy nově vznikajících, nebo stávajících sítí a změně, odebrání, či přidání zařízení do těchto sítí. Další funkcí programu je posouzení zpětných vlivů těchto zařízení a změn na soustavu.

6.1 Možnosti programu

Tento program má pro uživatele k dispozici nástroj pro ukládání svého uživatelského nastavení, které bude respektováno při každém spuštění programu. Program rozlišuje dva uživatelské módy: administrátorský (ADMIN) a uživatelský (USER). Tyto módy jsou rozlišeny automaticky dle přístupových práv uživatele k adresáři, v němž je program nainstalován. Má-li uživatel právo zápisu do tohoto adresáře je program spuštěn v administrátorském módu. Vlastní uživatelské nastavení se provádí v okně možnosti, které se aktivuje v záložce úpravy a je zobrazené na Obr. 6-1. Toto okno je rozděleno do šesti sekcí.

- Obecné vlastnosti
- Počet desetinných míst
- Export výpočtu
- Výpočet zkratu
- Topologie
- Cesty



Obr. 6-1 Nastavení Možnosti

6.1.1 Obecné vlastnosti

Tato sekce obsahuje tři základní body.

6.1.1.1 Výpočet do schématu

Touto položkou lze nastavit, zda výpočty budou do schématu sítě vypisovány v omezené míře, nebo vůbec. Pokud je toto nastavení potvrzeno, budou výsledky zapsány do schématu i do souhrnných tabulek. Pokud políčko zaškrtnuto není, budou zapsány pouze do tabulek.

6.1.1.2 Parametry prvku

Potvrzením této položky nastavíme automatické zobrazení formuláře s parametry prvku při jeho zakreslení do schématu. Pokud tato položka není zaškrtnuta, objekt se zakreslí bez otevření formuláře s parametry.

6.1.1.3 Pasivovaný prvek

Pomocí této sekce lze nastavit barvu pasivovaného prvku ve schématu.

6.1.2 Počet desetinných míst

V této položce lze nastavit počet desetinných míst zobrazených u jednotlivých vypisovaných veličin po výpočtu. Toto se provádí zadáním číslovky do textového pole příslušné veličiny.

6.1.3 Export výpočtu

Pomocí stránky Windows je možno přenášet tabulky výsledků do jiných programů. Datový export lze provést do jakékoliv aplikace, formátovaný export je velmi vhodný pro vkládání do programu MS Word.

6.1.4 Výpočet zkratů

Jsou zde k dispozici dvě volby prezentací výsledků vypočítaných zkratů.

- a. Souhrnný výpis – obsahuje základní údaje
- b. Podrobný výpis – zahrnuje mimo výsledných hodnot napětí a proudů při zvoleném typu poruchy i sousledné, zpětné a netočivé složky těchto veličin.

6.1.5 Topologie

V této části můžeme definovat barvy, jimiž budou vykreslovány prvky sítě buď k danému zdroji, nebo dle napěťových úrovní. Položka s názvem Neurčeno specifikuje barvu prvků, kdy je topologie schématu vypnuta.

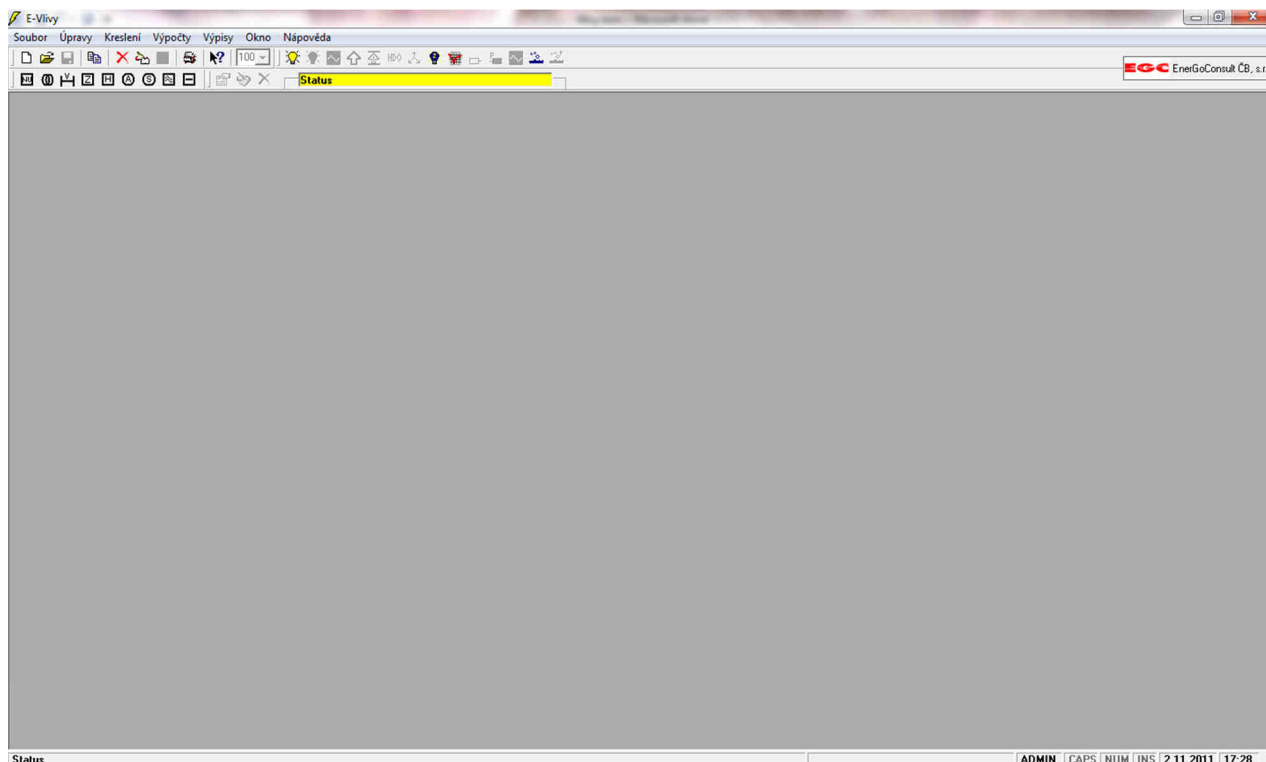
6.1.6 Cesty

Zde je nutno nastavit složky s datovými soubory a také složky obsahující soubory s parametry. Tlačítkem Ulož nastavení jsou uloženy změny aktuálně nastavovaného okna. Pokud je tento úkon proveden v režimu ADMIN uloží se nastavení do souboru eVlivy.ini, čímž je ovlivněno výchozí nastavení pro všechny uživatele. Pokud je toto provedeno v režimu USER, změny se uloží do příslušných registrů daného uživatele a na ostatní uživatele nemají vliv.

Pokud jsou změny uloženy pouze tlačítkem OK, uloží se pouze na dobu běhu programu, nikoli pro další spuštění.

6.2 Tvorba sítě

Tvorba sítě je důležitá pro každý nový model sítě nebo pro úpravu stávajícího modelu sítě. V této kapitole se budeme zabývat vytvořením nového projektu krok po kroku. Výchozí obrazovka programu E-Vlivy je znázorněna na Obr. 6-2.



Obr. 6-2 Výchozí obrazovka

6.2.1 Nová síť

Nový projekt vytvoříme najetím na položku Nový, v menu Soubor, čímž si otevřeme pracovní plochu pro tvorbu schématu. Nové schéma je pojmenováno Dokument n , kde n značí pořadí nově otevřené sítě.

6.2.2 Otevřít stávající síť

Již uložený projekt lze otevřít najetím na položku Otevřít v menu Soubor. Přepínání mezi jednotlivými otevřenými sítěmi lze provést ve spodní části menu Okno. V horní části tohoto menu lze vybrat uspořádání oken na ploše programu.

6.2.3 Uložit

Uložení vytvořené sítě lze provést položkou Uložit v menu Soubor, která slouží k uložení provedených změn v otevřených souborech. Je-li ukládána nová síť, je programem automaticky nabídnuto okno Uložit jako, kde zadáváme vlastní jméno ukládané sítě. Tlačítko Uložit jako je možné použít i pro uložení již otevřeného souboru pod jiným názvem a tím vytvořit kopii nebo novější verzi již jednou uložené sítě.

6.2.4 Prvky sítě

Program umožňuje využívat následující stavební prvky sítě, které mají u svého názvu zobrazeny v závorce klávesové zkratky pro rychlejší vyvolání:

- Napájecí uzel (F2)
- Transformátor (F3)
- Vedení (F4)
- Zátěž (F5)
- Hradící člen (F6)
- Asynchronní stroj (F7)
- Synchronní stroj (F8)
- Zdroj proud (F11)
- Vypínač (F12)

Jednotlivé prvky lze vkládat třemi způsoby:

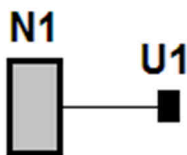
- Kliknutím na příslušnou ikonu na liště
- Výběrem položky v menu Úpravy
- Stiskem příslušné klávesy uvedené v závorce

Na plochu se vybraný prvek umísťuje kliknutím levého tlačítka myši, což na ploše vytvoří obrázek daného prvku, a pokud je zaškrtnuta v nastavení možnost Parametry prvku, otevře se okno pro zadávání parametrů daného prvku.

Při chybném zadání prvku nebo nezadání důležitého prvku se pole daného parametru zobrazí červeně. Všechny prvky mimo napájecí uzel lze napojit pouze do existujícího kusu sítě na existující uzel, což znamená, že je nutno nejprve vybrat uzel, poté teprve vybrat prvek, který do daného uzlu chceme připojit. Po vytvoření prvku nám automaticky vznikne další uzel, který lze přejmenovat a lze v něm nastavit počet vývodů.

6.2.4.1 Napájecí uzel

Schématické zobrazení napájecího uzlu je zobrazeno na Obr. 6-3 a oknu s parametry napájecího uzlu je zobrazeno na Obr. 6-4.



Obr. 6-3 Schéma napájecího uzlu

Obr. 6-4 Parametry napájecího uzlu

Kde jednotlivé pole značí:

U_n [kV]	jmenovité napětí
U_{prov} [kV]	provozní napětí
I_{zkr} [kA]	zkratový proud
S_{zkr} [MVA]	zkratový výkon
R_0/R_1 [Ω]	poměr netočivé a sousledné složky rezistance
X_0/X_1 [Ω]	poměr netočivé a sousledné složky reaktance
R/X [Ω]	poměr činné a jalové složky vnitřní impedance

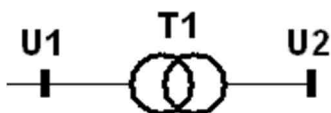
Pokud zadáme jednu z hodnot do polí S_{zkr} nebo I_{zkr} druhá hodnota se dopočte automaticky. Vybereme-li již jednou vytvořený napájecí uzel z menu Název napájecího uzlu, hodnoty do ostatních polí budou doplněny automaticky a lze je měnit. Je-li některá z hodnot změněna, změní se i v databázi uzlů, tzn., změní se parametry a název zůstane stejný, avšak uzly, které byly definované již dříve, zůstanou v původním nastavení.

V poli Zdroj barvy se kliknutím na čtvereček otevřete okno Topologie, ve kterém můžete vybrat požadovanou topologickou barvu.

6.2.4.2 Transformátor

Schématické zobrazení transformátoru je zobrazeno na Obr. 6-5, okno se základními parametry transformátoru je zobrazeno na Obr. 6-6 a okno s úplným zadáním parametrů je zobrazeno na Obr. 6-7. Při kreslení transformátoru do schématu sítě je primární vinutí na straně výchozího uzlu.

V Okně Parametry transformátoru jsou pro jednodušší zadávání otevřeny pouze veličiny nutné pro základní výpočet. Po stisku tlačítka Úplné zadání je pak zadávací okno transformátoru rozšířeno o zadání zbývajících parametrů.



Obr. 6-5 Schéma transformátoru

Screenshot of the 'Parametry Transformátoru' dialog box. It contains the following sections:

- Nepovinné parametry:** Jméno, Výrobce, Typ (text input fields).
- Povinné parametry:** Un1 [kV], Un2 [kV], St [MVA] (text input fields).
- Parametry nakrátko:** Pk [kW], uk [%] (text input fields).
- Buttons: Výběr transformátoru, Úplné zadání.
- Zdroj barvy: 0 (checkbox).
- Buttons: OK, Zrušit.

Obr. 6-6 Parametry transformátoru

Obr. 6-7 Parametry transformátoru - úplné zadání

Kde jednotlivé pole značí:

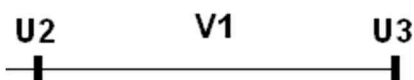
Jméno	název transformátoru (max. 4 znaky)
U_{n1} [kV]	jmenovité primární napětí
U_{n2} [kV]	jmenovité sekundární napětí
S_t [MVA]	jmenovitý výkon
P_k [kW]	ztráty nakrátko
u_k [%]	napětí nakrátko
i_o [%]	proud naprázdno
P_o [%]	ztráty naprázdno
Primár	spojení primárního vinutí transformátoru
Sekundár	spojení sekundárního vinutí transformátoru
H. úhel [-]	hodinový úhel spojení vinutí (posun fázoru napětí sek. vůči napětí prim.)
Počet odb.	definování počtu odboček
Krok [%]	procentuální změna napětí jednoho regulačního stupně
I_{n1} [A]	jmenovitý proud primárního vinutí
I_{n2} [A]	jmenovitý proud sekundárního vinutí
X_{n1} [Ω]	reaktance uzemnění uzlu primárního vinutí

R_{n1} [Ω]	rezistance uzemnění uzlu primárního vinutí
X_{n2} [Ω]	reaktance uzemnění uzlu sekundární vinutí
R_{n2} [Ω]	rezistance uzemnění uzlu sekundárního vinutí
R_0/R_1 [-]	poměr netočivé a sousledné složky rezistance transformátoru
X_0/X_1 [-]	poměr netočivé a sousledné složky reaktance transformátoru

Chceme-li, aby transformátor prováděl automatickou regulaci, je nutno aktivovat reg. v poli Regulace odboček, je-li provedeno nastavení bez r., nejsou regulační nástroje dostupné. Chceme-li regulovat odbočky, je nutné zadat jejich počet a regulační krok v procentech. Je-li vše zadáno v pořádku, můžeme na svislé liště přepínat odbočky manuálně. Pod regulační lištou je tlačítko, pomocí kterého je možné zobrazit hodnoty napětí nadefinovaných regulačních stupňů. Pokud je zadáván nový typ transformátoru, je možné jej uložit pro další využití tlačítkem Do databáze.

6.2.4.3 Vedení

Schématické zobrazení vedení je zobrazeno na Obr. 6-8, okno s parametry vedení je zobrazeno na Obr. 6-9.



Obr. 6-8 Schéma vedení

Obr. 6-9 Parametry vedení

Kde jednotlivé pole značí:

Název vedení	Název vedení (max. 10 znaků)
Napětí	napěťová hladina
Druh	venkovní/kabel
Typ	typové označení
$R/\text{km} [\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$	podélný odpor vedení na 1 km
$X/\text{km} [\Omega \cdot \text{km}^{-1}]$	podélná reaktance vedení na 1 km
$B/\text{km} [\mu\text{S} \cdot \text{km}^{-1}]$	příčná susceptance na 1 km
$I_{\text{max}} [\text{A}]$	maximální zatěžovací proud
Délka [km]	délka vedení

Tlačítko Netočivá složka umožňuje zadání netočivé složky impedance vedení. Stisknutím tlačítka Vybrat se nabídne výběr z databáze tabulkových hodnot některých existujících vedení.

6.2.4.4 Zátěž

Schématické zobrazení zátěže je zobrazeno na Obr. 6-10 a okno s parametry zátěže je zobrazeno na Obr. 6-11.



Obr. 6-10 Schéma zátěže

Okno s parametry zátěže. V horní části je pole Typ s hodnotou 'U, S, cos fi'. Následují pole pro Název, U [kV], S [kVA], cos fi a Qk [kVAr]. V dolní části jsou tlačítka Nesymetrická zátěž, Flickr, OK a Zrušit.

Obr. 6-11 Parametry zátěže

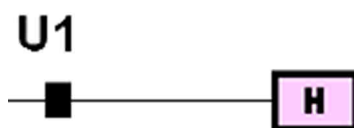
Zátěž lze zadat pěti navzájem ekvivalentními způsoby, přičemž při zadání jakýmkoliv z těchto způsobů se zbylé hodnoty dopočtou.

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], $\cos \varphi$ [–]

Zátěži lze přiřadit název, tak jako ostatním prvkům, dále je zde pro některé výpočty možno nastavit nesymetrii, případně zátěž generující flicker.

6.2.4.5 Hradicí člen

Schématické zobrazení hradicího členu je zobrazeno na Obr. 6-12 a okno s jeho parametry je zobrazeno na Obr. 6-13.



Obr. 6-12 Schéma hradicího členu

Dialog box titled 'Hradicí člen' with two input fields: 'Qc [kVAr]' and 'p [%]'. Below the fields are two buttons: 'OK' and 'Zrušit'.

Obr. 6-13 Parametry hradicího členu

Kde jednotlivé pole značí:

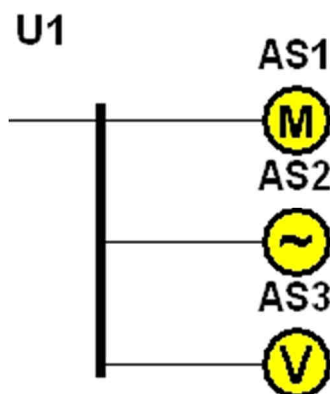
Q_c [kVAr] kapacitní jalový výkon

p [%] rektanční koeficient (poměr kapacitního a induktivního jalového výkonu)

Hradicí členy se používají pro omezení vlivu zdrojů na úroveň signálu HDO. Jsou konstruovány jako paralelní rezonanční obvody naladěné na frekvenci HDO a jsou zapojeny mezi zdroj a distribuční síť.

6.2.4.6 Asynchronní stroj

Schématické zobrazení jednotlivých typů asynchronních strojů je zobrazeno na Obr. 6-14 a okno s parametry asynchronního stroje je zobrazeno na Obr. 6-15.



Obr. 6-14 Schémata jednotlivých typů asynchronních strojů

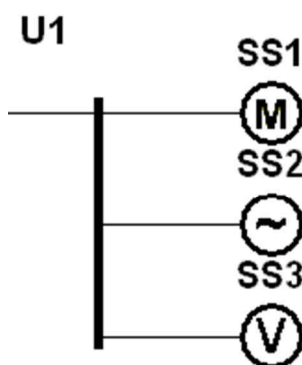
Obr. 6-15 Parametry asynchronního stroje

Parametry asynchronního stroje lze zadat základními položkami jako výkon (činný nebo zdánlivý) účinník a napětí, dále je zde možnost vybrání 3 typů strojů:

- Motor (M)
- Generátor (~)
- Větrná elektrárna (V)

6.2.4.7 Synchronní stroj

Schématické zobrazení jednotlivých typů synchronních strojů je zobrazeno na Obr. 6-16 a okno s parametry synchronního stroje je zobrazeno na Obr. 6-17.



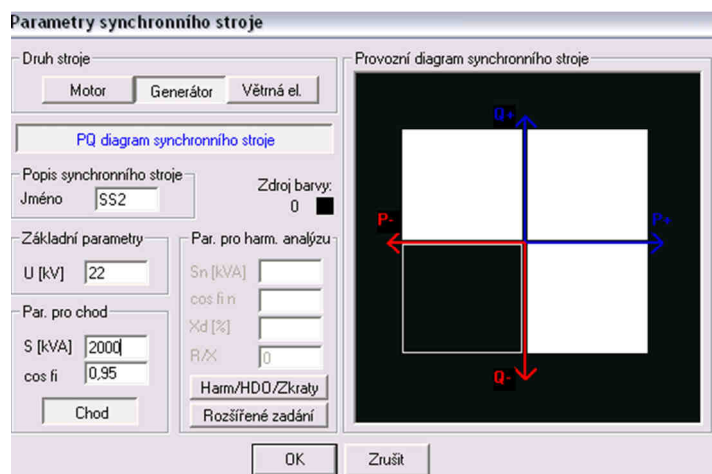
Obr. 6-16 Schémata jednotlivých typů synchronních strojů

Obr. 6-17 Parametry synchronního stroje

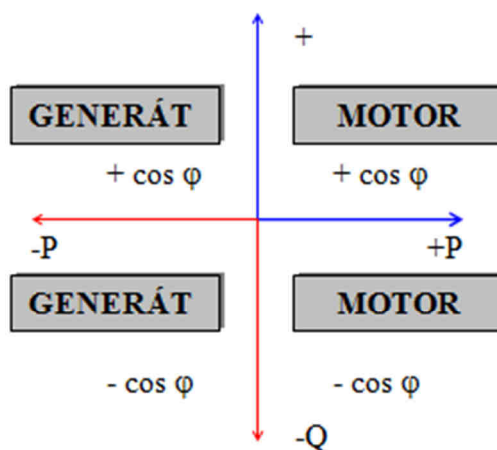
Obdobně jako u asynchronního stroje je zde nutno zadat napětí, zdánlivý výkon a účinník. Navíc zde přibývá možnost zobrazení PQ diagramu, ve kterém je vyšrafovaná část oblasti, kde synchronní stroj právě pracuje. PQ diagram je zobrazen na Obr. 6-18. a provozní stavy synchronního stroje jsou zobrazeny na Obr. 6-19.

Dále je zde opět možnost vybrání 3 typů strojů:

- Motor (M)
- Generátor (~)
- Větrná elektrárna (V)



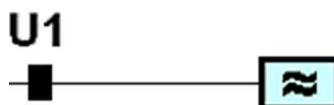
Obr. 6-18 PQ diagram synchronního stroje



Obr. 6-19 Provozní stavy synchronního stroje [4]

6.2.4.8 Zdroj proudu

Schématické zobrazení zdroje proudu je zobrazeno na Obr. 6-20 a okno s jeho parametry je zobrazeno na Obr. 6-21.



Obr. 6-20 Schéma zdroje proudu

	In [%]
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0
15	0
16	0
17	0
18	0
19	0
20	0
21	0
22	0

Obr. 6-21 Parametry zdroje proudu

Kde jednotlivé pole značí:

I_1 [A] proud první harmonické

I_n [%] proudy vyšších harmonických v poměru k I_1 , kde n značí 2. Až 50. harmonickou

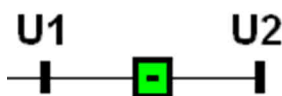
Dále zde máme možnost výběru typu zdroje proudu, jimiž jsou tyristorový měnič, usměrňovač s indukční filtrací nebo usměrňovač s kapacitní filtrací.

Tlačítkem Vynulovat se nastaví hodnoty všech proudů $I_2 - I_{50}$ na nulu.

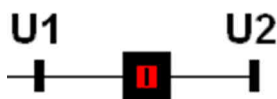
Zdroje proudu se berou v úvahu pouze pro výpočet harmonické analýzy, pro ostatní výpočty se ignorují.

6.2.4.9 Vypínač

Schématické zobrazení zapnutého vypínače je zobrazeno na Obr. 6-22, schématické zobrazení vypnutého vypínače je zobrazeno na Obr. 6-23 a okno s parametry vypínače je zobrazeno na Obr. 6-24.



Obr. 6-22 Schéma zapnutého vypínače



Obr. 6-23 Schéma vypnutého vypínače



Obr. 6-24 Parametry vypínače

Pomocí vypínače lze vypínat nebo zapínat dané úseky vedení, transformátory a ostatní prvky obvodu, což je vhodné pro řešení vhodné konfigurace sítě v rozvodně. Obdobnou funkci vypínače lze provést pasivováním prvku v nabídce prvku, avšak při pasivování s tímto prvkem není počítáno. U prvků vložených sériově do obvodu je tedy pasivování stejné, jako odpojení prvku z obou stran vypínači.

6.2.5 Kreslení schématu

Z jednotlivých prvků je možno pospojovat výsledné schéma a provést požadované modelace.

6.2.5.1 Přidání prvku

Při přidávání dalšího prvku je nutno mít vybrán uzel, do kterého tento prvek bude připojen, poté je možno vybrat požadovaný prvek a poté klepneme na umístění druhého konce prvku, resp. na místo kde se nám vytvoří nový uzel nebo je možno jej spojit s již vytvořeným uzlem vybráním tohoto uzlu. Program vytvoří námi zvolený prvek. U prvků, které se nepřipojují mezi dva uzly, je zde vytvořen pouze nový prvek. Výjimku tvoří pouze napájecí uzel, který lze kreslit bez připojení do uzlu a také vypínač, který lze kreslit také na již vytvořené vedení tak, že toto vedení vybereme, poté vybereme vypínač, a poté zvolíme stranu, na kterou se má vypínač umístit, resp. uzel ke kterému se má připojit.

6.2.5.2 Uzel

Po nakreslení uzlu se automaticky objeví okno pro editaci uzlu zobrazené na Obr. 6-25, kde lze nastavit jeho název a počet vývodů, případně zde lze zvolit vodorovné uspořádání. Má-li uzel více vývodů, jsou v tomto okně zobrazeny také prvky připojené do jednotlivých polí uzlu, což je zobrazeno na Obr. 6-26. Kreslíme-li tedy nový prvek z uzlu s více vývody, program nám nejprve nabídne vývod, který chceme pro kreslení využít, až poté teprve můžeme zadat koncový bod. Je-li i koncový bod na uzlu s více vývody, opět nám program nabídne, do kterého vývodu je možné prvek připojit.



The dialog box 'Parametry uzlu' has the following fields and controls:

- Jméno uzlu: U1
- Počet vývodů: 1
- Vodorovná sběrnice
- Buttons: OK, Zrušit

Obr. 6-25 Parametry uzlu



The dialog box 'Parametry uzlu' has the following fields and controls:

- Jméno uzlu: U1
- Počet vývodů: 4
- Vodorovná sběrnice
- Table with 4 rows and 2 columns:

1	1
2	
3	
4	
- Button: Přep. do jiného vývodu
- Buttons: OK, Zrušit

Obr. 6-26 Parametry uzlu s více vývody

6.2.5.3 Zalomení vedení

V programu je možné provést zalomení vedení, což je zapotřebí pro přehlednost ve větších sítích. Zalomení se provádí označením vedení, a poté klepnutím na místo, ve kterém chceme vedení zalomit. Zalomení je možné posunout, dle potřeby je možno vedení zalomit i vícekrát.

6.2.5.4 Zarovnání prvků

Pro úhlednost a přehlednost schématu je možno zarovnat prvky ve schématu jak svisle, tak i vodorovně. Zarovnání se provádí tak, že vybereme jako první prvek, ke kterému chceme zarovnávat, podržíme klávesu Ctrl, a vybereme prvky, které budeme zarovnávat. Nyní najedeme do menu Kreslení a vybereme položku zarovnání, kde nastavíme požadované zarovnání. Vybereme-li položku podle vývodu, bude prvek zarovnán dle vývodu uzlu, což platí pouze pro situaci, kdy zarovnáваме k uzlu, který má více vývodů a lze to provést pouze pro jeden další prvek. Zarovnání lze provést také pro body zlomu vedení.

6.2.5.5 Výpis prvků

Pro kontrolu sítě můžeme použít položku Seznam prvků v menu Výpisy, kde jsou zobrazeny všechny prvky sítě včetně jejich parametrů.

6.3 Výpočetní metody

Výpočet chodu sítě je založen na metodě uzlových napětí a principu superpozice. Ze zadaných hodnot jednotlivých prvků vytvoří program pro základní harmonickou jednopólový model sítě. Síť je podle metody uzlových napětí popsána soustavou lineárních rovnic s komplexními koeficienty. K jejímu řešení je v programu použita Gaussova eliminační metoda. Výpočet probíhá tak, že v prvním iteračním kroku dosadíme za napětí do matice uzlových napětí ve všech uzlech sítě nominální napětí a vypočítáme proudy v jednotlivých větvích. Přes tyto proudy dopočítáme úbytky napětí v jednotlivých větvích sítě a vypočteme napětí v uzlech. Tyto napětí dosadíme opět do matice uzlových napětí a výpočet opakujeme, dokud nedosáhneme požadované přesnosti nastavené v programu. Výpočet je proveden pro každý zdroj zvlášť a poté pomocí principu superpozice dopočítán pro celou řešenou síť.

Jednotlivé typy výpočtu lze spustit v záložce Výpočty.

6.3.1 Chod sítě

Při výpočtu chodu sítě jsou vypočítány napěťové poměry v jednotlivých uzlech sítě a proudové poměry v jednotlivých větvích náležících uzlům sítě. Při výpočtu chodu sítě se nepočítá se zátěžemi, které generují flicker, nesymetrickými zátěžemi a synchronní a asynchronní motory, které nemají zadány parametry pro chod sítě.

Po dokončení výpočtu program zobrazí dvě okna, v nichž jsou zobrazeny následující vypočítané hodnoty:

Napětí v uzlech

- efektivní hodnota a úhel napětí v jednotlivých uzlech (U)
- úbytek napětí vztahován ke jmenovité úrovni např. hladiny (δU_n), (zobrazí se červeně, pokud je překročena daná hodnota daná).
- efektivní hodnota a úhel zkratové impedance (Z_k)
- zkratový výkon (S_k)

Proudy a výkony ve větvích

- efektivní hodnota a úhel proudu větví na konci i na začátku větve (I)
- impedance a její úhel (Z)
- činný výkon (P)
- jalový výkon (Q)
- zdánlivý výkon (S)

6.3.2 Chod sítě s konstantním výkonem

Vlivem úbytku napětí v jednotlivých uzlech sítě, zátěže většinou nedosahují zadaného činného výkonu. Je-li zvolen výpočet chodu sítě s konstantním výkonem je měněna impedance zadané zátěže tak, aby zadaný činný výkon odpovídal počítanému výkonu. Při tomto výpočtu lze zvolit prvky ze schématu, jimiž jsou zátěž synchronní nebo asynchronní motor, pro které bude prováděn výpočet s konstantním výkonem. Tento výpočet je náročnější na výpočetní výkon než standardní chod sítě. Při tomto výpočtu se opět nepočítá se zátěžemi, které generují flickr, nesymetrickými zátěžemi, synchronními a asynchronními stroji, které nemají zadány parametry pro chod sítě. Výsledky jsou zobrazeny ve stejných tabulkách jako při výpočtu standardního chodu sítě.

6.3.3 Připojitelnost zátěže

Posouzení připojitelnosti zátěže je nejčastěji řešena na dovolenou změnu napětí, tato změna napětí je způsobena připojením zátěže nebo zdroje do uzlu sítě. K dispozici jsou dva druhy výpočtu připojitelnosti zátěže, je to připojitelnost zátěže a připojitelnost zátěže s konstantním výkonem. Výpočet se provádí tak, že vybereme zátěž nebo zdroj anebo více zátěží a zdrojů a provedeme požadovaný výpočet. Po dokončení výpočtu se zobrazí tabulka s úbytkem napětí před a po připojení zátěže a rozdílem těchto úbytků ve všech uzlech schématu. Pokud rozdíl úbytků přesáhne stanovenou mez, zobrazí se červeně. Uzel, ve kterém je připojena daná zátěž, je pro snadnější orientaci probarven jinou barvou. Dále je možno v programu počítat posouzení připojitelnosti nesymetrické zátěže a posouzení připojitelnosti zátěže ovlivňující signál HDO.

6.3.4 Rozložení napětí před a po připojení posuzované zátěže

Při posuzování připojitelnosti zátěže může uživatel zvolit výpočet rozložení napětí před a po připojení posuzované zátěže, jehož výstupem je grafická prezentace výsledků. V grafu jsou zobrazeny hodnoty napěťových změn způsobených připojením zařízení a úroveň napěťových změn bez posuzovaného zařízení. Do grafu jsou také zakresleny povolené velikosti napěťových změn na jednotlivých napěťových hladinách. Kromě grafu jsou zobrazeny také vypočtené hodnoty, které jsou umístěny v tabulce pod grafem.

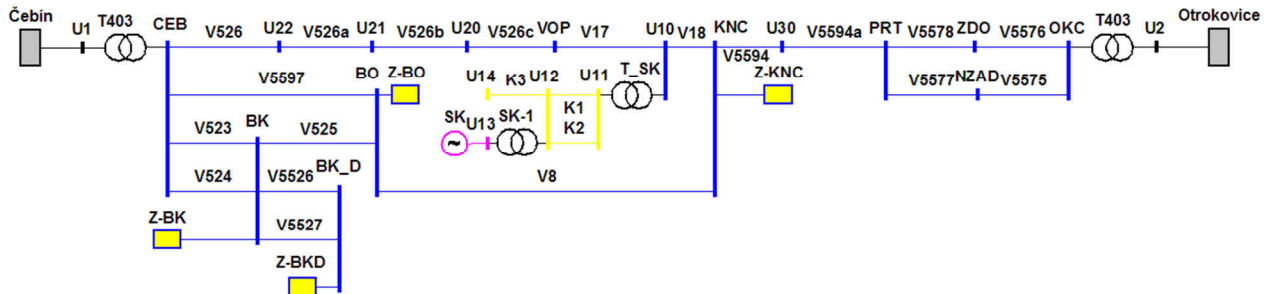
6.3.5 Ostatní typy výpočtů

V programu E-Vlivy je možno počítat ještě další typy výpočtů, kterými jsou:

- Harmonická analýza
- Posouzení připojitelnosti odběratele z hlediska znečištění sítě harmonickými
- Útlum signálu HDO
- Frekvenční charakteristika uzlu
- Výpočet ztrát v modelované síti
- Flickr
- Chod sítě s nesymetrickou zátěží
- Zkrat

7 VÝPOČET STÁVAJÍCÍHO STAVU SÍTĚ

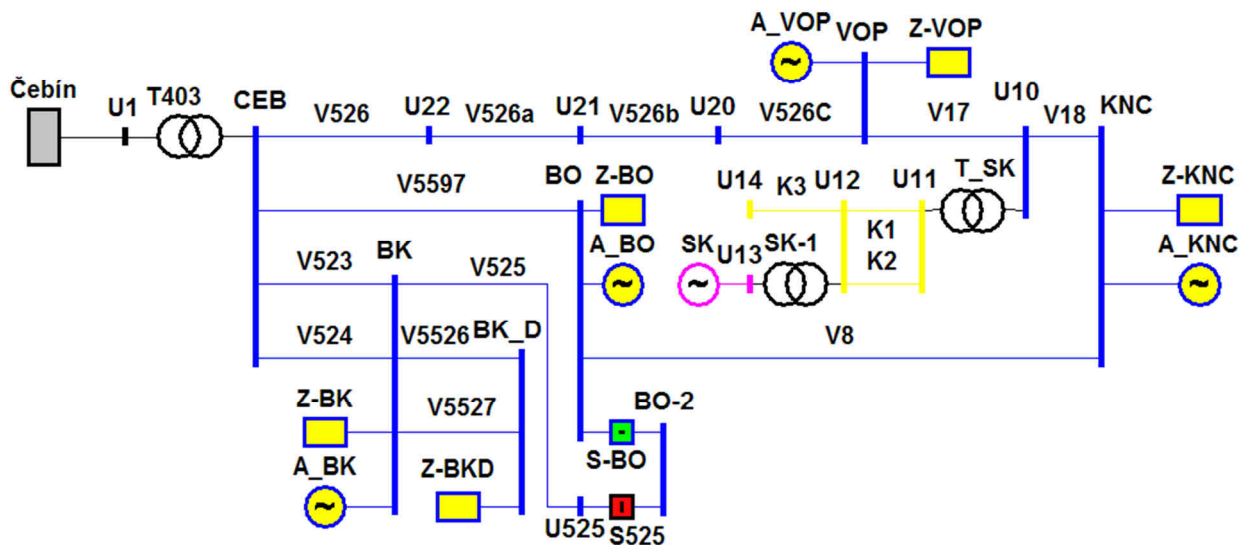
Pro modelaci sítě využijeme programu E-Vlivy, kde podle kapitoly 6 vytvoříme schéma řešené sítě. Pro návrh sítě a její parametry jsou využity materiály [10], [11], [12] a [13]. Schéma této sítě je zobrazeno na Obr. 7-1.



Obr. 7-1 Schéma základní sítě

V naší modelované stávající stavu sítě jsou uvažovány 3 vedení (V8, V17 a V18), které v současné době nejsou realizovány, v době plánovaného připojení větrného parku Drahaný již budou tato vedení v provozu. Obdobně je tomu i s větrným parkem Skřípov. Vedení 526 se u Rozvodny BO zdvojuje a pokračuje do rozvodny VOP. V budoucnu bude provedeno na tomto vedení zasmyčkování do rozvodny BO.

Jelikož se však dle [13] síť nebude provozovat napájená ze dvou stran, bude tedy v rozvodně KNC vedení V5594 vypnuté a schéma lze zjednodušit na tvar uvedený na Obr. 7-2, kde jsou přidány asynchronní generátory reprezentující přetoky energie ze soustav VN a doplněno o dva spínače, které jsou potřebné pro správnou konfiguraci sítě. Jeden ze spínačů slouží k připojení podélného úseku přípojnice v rozvodně Boskovice označeného BO-2 a druhý k vypnutí vedení V525, které slouží jako záložní a za normálního provozního stavu je v rozvodně Boskovice vypnuté.



Obr. 7-2 Schéma sítě ve stávající stavu

Ve schématu na Obr. 7-2 je vidět stávající konfigurace sítě, která je napájena z přenosové soustavy 400 kV v rozvodně Čebín přes transformátor T403 dle [12] na samostatnou přípojnici. Z T403 v rozvodně Čebín jsou vedeny 4 vedení 110 kV, a to:

- Vedení V526 složené z několika úseků jdoucí do rozvodny Velké Opatovice (VOP)
- Vedení V5597 jdoucí do rozvodny Boskovice (BO)
- Vedení V523 a V524, což jsou paralelní vedení do rozvodny Blansko (BK)

Z rozvodny VOP pokračujeme vedením V17 do uzlu U10, což je T odbočka přípojky větrného parku Skřípov připojenou přes transformátor T_SK. Větrný park Skřípov je připojen kabelovým vedením K1 a K2 do T_SK, kabel K3 reprezentuje kabelové propojky mezi jednotlivými elektrárnami a synchronní alternátor SK, který je připojený přes transformátor SK-1 reprezentuje celkový výkon jednotlivých elektráren větrného parku. Synchronní alternátor SK pracuje s účinnkem 1 v předávacím místě a s nominálním činným výkonem 23 MW. Z uzlu U10 následuje vedení V18 do rozvodny Konice (KNC).

Rozvodna Boskovice je propojena s rozvodnou Konice vedením V8.

Rozvodna Blansko je propojena s rozvodnou Boskovice vedením V525 a s rozvodnou BK_D propojena paralelními vedeními V5526 a V5527.

V rozvodnách BO, BK, BK_D VOP a KNC jsou připojeny zátěže představující odběry distribučních sítí 22 kV a v rozvodnách BK, BO, VOP, KNC jsou připojeny asynchronní generátory reprezentující přetoky z distribučních sítí 22 kV, výkony přetoků jsou vzaty jako maximální naměřené hodnoty, jelikož se jedná o nejnepríznivější stav.

Parametry prvků schématu jsou uvedeny v tabulkách v příloze 1, kde síťový napaječ je uveden v Tab. P1-1, synchronní alternátory jsou uvedeny v Tab. P1-2, asynchronní alternátory jsou uvedeny v Tab. P1-3, transformátory jsou uvedeny v Tab. P1-4, vedení a kabely jsou uvedeny v Tab. P1-5, zátěže jsou uvedeny v Tab. P1-6 a vypínače jsou uvedeny v Tab. P1-7.

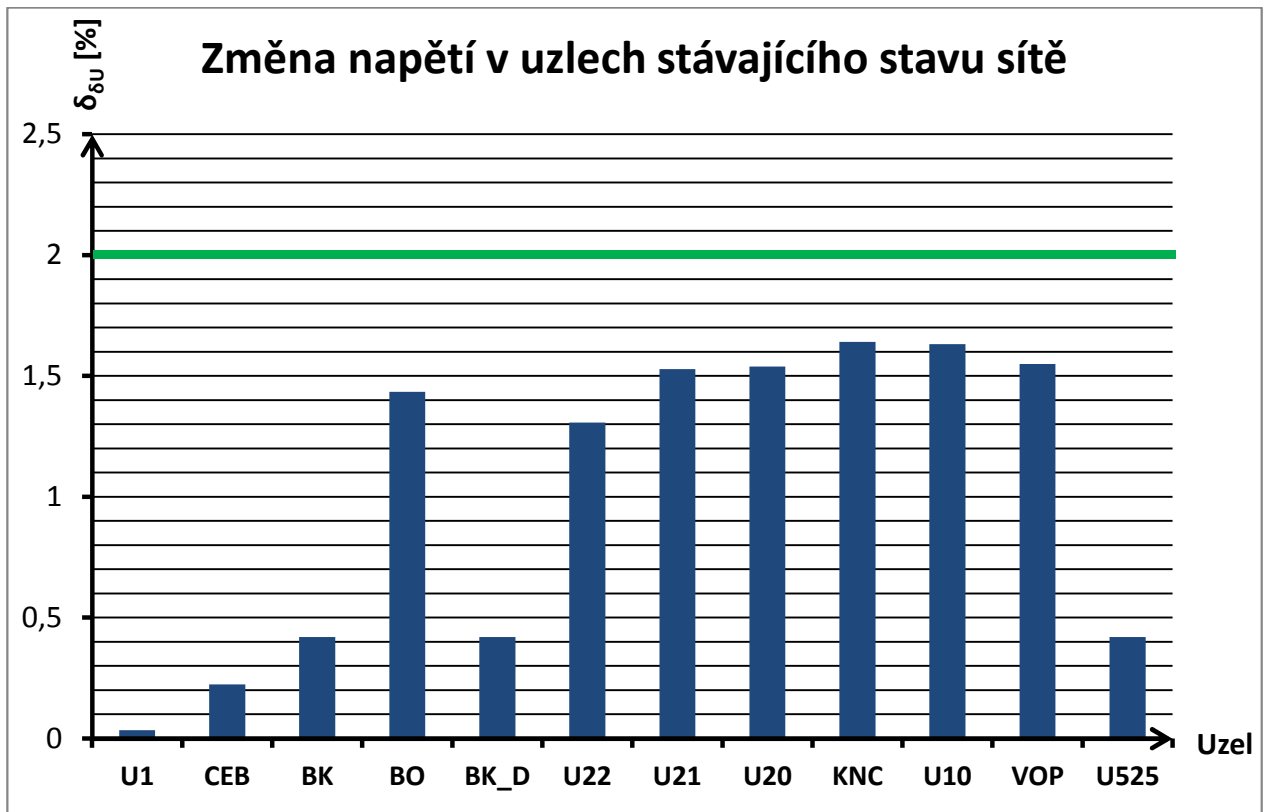
7.1 Výsledky výpočtů pro stávající stav

Výpočet ustáleného chodu je proveden pomocí výpočtu „chod sítě s konstantním výkonem“, jelikož dle [13] má tato metoda více iteračních kroků a dosahuje tedy lepších výsledků. Při použití výpočtu „chod sítě“ bychom z důvodu malého počtu iterací mohly dosáhnout nesprávných výsledků.

Napětí v uzlech při ustáleném chodu je uvedeno v příloze 2 v Tab. P2-2 a proudy a výkony tekoucí jednotlivými prvky sítě jsou uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-1. V tabulkovém souhrnu nebudou uváděny prvky K1, K2, K3, SK1, SK a T_SK ze strany uzlu U11, dále nebudou zmiňovány uzly U11, U12, U13 a U14, protože se nachází až za předávacím místem do distribuční soustavy, nejsou tedy ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy, v tomto případě společnosti E.ON, a z tohoto důvodu nejsou povinni dodržovat pravidla provozu distribuční soustavy společnosti E.ON až po předávací místo.

Výpočet připojitelnosti zdrojů je proveden pomocí funkce „připojitelnost zátěže s konstantním výkonem“. Pro změnu napětí v uzlech jsou porovnávány hodnoty s a bez připojeného větrného parku Skřípov a zdroji nahrazujícími přetoky ze soustav VN. Všechny tyto zdroje jsou připojeny najednou. Napětí v uzlech sítě se dle [15] nesmí vlivem připojení zdrojů do sítě 110 kV zvýšit o více než 2 % jmenovité hodnoty. Hodnoty napětí v uzlech sítě před a po

připojení zdrojů a jejich rozdíly jsou uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-3 a grafické znázornění je zobrazeno na Obr. 7-3.



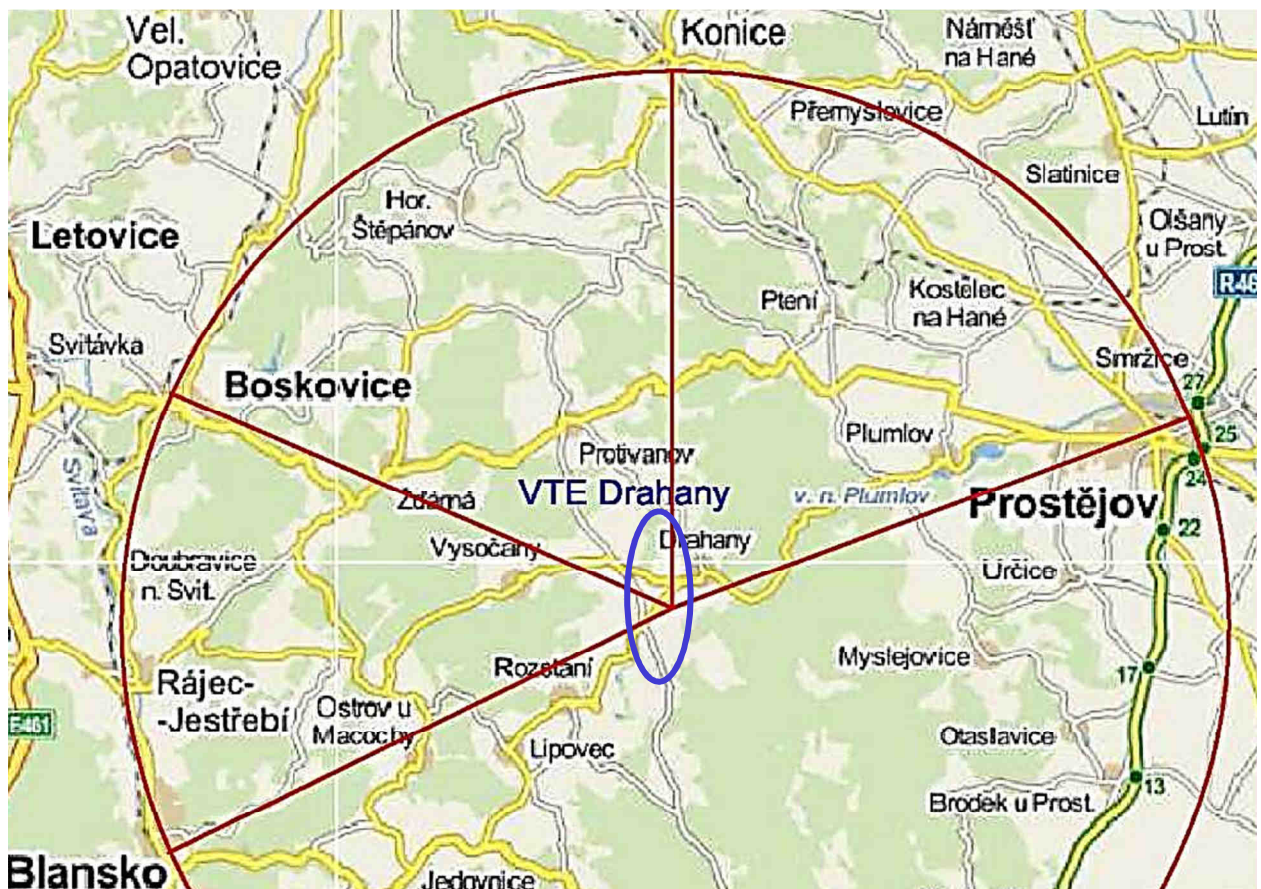
Obr. 7-3 Změna napětí v uzlech sítě ve stávajícím stavu

Z namodelovaných výsledků stávajícího stavu je patrné, že vyhovuje platné legislativě, jelikož nedochází k přetížení žádného prvku sítě, napětí ve všech uzlech před i po připojení zdrojů je v rozsahu $\pm 10\% U_n$ a změna napětí v uzlech sítě způsobená připojením zdrojů do sítě je menší než $2\% U_n$, což jsou dle [15] limitní hodnoty.

8 VÝPOČTY SÍTĚ S PŘIPOJENÝM VĚTRNÝM PARKEM DRAHANY

Vzhledem k technickým a ekonomickým aspektům jsme zvolili pro připojení větrného parku Drahaný následující tři možné varianty připojení. Výkon je možno vyvést do rozvodny Boskovice (BO), Blansko (BK), nebo Konice (KNC). V rozvodně BO máme k dispozici dva možné provozní stavy. V obou případech bude park připojen na podélně dělený úsek přípojnice BO-2 spolu s vedením V525. V prvním provozním stavu bude sepnut podélný spínač přípojnic S-BO a vedení V525 bude v rozvodně Boskovice odpojeno (varianta V-1a). V druhém provozním stavu bude podélný spínač přípojnic S-BO rozepnut a výkon bude vyveden přes připojené vedení V525 do rozvodny Blansko (varianta V-1b). Ve variantě připojení větrného parku Drahaný do rozvodny BK bude vedení V525 rozvodně BO opět vypnuté (varianta V-2) tak, jako ve variantě připojení větrného parku Drahaný do rozvodny KNC (varianta V3).

Volba těchto přípojných míst byla provedena na základě toho, že vzdálenost mezi větrným parkem Drahaný a rozvodnou BO přibližně odpovídá vzdálenosti mezi větrným parkem Drahaný a rozvodnou BK a také vzdálenosti větrného parku Drahaný a rozvodny KNC, jak je uvedeno na Obr 8-1, a lze tedy předpokládat, že z hlediska investičních nákladů na kabelová vedení budou všechny tři varianty obdobné. S pohledu vzdálenosti větrného parku Drahaný by též připadalo v úvahu vyústění do rozvodny Prostějov, v této oblasti je však již připojeno velké množství zdrojů a je zde tedy vyčerpána kapacita pro připojení dalších zdrojů.

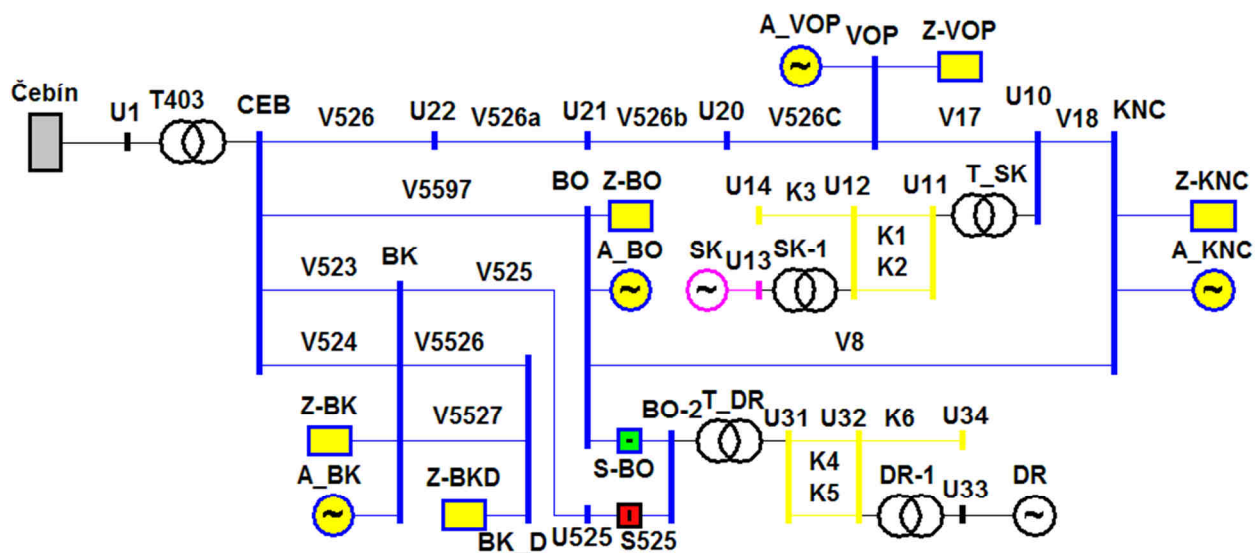


Obr. 8-1 Vzdálenosti větrného parku drahaný od možných přípojných míst

Potřebné modelové prvky pro připojení parku jsou uvedeny v tabulkách v příloze 1, kde v Tab. P1-8 jsou uvedeny transformátory navržené pro připojení parku Drahaný a v Tab. P2-9 jsou uvedeny kabelová vedení navržená pro připojení parku Drahaný, domodelovaný kabel K6 značí náhradu propojovacích kabelů mezi jednotlivými větrnými elektrárnami. Synchronní stroj DR reprezentuje všechny generátory větrných elektráren a je pro všechny varianty připojení nastaven tak, aby účinník v předávacím místě byl roven 1. Stejně tak je nastaven i synchronní stroj reprezentující větrný park Skřípov. Oba stroje pracují v modelu s maximálním dodávaným činným výkonem, tedy 45 MW pro VTE Drahaný, resp. 23 MW pro VTE Skřípov.

8.1 Připojení do rozvodny Boskovice (V-1a)

Jedná se o připojení větrného parku Drahaný do podélně děleného úseku přípojnice BO-2, který bude spojen podélným spínačem přípojnic s přípojnící BO a výkon tedy bude vyveden do Boskovic a vedeními V8 a V5597 do rozveden KNC a CEB. Schéma této varianty připojení je zobrazeno na Obr. 8-2 a nastavení synchronního stroje DR je uvedeno v Tab. 8-1.



Obr. 8-2 Schéma sítě pro V-1a

Tab. 8-1 Nastavení synchronního stroje DR pro V-1a

Stroj S	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ [-]
	DR	1	45272	0,994

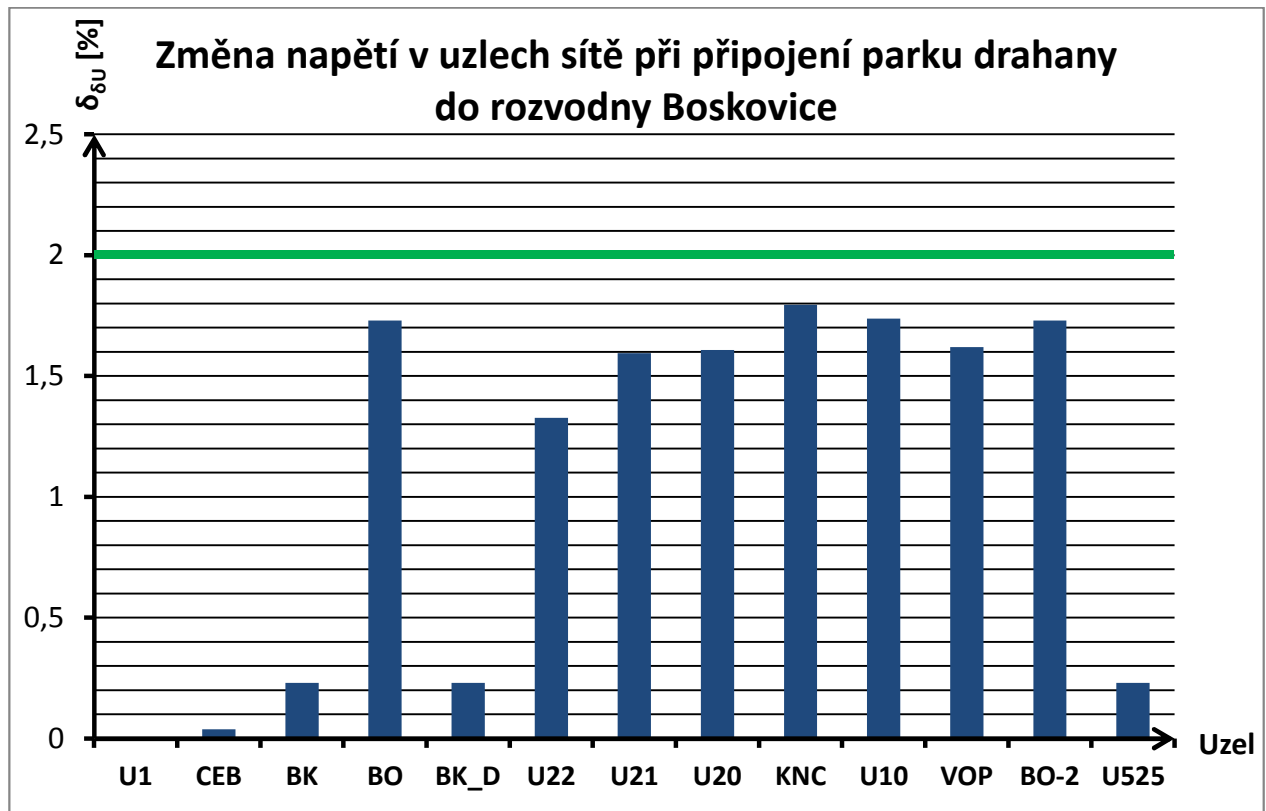
8.1.1 Výsledky výpočtů pro V-1a

Výpočet ustáleného chodu je opět proveden pomocí výpočtu „chod sítě s konstantním výkonem“

Napětí v uzlech sítě při ustáleném chodu je uvedeno v příloze 2 v Tab. P2-5 a proudy a výkony tekoucí jednotlivými prvky sítě při ustáleném chodu jsou uvedeny v Tab. P2-4. Obdobně jako u výpočtu stávajícího stavu nebudou uvedeny v tabelovaných hodnotách ani v grafech hodnoty náležející prvkům, které spadají pod větrný park Skřípov, tak jak byly vyjmenovány

v kapitole 7.2, a ze stejného důvodu nebudou uvedeny prvky spadající pod větrný park Drahaný. Jmenovitě jde o uzly U31, U32, U33 a U34, kabelová vedení K4, K5, K6, zdroj DR, transformátory DR1 a T_DR ze strany uzlu U31.

Výpočet připojitelnosti pro V-1a je opět proveden pomocí funkce „připojitelnost zátěže s konstantním výkonem“. Procentní hodnoty napětí v uzlech sítě před a po připojení zdrojů a jejich rozdíly jsou uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-6 a grafické znázornění změny napětí v jednotlivých uzlech je uvedeno na Obr. 8-3.



Obr. 8-3 Změna napětí v uzlech sítě při V-1a

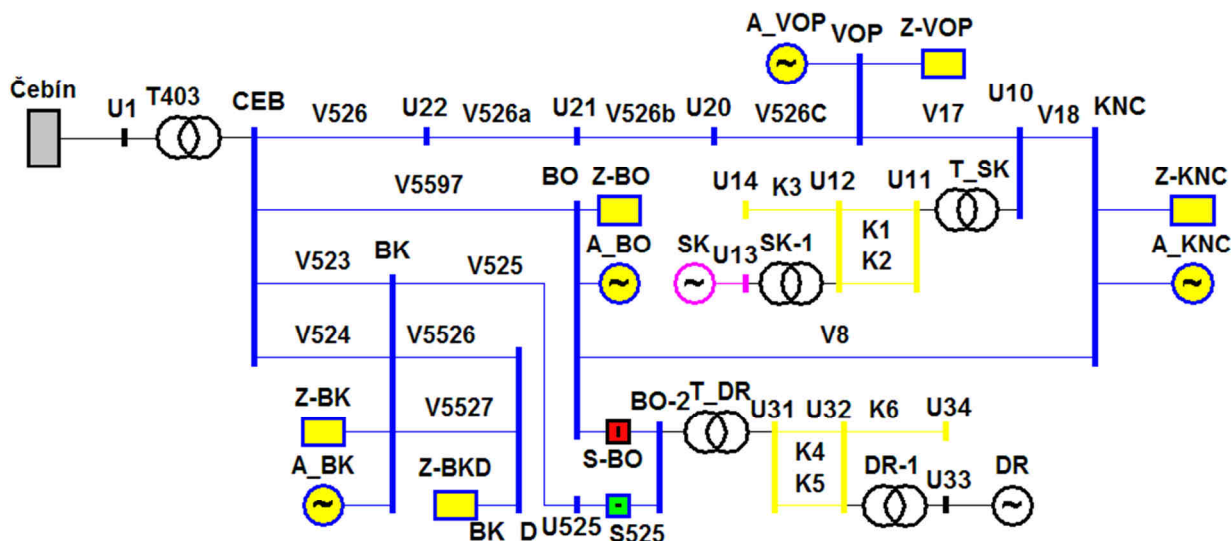
Z namodelovaných výsledků je patrné, že tato varianta připojení je možná, jelikož nedochází k přetížení žádného prvku sítě, napětí ve všech uzlech před i po připojení zdrojů je v rozsahu $\pm 10\% U_n$ a změna napětí v uzlech sítě způsobená připojením zdrojů do sítě je menší než $2\% U_n$, což jsou dle [15] limitní hodnoty.

8.2 Připojení do rozvodny Boskovice (V-1b)

Jedná se o připojení větrného parku Drahaný do podélně děleného úseku přípojnice BO-2, která bude pracovat samostatně a bude na ni připojeno vedení V525, které bude odvádět veškerý výkon vyrobený větrným parkem Drahaný do rozvodny BK. Schéma této varianty připojení je zobrazeno na Obr. 8-4 a nastavení synchronního stroje DR je uvedeno v Tab. 8-2.

Tab. 8-2 Nastavení synchronního stroje DR pro V-1b

Stroj S	Název	U [kV]	S [kVA]	$\cos \varphi$ [-]
	DR	1	45235	0,9948

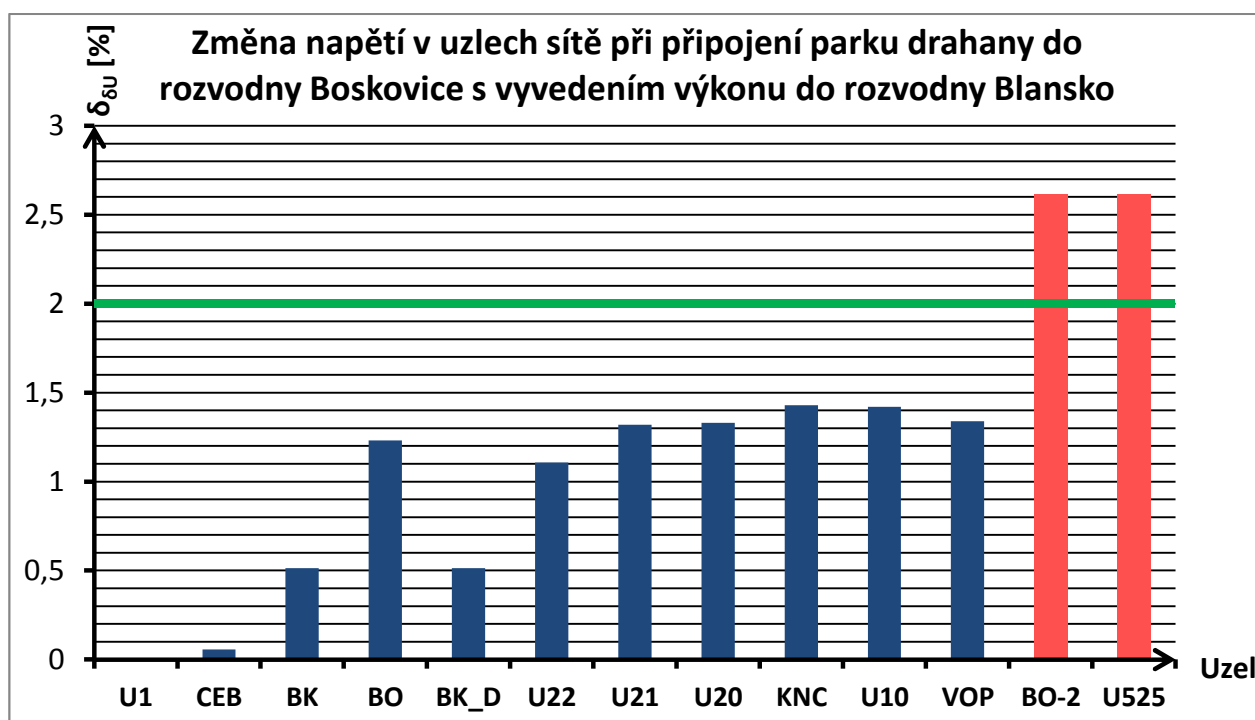


Obr. 8-4 Schéma sítě pro V-1b

8.2.1 Výsledky výpočtů pro V-1b

Napětí v uzlech sítě při ustáleném chodu je uvedeno v Tab. P2-8 a proudy a výkony tekoucí jednotlivými prvky sítě při ustáleném chodu jsou uvedeny v Tab. P2-7.

Pro výpočet připojitelnosti pro variantu připojení parku Drahaný do rozvodny Boskovice s vyvedením výkonu do rozvodny Blansko jsou procentní hodnoty napětí v uzlech sítě před a po připojení zdrojů a jejich rozdíly uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-9 a grafické znázornění změny napětí v jednotlivých uzlech je uvedeno na Obr. 8-5.

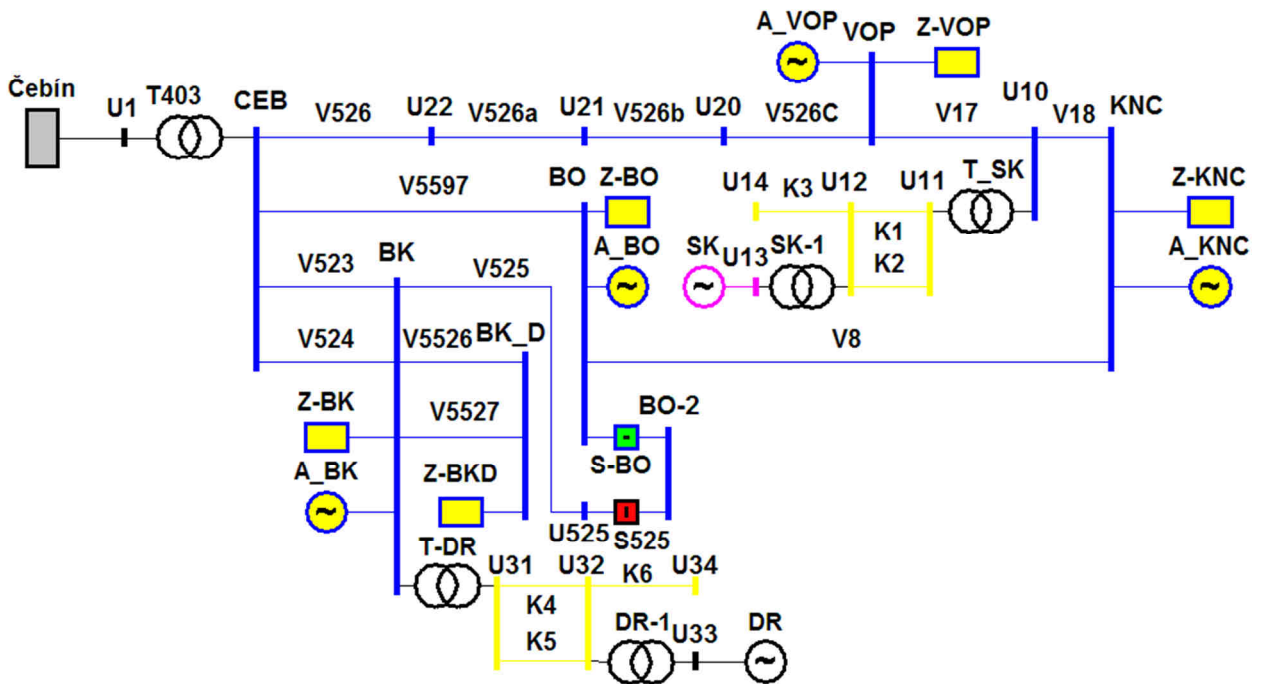


Obr. 8-5 Změna napětí v uzlech sítě při V-1b

U této varianty připojení nevyhoví změna napětí na přípojnici BO-2 a tedy i v uzlu U525, jelikož jsou spojeny pouze vypínačem, a napěťová změna v obou uzlech je tedy stejná. Vzhledem k tomu, že na přípojnici BO-2 v rozvodně Boskovice není v tomto provozním stavu zapojený žádný další odběr, nebo dodávka a výkon je dál veden přímo do rozvodny Blansko, není nutné v tomto uzlu dodržet požadovanou změnu. V rozvodně BK je již podmínce povolené změny napětí vyhověno. Na dovolené napětí v uzlech sítě a na dovolené zatížení prvků sítě tato varianta připojení vyhovuje.

8.3 Připojení do rozvodny Blansko (V-2)

Jedná se o připojení větrného parku Drahaný do rozvodny BK, kde vedení V525 bude v rozvodně BO vypnuté. Vyvedení výkonu bude provedeno do Blanska a vedeními V523 a V524 do rozvodny CEB. Schéma této varianty připojení je zobrazeno na Obr. 8-6 a nastavení synchronního stroje DR je uvedeno v Tab. 8-3.



Obr. 8-6 Schéma sítě pro V-2

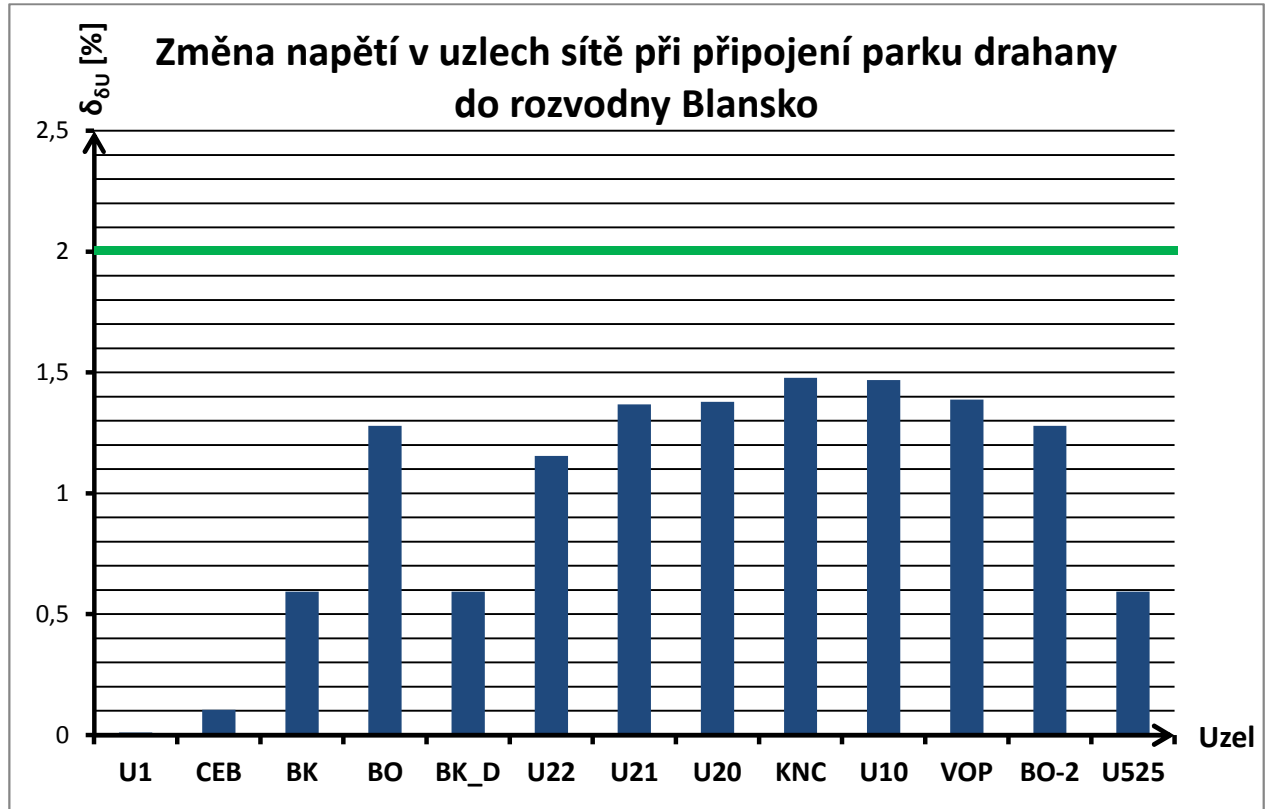
Tab. 8-3 Nastavení synchronního stroje DR pro V-2

Stroj S	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ [-]
	DR	1	45276	0,9939

8.3.1 Výsledky výpočtů pro V-2

Napětí v uzlech sítě při ustáleném chodu je uvedeno v příloze 2 v Tab. P2-11 a proudy a výkony tekoucí jednotlivými prvky sítě při ustáleném chodu jsou uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-10.

Pro výpočet připojitelnosti pro variantu V-2 jsou procentní hodnoty napětí v uzlech sítě před a po připojení zdrojů a jejich rozdíly uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-12 a grafické znázornění změny napětí v jednotlivých uzlech je uvedeno na Obr. 8-7.



Obr. 8-7 Změna napětí v uzlech sítě při V-2

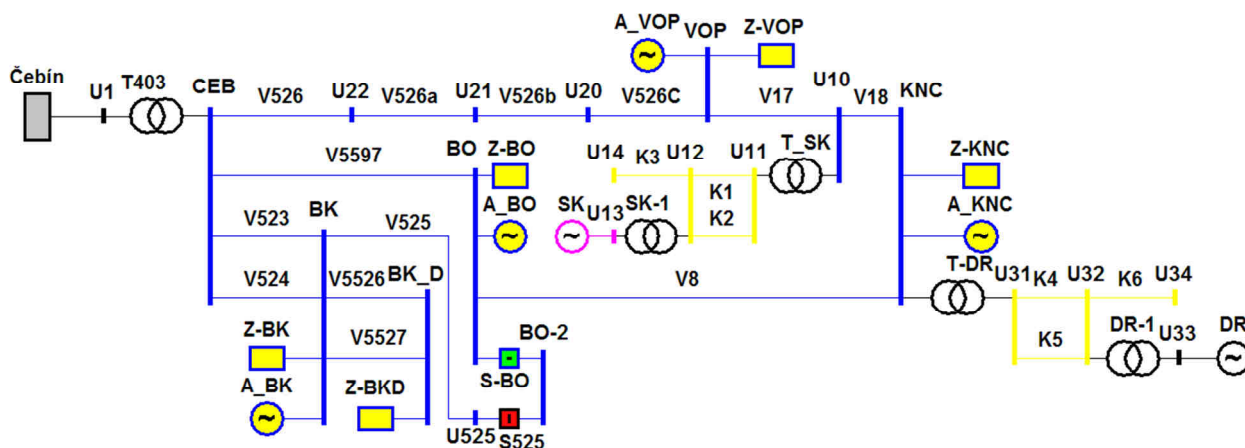
Z namodelovaných výsledků je patrné, že tato varianta připojení je možná, jelikož nedochází k přetížení žádného prvku sítě, hodnoty napětí v uzlech sítě jsou v dovolených mezích a napěťová změna způsobená připojením zdrojů do distribuční soustavy nepřekračuje 2 % nominálního napětí.

8.4 Připojení do rozvodny Konice (V-3)

Jedná se o připojení větrného parku Drahaný do rozvodny KNC. V této variantě připojení bude vedení V525 opět vypnuté v rozvodně BO. Vyvedení výkonu bude provedeno do Konic, vedeními V17 a V18 do rozvodny VOP a vedením V8 do rozvodny BO. Schéma této varianty připojení je zobrazeno na Obr. 8-8 a nastavení synchronního stroje DR je uvedeno v Tab. 8-4.

Tab. 8-4 Nastavení synchronního stroje DR pro V-3

Stroj S	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ [-]
	DR	1	45272	0,994

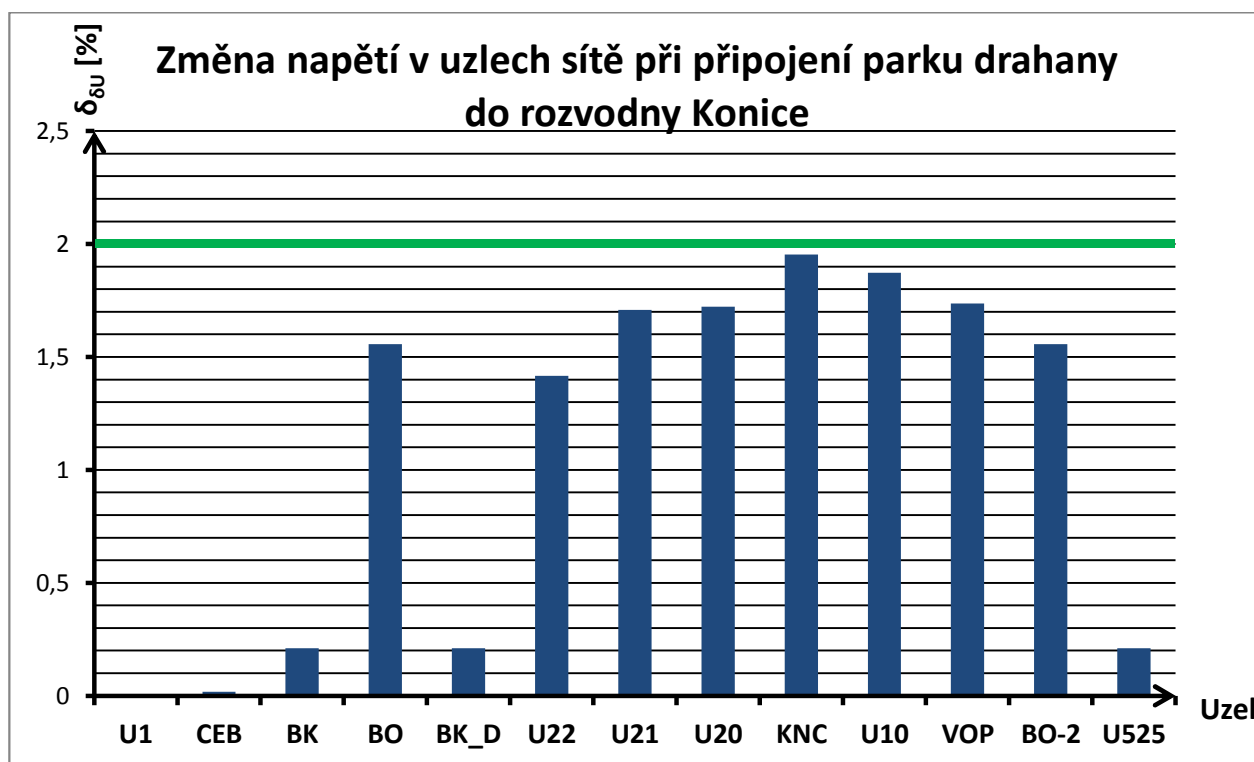


Obr. 8-8 Schéma sítě pro V-3

8.4.1 Výsledky výpočtů pro V-3

Napětí v uzlech sítě při ustáleném chodu je uvedeno v příloze 2 v Tab. P2-14 a proudy a výkony tekoucí jednotlivými prvky sítě při ustáleném chodu jsou uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-13.

Pro výpočet připojitelnosti pro variantu V-3 jsou procentní hodnoty napětí v uzlech sítě před a po připojení zdrojů a jejich rozdíly uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-15 a grafické znázornění změny napětí v jednotlivých uzlech je uvedeno na Obr. 8-9.



Obr. 8-9 Změna napětí v uzlech sítě při V-3

Z namodelovaných výsledků je patrné, že tato varianta připojení je možná, jelikož nedochází k přetížení žádného prvku sítě, hodnoty napětí v uzlech sítě jsou v dovolených mezích a napěťová změna způsobená připojením zdrojů do distribuční soustavy nepřekračuje 2 % U_n .

9 VÝBĚR VHDNÉHO PŘÍPOJNÉHO MÍSTA

Základním parametrem pro výběr možných variant připojení větrného parku Drahaný do distribuční soustavy E.ON byly co nejnižší náklady investora na vybudování přípojky větrného parku drahaný do přípojného místa v distribuční soustavě. Hlavním faktorem ovlivňujícím investiční náklady na vybudování přípojky je délka nově pokládaného kabelového vedení a tedy geografická vzdálenost mezi větrným parkem Drahaný a předávacím místem. S ohledem na investiční náklady, resp. geografickou vzdálenost větrného parku Drahaný od přípojného místa jsou v kapitole 8 řešena následující tři nejbližší přípojná místa:

- Rozvodna Boskovice (BO)
- Rozvodna Blansko (BK)
- Rozvodna Konice (KNC)

Z pohledu distribuční soustavy lze větrný park zapojit do kterékoliv rozvodny, jelikož při žádné z variant nedojde k přetížení některého z prvků sítě, napětí před i po připojení zdrojů je v toleranci $\pm 10\%$ od jmenovité hodnoty, tedy 110 kV žádný z prvků sítě není přetížen a změna napětí vyvolaná připojením zdrojů do distribuční sítě je menší než 2 % jmenovitého napětí.

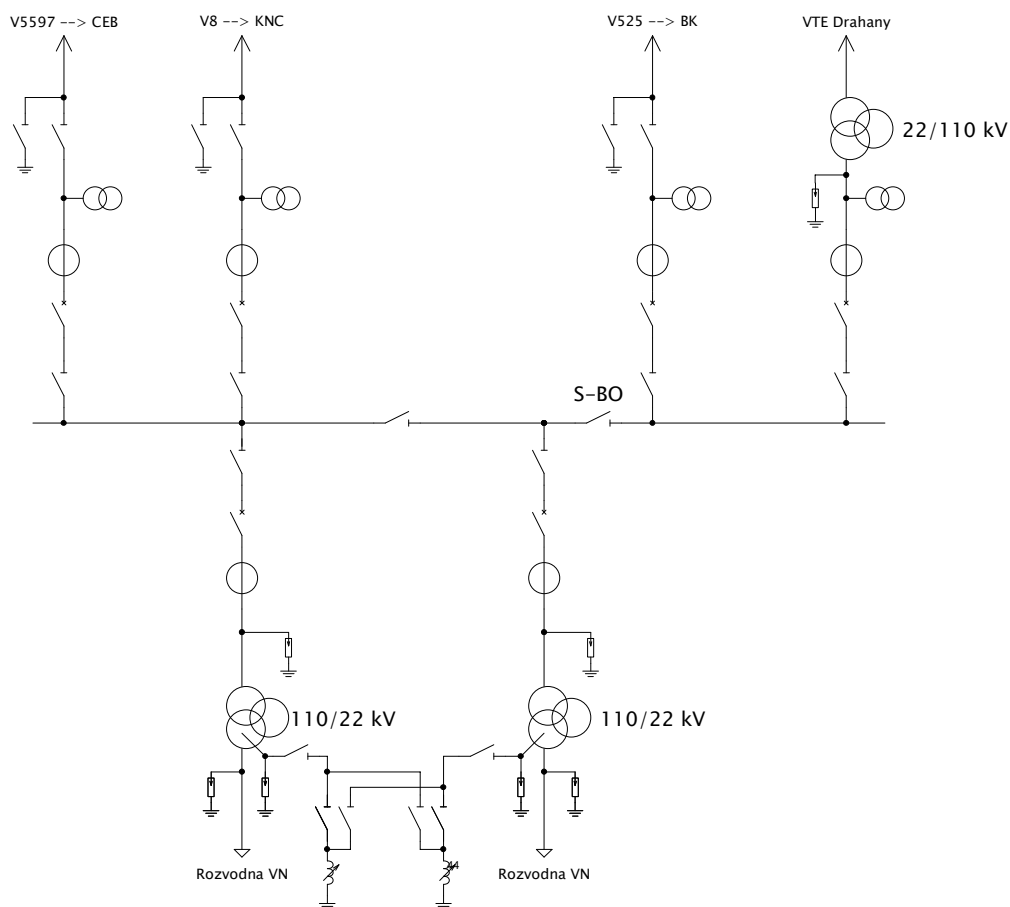
Z pohledu nákladů investora jsou tyto varianty rovnocenné, jelikož vzdálenost všech tří rozvodn od větrného parku Drahaný je přibližně stejná. Pro zpřesnění lze vzít v úvahu také profil a vlastnosti terénu, ve kterém budou probíhat stavební práce. S přihlédnutím k více zmíněným faktům se jeví jako nejvýhodnější varianta připojení větrného parku Drahaný do rozvodny BO, jelikož je mezi větrným parkem Drahaný a rozvodnou BO dobrý přístup pro těžkou techniku potřebnou k provedení výkopu pro připojovací kabel. U variant připojení větrného parku Drahaný do rozvodny BK a KNC dále vznikají investorovi vícenáklady způsobené pokládkou části kabelu v zastavěné oblasti.

Z pohledu provozovatele distribuční soustavy je z ekonomického hlediska varianta připojení větrného parku do rozvodny KNC dle [16] nevhodná, vzhledem k nutným souvisejícím terénním úpravám spojeným s výstavbou pole transformátoru pro výrobu. Varianta připojení větrného parku Drahaný do rozvodny Blansko naráží na nutnost rozšíření rozvodny mimo stávající areál, což vzhledem k majetkoprávním vztahům k pozemkům v okolí rozvodny je v současné době nemožné. Jako nejvýhodnější varianta připojení větrného parku Drahaný z pohledu investičních nákladů provozovatele distribuční soustavy se jeví připojení do rozvodny BO, jelikož je zde možnost rozšíření přímo v areálu stávající rozvodny, a tedy bez zásadních terénních úprav.

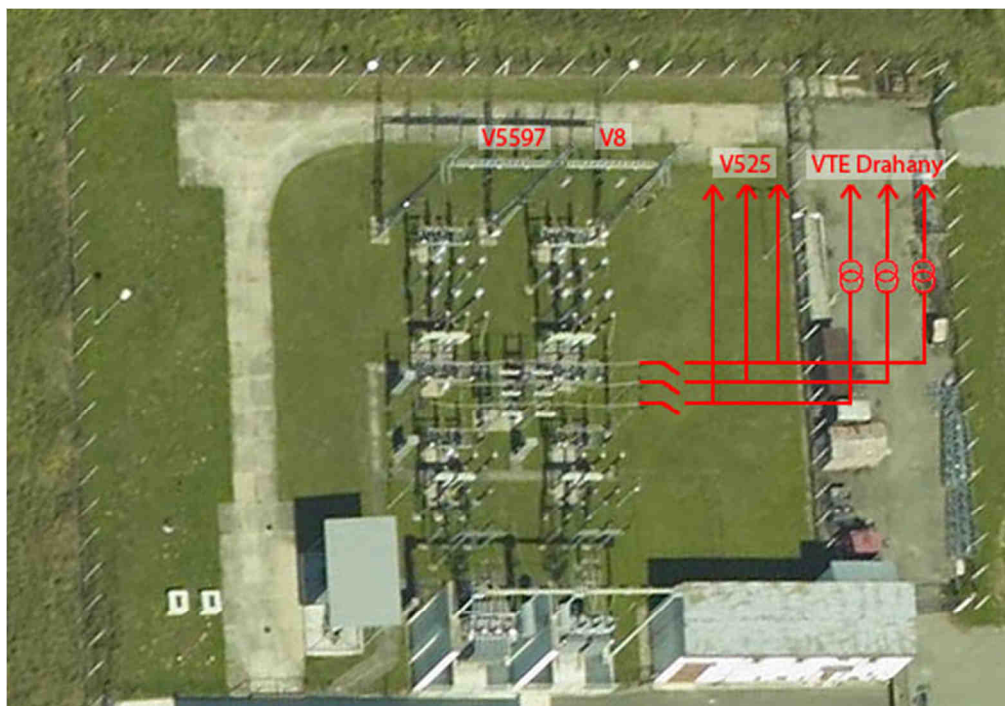
9.1 Způsob připojení do rozvodny BO

Větrný park Drahaný bude v rozvodně připojen na podélně dělený úsek přípojnice společně s vedením V525, jak je zobrazeno na Obr. 9-2, schématické znázornění rozvodny BO je uvedeno na Obr. 9-1. V provozním stavu V-1a bude výkon vyveden přes sepnutý podélný spínač přípojnic S-BO do rozvodny BO a vedení V525 bude vypnuté v rozvodně Boskovice. V případě potřeby je možné využít provozní stav V-1b, kdy výkon bude vyveden do rozvodny BK přes vedení V525 a podélný spínač přípojnic S-BO je vypnutý. V tomto případě však není dodržena povolená změna napětí na přípojnici BO-2, jelikož však do BO-2 není připojen žádný další zdroj, ani odběr, je možné tento stav považovat za vyhovující, jelikož v rozvodně BO je již tato

podmínka splněna. Lze tedy oba tyto stavy považovat za standardní a dispečer řídící distribuční soustavu může volit stav, jenž je pro něj výhodnější.



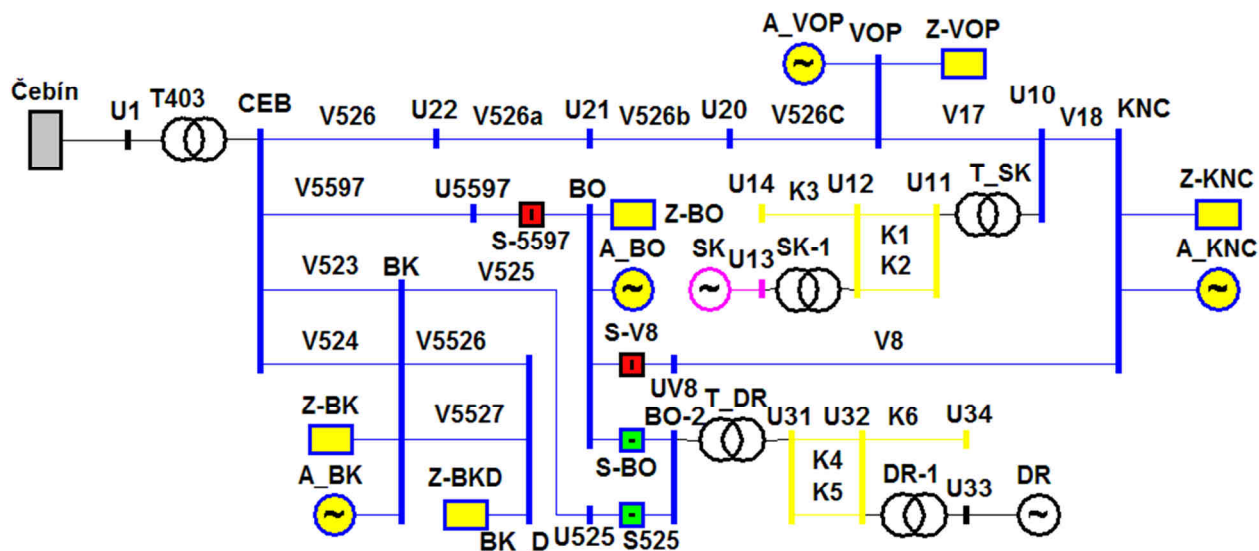
Obr. 9-1 Schéma rozvodny BO s připojeným větrným parkem Drahany



Obr. 9-2 Schématické znázornění uspořádání rozvodny BO s připojeným parkem Drahany

9.2 Kontrola nestandardního provozního zapojení (NPZ)

Při provozu větrného parku Drahaný by mohlo dojít k poruše sítě, kde rozvodna BO bude napájena pouze vedením V525, jak je vidět ve schématu na Obr. 9-3. Pro ten o případ bylo nutno do schématu domodelovat spínače S-5597 a S-V8 a s nimi související uzly U-5597 a U-V8. Nastavení synchronního stroje DR je uvedeno v Tab. 9-1 a je provedeno opět tak, aby byl účinník v předávacím místě roven 1.



Obr. 9-3 Schéma sítě s přípojením parku Drahaný při NPZ

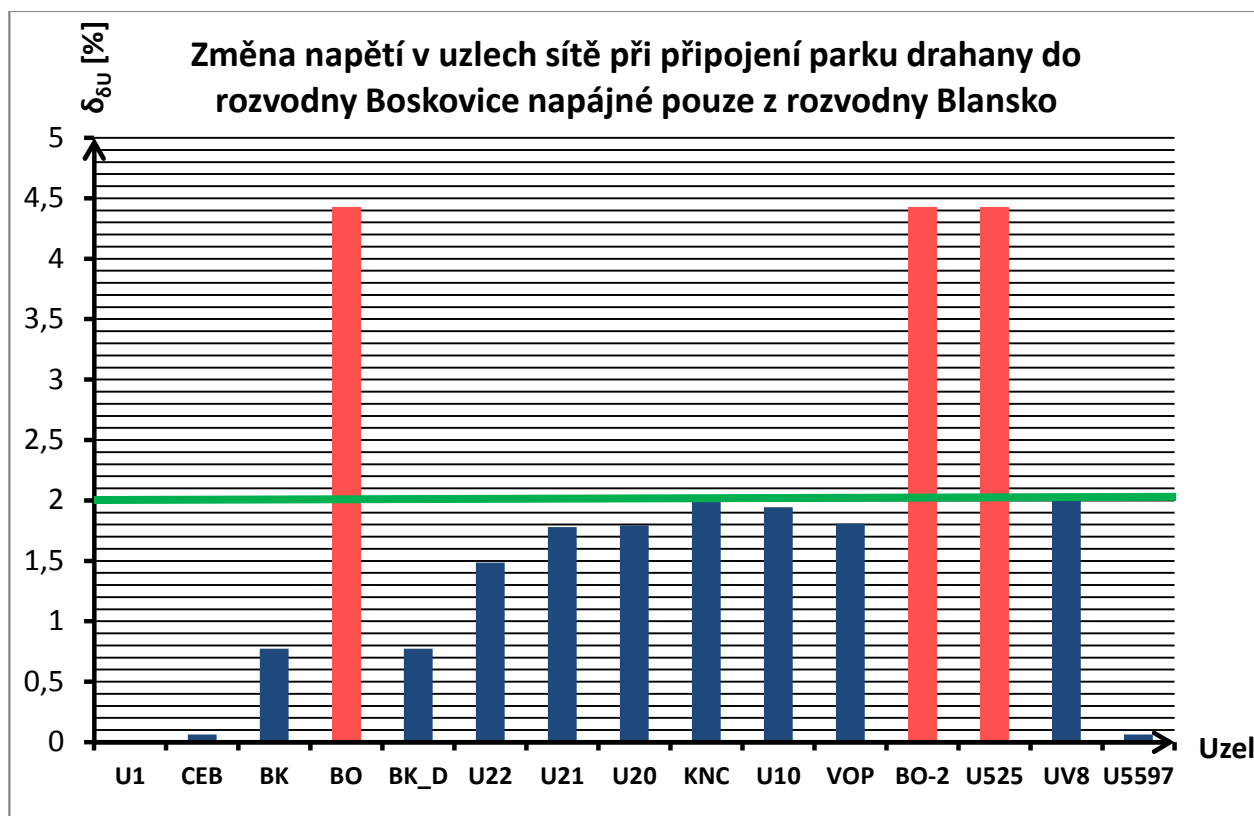
Tab. 9-1 Nastavení synchronního stroje DR pro NPZ

Stroj S	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ [-]
	DR	1	45272	0,998

9.2.1 Výsledky výpočtů pro NPZ

Napětí v uzlech sítě při ustáleném chodu je uvedeno v příloze 2 v Tab. P2-17 a proudy a výkony tekoucí jednotlivými prvky sítě při ustáleném chodu jsou uvedeny v Tab. P2-16

Pro výpočet připojitelnosti varianty připojení parku Drahaný do rozvodny BO napájené pouze z rozvodny BK jsou procentní hodnoty napětí v uzlech sítě před a po připojení zdrojů a jejich rozdíly uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-18. Grafické znázornění změny napětí v jednotlivých uzlech je uvedeno na Obr. 9-4.



Obr. 9-4 Změna napětí v uzlech sítě při NPZ

Z namodelovaných hodnot je patrné že tento provozní stav je nepřijatelný jelikož je na přípojnicích v rozvodně BO, a tedy i na přípojnicích BO-2 a v uzlu U525 změna napětí 4,27 %. Nelze tedy tento provozní stav považovat za standardní. Při nestandardním provozním stavu je však dle [17] možno provést regulaci činného nebo jalového výkonu. Nestandardním stavem se rozumí porucha, plánovaná odstávka, nebo jiný důvod, který znemožňuje provozovat soustavu ve standardním zapojení.

Pro tento nestandardní provozní stav je nutno provést regulaci jalového výkonu na QL3, tedy na účinník 0,97 induktivní. Nastavení zdroje DR pro NPZ-QL3 je uvedeno v Tab. 9-5 a schéma řešené sítě odpovídá Obr. 9-3.

Tab. 9-2 Nastavení synchronního stroje DR pro NPZ-QL3

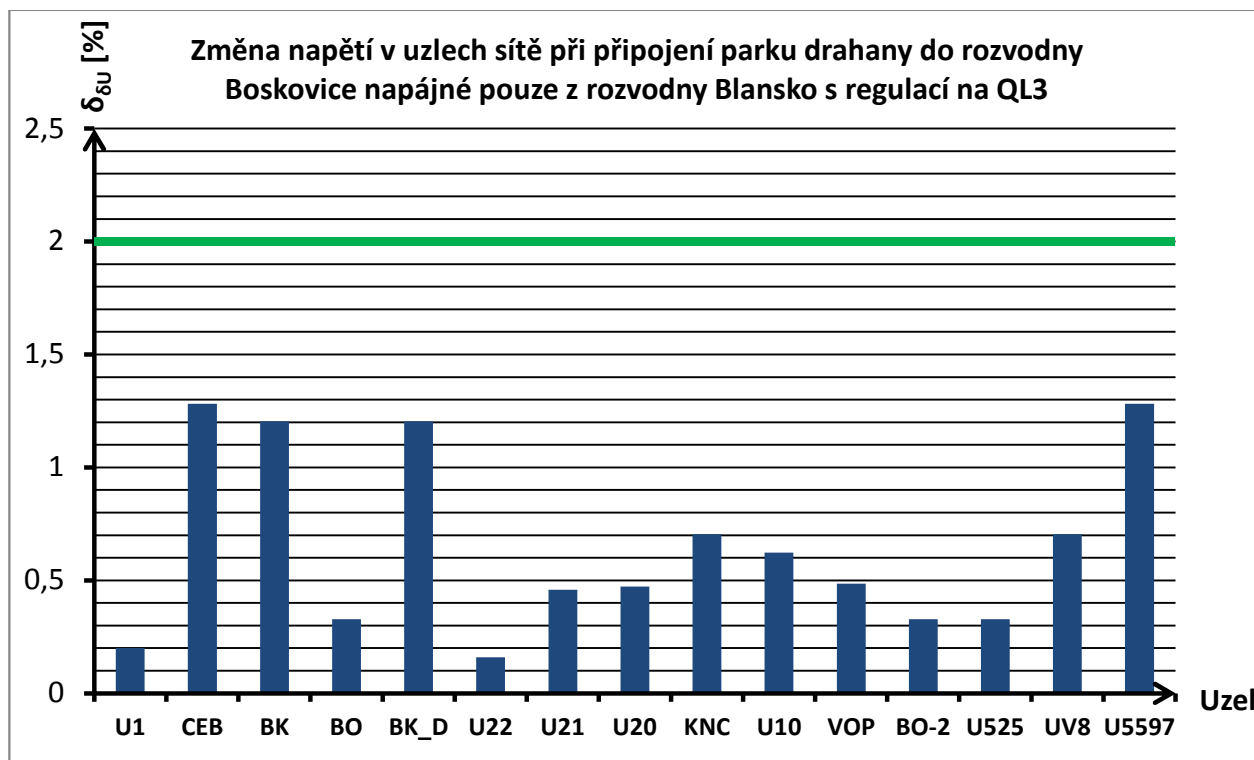
Stroj S	Název	U [kV]	S [kVA]	cos φ [-]
	DR	1	46392	-0,97

9.2.2 Výsledky výpočtů pro NPZ-QL3

Napětí v uzlech sítě při ustáleném chodu s regulací větrného parku Drahaný na stupeň QL3 je uvedeno v příloze 2 v Tab. P2-20, proudy a výkony tekoucí jednotlivými prvky sítě při ustáleném chodu jsou uvedeny v Tab. 9-19.

Pro výpočet připojitelnosti varianty připojení parku Drahaný do rozvodny BO napájené pouze z rozvodny BK s regulací na regulační stupeň QL3 jsou procentní hodnoty napětí v uzlech

sítě před a po připojení zdrojů a jejich rozdíly uvedeny v příloze 2 v Tab. P2-21 a grafické znázornění změny napětí v jednotlivých uzlech je uvedeno na Obr. 9-5.



Obr. 9-5 Změna napětí v uzlech sítě při NPZ-QL3

Pomocí regulace jalového výkonu větrného parku Drahaný nastavené na regulační stupeň QL3 je možné např. při poruše využít tohoto nestandardního provozního zapojení, při kterém vlivem podbuzení generátoru dojde k výrazné spotřebě jalového výkonu, čímž je procentní změna napětí v uzlech sítě výrazně menší, než při standardním provozním stavu, tedy stavu bez regulace, kde stroje pracují tak, aby účinník v předávacím místě byl roven 1.

Modelováním bylo zjištěno, že snižování činného výkonu větrného parku Drahaný nemá velký vliv na změnu napětí v uzlech sítě a již távající stav sítě v tomto nestandardním provozním zapojení je na samotné hraně dvouprocentního limitu. Toto je způsobeno především přetokem z distribuční soustavy VN do soustavy 110 kV v rozvodně BO, tedy na konci paprsku, který je reprezentovaný asynchronním generátorem A-BO. Bylo by tedy nutné větrný park úplně odstavit, což znamená regulovat na regulační stupeň P1, z čehož vyplývá, že je výhodnější regulace pomocí jalového výkonu a proto se v práci nebudeme zabývat variantami s regulací činného výkonu.

10 ZÁVĚR

V této práci jsme se zabývali nejvhodnější možnou variantou připojení větrného parku Drahaný o výkonu 45 MW. Pro modelaci ustálených stavů jednotlivých variant jsme využili programu E-Vlivy, v kterém jsme provedli modelaci a výpočet ustáleného stavu s konstantním výkonem a výpočet připojitelnosti zátěže s konstantním výkonem, ze kterého je patrná procentní změna napětí vlivem připojení větrných parků Skřípov a Drahaný a zdrojů reprezentujících přetoky ze soustav VN v jednotlivých uzlech řešené distribuční sítě 110 kV. Zdroje reprezentujících přetoky ze soustav VN jsou nastaveny na účinník roven jedné, tedy dodávají pouze činný výkon, jehož velikost je maximální naměřená hodnota, což představuje nejhorší variantu. Větrné parky Skřípov a Drahaný jsou nastaveny tak, aby byl účinník v předávacím místě při každé možné variantě připojení roven jedné a stroje pracovali s nominálním činným výkonem.

Jako možná přípojná místa jsme vybrali rozvodny Boskovice (BO), Blansko (BK) a Konice (KNC). Tato volba vychází z toho, že investiční náklady a náklady na ztráty na vedení ve vlastnictví investora větrného parku Drahaný jsou závislé zejména na vzdálenosti přípojného místa od zdroje, tedy na délce vedení od větrného parku do přípojného místa. Zvolené rozvodny jsou nejbližšími rozvodnami a jejich vzdálenost od větrného parku Drahaný je přibližně stejná. Z vypočítaných hodnot jednotlivých variant připojení uvedených v kapitole 8 je patrné, že z hlediska provozu distribuční sítě 110 kV je možno připojit větrný park Drahaný do kterékoliv z výše uvedených rozvodn. Z hlediska vzdálenosti by bylo možné připojit větrný park Drahaný také do rozvodny Prostějov (PRT). V oblasti Prostějov je však připojeno velké množství zdrojů a nejsou zde tedy volné kapacity pro připojení nových zdrojů. Z tohoto důvodu nebyla tato varianta v práci řešena.

Nejvhodnější přípojné místo větrného parku Drahaný je rozvodna BO, jelikož je zde prostor pro rozšíření rozvodny bez větších terénních úprav, na kterých jsou z velké části závislé celkové investiční náklady nutné pro úpravu rozvodny pro připojení větrného parku Drahaný do distribuční soustavy 110 kV. V rozvodně KNC by byly náklady pro distribuční společnost E.ON vzhledem k nutným terénním úpravám spojeným s výstavbou pole transformátoru přípojky větrného parku Drahaný větší, než v případě připojení do rozvodny BO. Pro připojení větrného parku Drahaný do rozvodny BK by bylo nutné rozšíření rozvodny, což v současné době z důvodu majetkoprávních vztahů okolních pozemků rozvodny není možné. Při připojení větrného parku Drahaný do rozvodny BK by dále vznikly investiční náklady spojené s pokládkou části kabelu v zastavěné oblasti.

Větrný park Drahaný bude v rozvodně BO připojen společně s vedením V525 na úsek přípojnice oddělený podélným spínačem S-BO. Pro vyvedení výkonu jsou k dispozici dva možné standardní provozní stavy, kdy v prvním z nich (V-1a) je výkon vyveden přes sepnutý podélný spínač přípojnic do transformátorů a do rozvodny VN, případně přebytek výkonu je vyveden přes vedení V5597 a V8 do rozvodn CEB a KNC, vedení V525 je v tomto provozním zapojení vypnuté v rozvodně BO. Druhý možný standardní stav (V-1b) je vyvedení výkonu větrného parku Drahaný přes vedení V525 do rozvodny BK, kdy v rozvodně BO bude vypnut podélný spínač přípojnic S-BO. Při řízení distribuční sítě bude dispečer moci vybrat stav, který je pro provoz výhodnější.

V případě plánované nebo i neplánované odstávky z důvodu poruchy, revize, údržby nebo opravy zařízení může nastat provozní stav, kdy rozvodna BO bude napájena pouze vedením V525 z rozvodny BK, spínač S-BO bude v tomto případě sepnutý. Tento provozní stav však

nelze považovat za standardní, jelikož je rozvodna BO napájena pouze paprskově vedením V525. V tomto nestandardním provozním stavu je pro dodržení dovolené procentní změny napětí způsobené připojením zdrojů nutno regulovat jalový výkon větrného parku Drahaný na regulační stupeň QL3 tedy na účinník 0,97 induktivní, nebo regulovat činný výkon na regulační stupeň P1, tedy úplně odstavit větrný park Drahaný. Výhodnější je však varianta regulace jalového výkonu, jelikož není omezen činný výkon větrného parku Drahaný.

Výstupem této diplomové práce je studie obsahující relevantní možnosti připojení větrného parku Drahaný do distribuční soustavy včetně možných provozních zapojení a bude sloužit společnosti E.ON jako jeden z dílčích dokumentů posouzení vhodného přípojného místa větrného parku Drahaný do distribuční soustavy 110 kV.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HALUZÍKOVÁ, A. *Numerické metody*. Brno: VUT v Brně, 1989, 124 s. ISBN 80-214-0039-0
- [2] FAJMON, B., RŮŽIČKOVÁ, I. *Matematika 3*. Brno: VUT v Brně, 2005
- [3] HALUZÍK, E. *Řízení provozu elektrizačních soustav*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 126 s.
- [4] BALOUN, M., KYSNAR, F., STAŠEK, O. *E-Vlivy verze 2.0.1*, České Budějovice: EGC - EnerGoConsult ČB, s.r.o., 41 s.
- [5] EnerGoConsult ČB s.r.o. *E-Vlivy*. [online]. Cit. 3. 12. 2011. Dostupné na: <<http://www.egc-cb.cz/vlivy/hlavni.html>>
- [6] SÝKORA, T. *Problematika připojování větrných elektráren do distribuční sítě*. [online]. 6. 8. 2007. Cit. 12. 12. 2011. Dostupné na: <<http://www.tzb-info.cz/4279-problematika-pripojovani-vetrnych-elektren-do-distribucni-site>>
- [7] BRANČÍK, L. *Elektrotechnika 1*, Brno: VUT v Brně, 160 s.
- [8] MASTANÝ, P. *MMZE (přednáška)*, Brno: VUT v Brně, 19. 10. 2010.
- [9] TOMAN, P. *MRES (přednáška)*, Brno: VUT v Brně, 20. 10. 2011.
- [10] PROCHÁZKA, K., PLACHKÝ, V. *POSOUZENÍ PŘIPOJITELNOSTI FAREM VTE SKŘÍPOV 12*2000 KW A MALÉ HRADSKO 16*2000 KW DO SÍTĚ 110 KV E.ON DISTRIBUCE*. České Budějovice: EGC, 2008, 51 s.
- [11] PROCHÁZKA, K., PLACHKÝ, V. KYSNAR, F. *Studie připojitelnosti farmy větrných elektráren 36MW v lokalitě Drahaný do sítě 110 kv E.ON Distribuce, a.s.* České Budějovice: EGC, 2011, 88 s.
- [12] E.ON. Firemní dokumentace E.ON, 12. 11. 2011.
- [13] OPAT, JAROSLAV. E.ON, Cejl 42/44, Brno 25. 11. 2011.
- [14] ORSÁGOVÁ, J., PTÁČEK, J., MOTLITBA, P., aj. *POTENCIÁL VÝSTAVBY VTE V ČR A MOŽNOSTI ELEKTRICKÝCH SÍTÍ PRO JEJICH PŘIPOJENÍ - ČÁST I*. [online] Cit. 8. 2. 2012. Dostupné na: <http://www.litovany.ic.cz/index_soubory/down/s4_01_09.pdf>
- [15] 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>
- [16] OPAT, JAROSLAV. E.ON, Cejl 42/44, Brno 3. 4. 2011.
- [17] E.ON. *E ON podklady pro připojení zdrojů nad 630kVA*. [online] 4. 1. 2012 Cit. 18. 4. 2012. Dostupné na: <http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/technical_information/EON-podklady-pro-pripojeni-zdroju-nad-630kva.pdf?v=02>