

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

Výpočet ustáleného chodu sítě 110kV

DIPLOMOVÁ PRÁCE

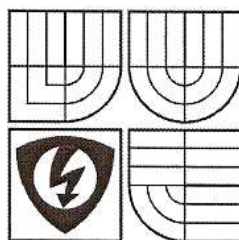
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

BC. VLADIMÍR TAUŠ

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Tauš Vladimír, Bc.

Ročník: 2

ID: 88796

Akademický rok: 2007/08

NÁZEV TÉMATU:

Výpočet ustáleného chodu sítě 110 kV

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je vytvořit program pro výpočet chodu sítě, s jeho pomocí posoudit stav zadané sítě 110 kV při současném a budoucím zatížení, navrhnout potřebná investiční opatření a stanovit ekonomicky optimální dobu jejich realizace.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího

Termín zadání: 17.12.2007

Termín odevzdání: 28.5.2008

Vedoucí projektu: Ing. David Topolánek

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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Vladimír Tauš
Bytem: Družstevní 235, 66443, Želešice
Narozen/a (datum a místo): 26.9.1983, Brno

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☒ diplomová práce
- ☐ bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Výpočet ustáleného chodu sítě 110 kV

Vedoucí/školicitel VŠKP: Ing. David Topolánek

Ústav: Ústav elektroenergetiky

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě - počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

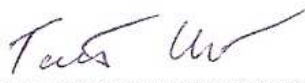
Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 26. 5. 2008

.....
Nabyvatel


.....
Autor

Bibliografická citace práce:

TAUŠ, V. Výpočet ustáleného chodu sítě 110kV. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2007, 117 stran. Vedoucí diplomové práce Ing. David Topolánek

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

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Davidu Topolánkovi za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Výpočet ustáleného chodu sítě 110kV

Bc. Vladimír Tauš

vedoucí: Ing. David Topolánek

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2007

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Master's Thesis

Load Flow Solution of a 110kV Network

by

Bc. Vladimír Tauš

Supervisor: Ing. David Topolánek

Brno University of Technology, 2007

Brno

ABSTRAKT

Obsahem této práce je teoretický úvod do problematiky ustáleného chodu sítí, teoretický rozbor metod, které slouží k výpočtu ustáleného chodu sítí, jako je například Gauss Seidlova iterační metoda nebo Newton Raphsonova modifikovaná metoda. Dále se tato práce zabývá ekonomikou v energetice, konkrétně určováním nákladů vedení a výpočtem optimální doby výstavby posilujícího vedení při růstu zatížení. V práci je uveden výpočet ustáleného chodu zadané sítě jak za normálního bezporuchového provozu, tak pro kritérium $(n-1)$. Dále pak její rozbor a návrh posilujících opatření.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektrizační soustava; ustálený chod sítě; iterační metoda; posilující vedení; náklady vedení; optimální doba výstavby;

ABSTRACT

Content of this thesis is theoretic introduction to the steady state of network, theoretic analysis of methods, which serves for calculation of steady state of network such as Gauss Seidel iterative method or Newton Raphson modified method and economy in the energetics, concretely fixation of costs of the power line and calculation of the optimal time of building up the recuperative power line. This thesis includes calculation of steady state of requested network with normal trouble-free network and for criterion (n-1), their analysis and design of recuperative precaution.

KEY WORDS: electricity supply systém; steady state of network; iterative method; recuperative power line; costs of the power line; optimal time of the building up

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM TABULEK	14
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	17
1 ÚVOD.....	19
2 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU JAKO LINEÁRNÍ ÚLOHA	20
2.1 ELIMINACE BILANČNÍHO UZLU	22
3 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU JAKO NELINEÁRNÍ ÚLOHA.....	23
3.1 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU GAUSS-SEIDLOVOU ITERAČNÍ METODOU	25
3.2 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU NEWTONOVOU-RAPHSONOVOU MODIFIKOVANOU ITERAČNÍ METODOU	28
3.3 ZJEDNODUŠENÁ NEWTONOVA METODA.....	31
4 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI VÝPOČTU USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ	33
5 PROGRAMY PRO ŘEŠENÍ USTÁLENÉHO CHODU POUŽÍVANÉ V PRAXI.....	34
5.1 SYSTÉM DAISY PAS OFFLINE BIZON.....	34
5.1.1 ZÁKLADNÍ VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ DATA	35
5.2 PROGRAM EMDAT	36
5.2.1 ÚČEL PROGRAMU	36
5.2.2 METODIKA VÝPOČTU	36
6 URČOVÁNÍ NÁKLADŮ V ELEKTROENERGETICE.....	37
6.1 OCEŇOVÁNÍ ZTRÁT	37
6.2 NÁKLADY VEDENÍ	38
6.3 NÁKLADY VEDENÍ PŘI RŮSTU ZATÍŽENÍ	39
6.4 VÝSTAVBA DRUHÉHO VEDENÍ	40
7 VYTVOŘENÍ PROGRAMU PRO VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ POMOCÍ MATLABU	43
7.1 ZHODNOCENÍ METOD	43
8 VÝPOČET ZADANÉ SÍTĚ	44
8.1 ZADÁNÍ	44
8.2 VÝSLEDKY VÝPOČTU	48
8.2.1 ZHODNOCENÍ SÍTĚ PŘI SOUČASNÉM ZATÍŽENÍ.....	51
8.2.2 ZHODNOCENÍ SÍTĚ PŘI ZATÍŽENÍ ZA 20 LET S $P_z = 1\%$	52
8.2.3 ZHODNOCENÍ SÍTĚ PŘI ZATÍŽENÍ ZA 20 LET S $P_z = 3\%$	53
8.2.4 ZHODNOCENÍ SÍTĚ PŘI ZATÍŽENÍ ZA 20 LET S $P_z = 5\%$	55
9 NÁVRH POSÍLENÍ SÍTĚ	56
9.1 SOUČASNOST	57
9.2 ZA DOBU 20 LET S $P_z=1\%$	59
9.3 ZA DOBU 20 LET S $P_z=3\%$	61

9.4 ZA DOBU 20 LET S $P_z=5\%$	62
10 NÁVRH OPTIMÁLNÍ DOBY K VYSTAVĚNÍ POSILUJÍCÍHO VEDENÍ	63
10.1 NÁVRH OPTIMÁLNÍ DOBY VYSTAVĚNÍ POSILUJÍCÍHO VEDENÍ NA TRASE MIR-BEJ ($P_z = 3\%$)	63
10.2 VÝPOČET AKTUALIZOVANÝCH NÁKLADŮ PRO NOVĚ NAVRŽENOU LINKU SVL-MBU	66
10.2.1 LINKA SVL-MBU V PŘÍPADĚ $P_z = 1\%$	66
10.2.2 LINKA SVL-MBU V PŘÍPADĚ $P_z = 3\%$	67
11 ZÁVĚR.....	67
POUŽITÁ LITERATURA	69
PŘÍLOHA A PROGRAMY PRO VÝPOČET GAUSS SEIDLOVI ITERAČNÍ METODY A NEWTON RAPHSONOVI MODIFIKOVANÉ METODY	70
PŘÍLOHA B PARAMETRY ZADANÉ SÍTĚ	77
PŘÍLOHA C VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PRO ZATÍŽENÍ V SOUČASNOSTI.....	80
PŘÍLOHA D VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PŘI ZATÍŽENÍ ZA 20 LET S $P_z = 1\%$	90
PŘÍLOHA E VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PŘI ZATÍŽENÍ ZA 20 LET PŘI $P_z = 3\%$	101
PŘÍLOHA F VÝSLEDKY VÝPOČTŮ PŘI ZATÍŽENÍ ZA 20 LET PŘI $P_z = 5\%$	112
PŘÍLOHA G UPŘESNĚNÍ PRO SÍŤ 1 V NORMÁLNÍM PROVOZU.....	118

Seznam obrázků

<i>obr. 1: Příklad ES [1].....</i>	<i>20</i>
<i>obr. 2: Fázorový diagram napětí a proudu s induktivním fázovým posunem[1].....</i>	<i>23</i>
<i>obr. 3: Nahrazení prvků sítě π článkem</i>	<i>24</i>
<i>obr. 4: Algoritmus řešení ustáleného chodu pomocí Gauss Seidlovi iterační metody [5].....</i>	<i>27</i>
<i>obr. 5: Algoritmus řešení ustáleného chodu pomocí Newton Raphsonovi modifikované metody [5]</i>	<i>31</i>
<i>obr.6: Schéma sítě 1</i>	<i>44</i>
<i>obr.7: Schéma sítě 2</i>	<i>45</i>
<i>obr.8: Výpadek v uzlu SVL - schéma sítě</i>	<i>46</i>
<i>obr.9: Výpadek v uzlu MIR - schéma sítě.....</i>	<i>47</i>
<i>obr.10: Nahrazení vedení z uzlu SL do uzlu MZR π-článkem</i>	<i>49</i>
<i>obr.11: Návrh sítě 1 aby vyhovovala v současnosti</i>	<i>57</i>
<i>Obr.12: Aktuální geografický stav sítě 1</i>	<i>57</i>
<i>obr.13: Návrh sítě 2 aby vyhovovala v současnosti</i>	<i>58</i>
<i>Obr.14: Geografický stav sítě 2 v současnosti plus plánované posílení (červeně).....</i>	<i>58</i>
<i>obr.15: Návrh sítě 1 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=1\%$</i>	<i>59</i>
<i>Obr.16: Geografický stav sítě 1 po provedení plánovaných změn.....</i>	<i>59</i>
<i>obr.17: Návrh sítě 2 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=1\%$</i>	<i>60</i>
<i>obr.18: Návrh sítě 1 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=3\%$</i>	<i>61</i>
<i>obr.19: Návrh sítě 2 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=3\%$</i>	<i>61</i>

Seznam tabulek

<i>Tab.1: Znaménka činných a jalových výkonů při induktivním a kapacitním odběru a dodávce [1]</i>	24
<i>Tab. 2: Nevyhovující vedení při současném zatížení.....</i>	51
<i>Tab. 3: Nevyhovující vedení při zatížení za 20 let s $p_z = 1\%$.....</i>	52
<i>Tab. 4: Nevyhovující vedení při zatížení za 20 let s $p_z = 3\%$.....</i>	53
<i>Tab. 5: pokračování tabulky 4.....</i>	54
<i>Tab. 6: Nevyhovující vedení při zatížení za 20 let s $p_z = 5\%$.....</i>	55
<i>Tab. 7: Vypočtené hodnoty x.....</i>	64
<i>Tab. 8: Vypočtené aktualizované náklady pro jednotlivé roky pro linku SVL-MBU, $p_z = 1\%$.....</i>	66
<i>Tab. 9: Vypočtené aktualizované náklady pro jednotlivé roky pro linku SVL-MBU, $p_z = 3\%$.....</i>	67
<i>Tab. 10: Parametry vedení sítě 1.....</i>	77
<i>Tab. 11: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 1 v současnosti a za 20let pro $p_z=1\%$ a $p_z=3\%$.....</i>	78
<i>Tab. 12: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 1 za 20 let s $p_z=5\%$.....</i>	78
<i>Tab. 13: Parametry vedení sítě 2.....</i>	79
<i>Tab. 14: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 2 v současnosti a za 20let pro $p_z=1\%$ a $p_z=3\%$.....</i>	79
<i>Tab. 15: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 2 za 20 let s $p_z=5\%$.....</i>	79
<i>Tab. 16: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 1 v současnosti(normální stav).....</i>	80
<i>Tab. 17: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1 v současnosti(normální stav).....</i>	81
<i>Tab. 19: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 v současnosti (normální stav).....</i>	82
<i>Tab. 20: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2 v současnosti (normální stav).....</i>	82
<i>Tab. 21: Vypočtené hodnoty zdánlivého výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2 v současnosti (normální stav).....</i>	83
<i>Tab. 22: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení v současnosti (výpadek SVL).....</i>	84
<i>Tab. 23: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení v současnosti (výpadek MIR).....</i>	85
<i>Tab. 24: Výpadek vedení 1317z (současnost).....</i>	86
<i>Tab.25: Výpadek vedení 1318z (současnost).....</i>	86
<i>Tab. 26: Výpadek vedení 1309 (současnost).....</i>	87
<i>Tab. 27: Výpadek vedení 1315z (současnost).....</i>	87
<i>Tab. 28: Výpadek vedení 5580 (současnost).....</i>	88
<i>Tab. 29: Výpadek vedení 549 (současnost).....</i>	88
<i>Tab. 30: Výpadek vedení 5523 (současnost).....</i>	89
<i>Tab. 31: Výpadek vedení 520 (současnost).....</i>	89
<i>Tab. 32: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 1, $p_z=1\%$ (normální stav).....</i>	90

Tab. 33: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1, $p_z=1\%$ (normální stav)	91
Tab. 34: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení a činných a jalových ztrát ve vedení sítě 1, $p_z=1\%$ (normální stav).....	91
Tab. 35: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2, $p_z=1\%$ (normální stav).....	92
Tab. 36: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2, $p_z=1\%$ (normální stav)	92
Tab. 37: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2, $p_z=1\%$ (normální stav).....	93
Tab. 38: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení, $p_z = 1\%$, (výpadek SVL).....	94
Tab. 39: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení, $p_z = 1\%$, (výpadek MIR)	95
Tab. 40: Výpadek vedení 1317z ($p_z = 1\%$).....	96
Tab. 41: Výpadek vedení 1318z ($p_z = 1\%$).....	96
Tab. 42: Výpadek vedení 1309 ($p_z = 1\%$).....	97
Tab. 43: Výpadek vedení 1310 ($p_z = 1\%$).....	97
Tab. 44: Výpadek vedení 1315z ($p_z = 1\%$).....	98
Tab. 45: Výpadek vedení 5580 ($p_z = 1\%$).....	98
Tab. 46: Výpadek vedení 549 ($p_z = 1\%$).....	99
Tab. 47: Výpadek vedení 5523 ($p_z = 1\%$).....	99
Tab. 48: Výpadek vedení 520 ($p_z = 1\%$).....	100
Tab. 49: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 1, $p_z=3\%$ (normální stav).....	101
Tab. 50: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1, $p_z=3\%$ (normální stav)	102
Tab. 51: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 1, $p_z=3\%$ (normální stav).....	102
Tab. 52: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 za 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení o 3% (normální stav)	103
Tab. 53: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2, $p_z=3\%$ (normální stav)	103
Tab. 54: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2, $p_z=3\%$ (normální stav)	104
Tab. 55: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení , $p_z = 3\%$, (výpadek SVL).....	105
Tab. 56: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení, $p_z = 3\%$, (výpadek MIR)	106
Tab. 57: Výpadek vedení 1317z ($p_z = 3\%$).....	107
Tab. 58: Výpadek vedení 1318z ($p_z = 3\%$).....	107
Tab. 59: Výpadek vedení 1309 ($p_z = 3\%$).....	108
Tab. 60: Výpadek vedení 1310 ($p_z = 3\%$).....	108
Tab. 61: Výpadek vedení 1315z ($p_z = 3\%$).....	109

Tab. 62: Výpadek vedení 5580 ($p_z = 3\%$).....	109
Tab. 63: Výpadek vedení 549 ($p_z = 3\%$).....	110
Tab. 64: Výpadek vedení 5523 ($p_z = 3\%$).....	110
Tab. 65: Výpadek vedení 520 ($p_z = 3\%$).....	111
Tab. 66: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 1, $p_z=5\%$ (normální stav).....	112
Tab. 67: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1, $p_z=5\%$ (normální stav).....	113
Tab. 68: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 1, $p_z=5\%$ (normální stav).....	113
Tab. 69: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 za 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení o 5%.....	114
Tab. 70: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2, $p_z=5\%$ (normální stav).....	114
Tab. 71: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2, $p_z=5\%$ (normální stav).....	115
Tab. 72: Výpadek vedení 1318z ($p_z = 5\%$).....	115
Tab. 73: Výpadek vedení 1309 ($p_z = 5\%$).....	116
Tab. 74: Výpadek vedení 1310 ($p_z = 5\%$).....	116
Tab. 75: Výpadek vedení 1315z ($p_z = 5\%$).....	117
Tab. 76: Tabulka pro linku 1315 (z uzlu MIR do uzlu ZDAS):	118
Tab. 77: Tabulka pro linku 1317 (z uzlu MIR do uzlu BEJ):	118
Tab. 78: Tabulka pro linku 1315 (z uzlu MIR do uzlu HEO):.....	118

Seznam symbolů a zkratek

B	susceptance
$\cos \varphi$	účinník
h	délka úseku vedení předcházejícího i-tému odběru
\bar{I}	fázor elektrického proudu
I_i	proud tekoucí vedením před i tým odběrem
\bar{I}^*	fázor elektrického proudu (komplexně sdružený)
$[J]$	matice parciálních derivací, tzv. Jacobián
k	činitel rozložení zatížení podél vedení
K_i	pořizovací náklady vedení
k_{ik}	pořizovací náklady na kilometr délky vedení
K_{i1}^A	pořizovací náklady prvního vedení,
K_{i2}^A	aktualizované pořizovací náklady druhého vedení (investice v roce n_1)
K_{izb}^A	aktualizovaná zbytková hodnota druhého vedení na konci roku n
k_m	poměrná doba užívání maxima
k_Δ	poměrná doba plných ztrát
l	celková délka vedení
N	roční náklady na vedení
N_i	stálá složka nákladů
$N_{\text{údr}}$	roční náklady na údržbu
$N_{\text{údr}A}$	celkové aktualizované náklady na údržbu
N^A	aktualizované náklady obou vedení za celé období ($0 \div n$)
$N_{\text{údr}1}^A$	aktualizované náklady na údržbu prvního vedení za období $0 \div n$
$N_{\text{údr}2}^A$	aktualizované náklady na údržbu druhého vedení za období $n_1 \div n$
N_Δ	proměnná složka nákladů
$N_{\Delta 1}^A$	aktualizované náklady na ztráty za dobu, kdy je v provozu pouze jedno vedení (období $0 \div n_1$)
$N_{\Delta 1+2}^A$	aktualizované náklady na ztráty za dobu, kdy jsou v provozu obě vedení (období $n_1 \div n$)
n_Δ	celkové měrné náklady na ztráty

P	činný výkon
p	celkové roční procento
P_m	maximální zatížení
P_{pr}	přechodový výkon
P_0	počáteční činný výkon
p_z	roční procentní nárůstu zatížení
Q	jalový výkon
q	úročitel
q^{-i}	odúročitel
R	činný odpor
R_n	zásobitel
R_k	činný odpor na kilometr délky vedení
\overline{S}	fázor zdánlivého výkonu
\overline{S}^*	fázor zdánlivého výkonu (komplexně sdružený)
s	průřez vodičů
s_h	hospodárný průřez
S_n	jmenovitý výkon
SO	počáteční jalový výkon
T	perioda
T_m	doba užívání maxima
T_Δ	doba plných ztrát
\overline{U}	fázor napětí
\overline{U}^*	fázor napětí (komplexně sdružený)
\overline{Y}	fázor admitance uzlové matice
\overline{y}	fázor admitance jednotlivých větví
α	fázový posuv proudu
ΔP	ztráty činného výkonu
ΔQ	ztráty jalového výkonu
ΔW	ztráty elektrické energie
δ	fázový posuv napětí
φ	fázový posuv mezi napětím a proudem
ρ	rezistivita

1 Úvod

Hlavní úlohou elektrizační sítě je přenos elektrické energie z místa výroby do místa spotřeby, tedy k odběratelům. Elektrizační síť je tvořena souhrnem vedení, které může být vedené vzduchem, pomocí různých typů stožáru nebo může být kabelové.

Ustálený chod elektrizační soustavy je přenosový stav soustavy, při kterém je možné považovat její proměnné parametry za konstantní. Hlavním důvodem, proč se provádí výpočet ustáleného chodu sítě je zjišťování činných a jalových výkonů, ztrát, napěťových poměrů v jednotlivých prvcích a uzlech elektrizační sítě či zjišťování, zda není nějaké vedení proudově přetíženo. Všechny tyto informace jsou nutné k řízení provozu a navrhování dalšího rozvoje elektrizační soustavy. Dále se také hodnoty vypočítané při ustáleném stavu používají při řešení řady optimalizačních úloh jako je hospodárné rozdělování výroby činných a jalových výkonů, optimální regulace napětí a hodnocení spolehlivosti elektrizační sítě. Výpočet se zpravidla provádí pro maximální a minimální zatížení sítě a při výpočtu uvažujeme, že soustava (zdroje, přenosové prvky a odběry) je souměrná, což znamená, že úlohu můžeme řešit jako jednofázovou souslednou síť. Všechny prvky elektrizační soustavy (vedení, transformátory, generátory, zátěže) se při výpočtu ustáleného chodu nahrazují pomocí jejich modelů.

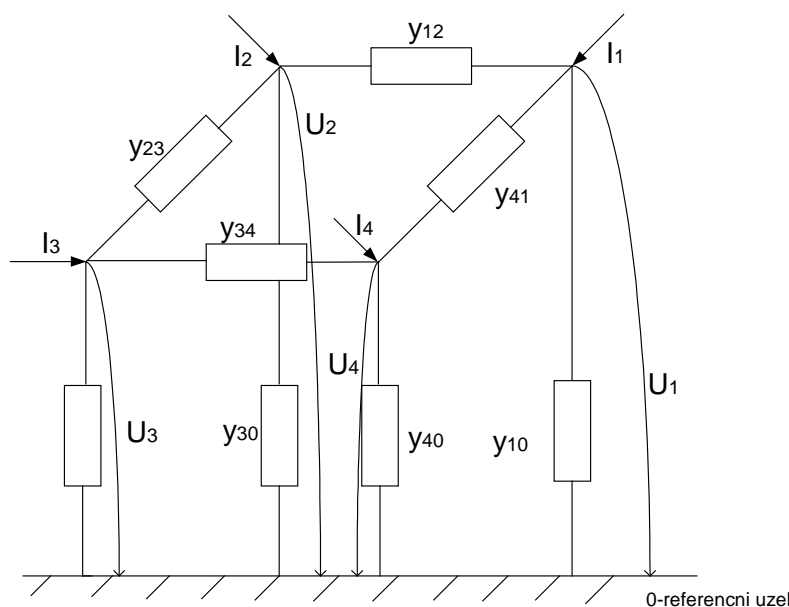
Při sestavování základních rovnic ustáleného chodu se využívá metoda uzlových napětí, pomocí které se sestavuje admitanční matice v které je určitým způsobem, který je uveden v této práci, zakódována konfigurace sítě.

V praxi jsou obvykle odběry a dodávky zadány jako činné a jalové výkony. V tomto případě matematická formulace výpočtu ustáleného chodu sítě vede k soustavě nelineárních rovnic což znamená, pro řešení ustáleného chodu musíme využít některou z iteračních metod, popřípadě jejich kombinaci tak, aby byla zaručena konvergence. Mezi nejrozšířenější iterační metody patří Gauss-Seidlova iterační metoda a Newton-Raphsonova modifikovaná iterační metoda pomocí nichž se určí neznámé prvky nelineárních rovnic (hledaná uzlová napětí) a poté se dopočítají toky výkonů v síti a výkonové ztráty. U některých výpočtů, například tam, kde není zapotřebí příliš velká přesnost se úloha linearizuje. To znamená, že výkony zadané v jednotlivých uzlech se převedou na proudy podělením střední hodnotou očekávaného napětí v uzlech sítě nebo napětím jmenovitým. Tento způsob výpočtu se používá u dlouhodobého plánování rozvoje elektrizační sítě nebo pro výpočty spolehlivosti.

2 Výpočet ustáleného chodu jako lineární úloha

Při výpočtu ustáleného chodu jako lineární úlohy předpokládáme, že jsou zadány odebírané a dodávané proudy do uzlů sítě. Prvky ES jsou zadány jejich podélnými a příčnými admitancemi. Přenosová a rozvodná zařízení se nejčastěji nahrazují π -články, transformátory π -články nebo Γ -články.

Příčné admitance jsou spojeny mezi příslušný uzel sítě a uzel referenční, tzn. zem o nulovém potenciálu. Podélné impedance jsou spojeny mezi dva příslušné uzly sítě. Předpokládáme dále, že parametry všech prvků jsou přepočítány na jedno společné vztažné napětí a tedy ES můžeme nahradit galvanickým spojením prvků. [1]



obr. 1: Příklad ES [1]

Referenční uzel = sběrnice nulového potenciálu

Tuhleto síť můžeme matematicky popsat s použitím metody uzlových napětí soustavou rovnic (2.1).

$$\begin{bmatrix} \overline{I_1} \\ \overline{I_2} \\ \overline{I_3} \\ \overline{I_4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \overline{Y_{11}} & \overline{Y_{12}} & \overline{Y_{13}} & \overline{Y_{14}} \\ \overline{Y_{21}} & \overline{Y_{22}} & \overline{Y_{23}} & \overline{Y_{24}} \\ \overline{Y_{31}} & \overline{Y_{32}} & \overline{Y_{33}} & \overline{Y_{34}} \\ \overline{Y_{41}} & \overline{Y_{42}} & \overline{Y_{43}} & \overline{Y_{44}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{U_1} \\ \overline{U_2} \\ \overline{U_3} \\ \overline{U_4} \end{bmatrix} \quad (A; S, V), \quad (2.1)$$

kde $\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{U}_3, \bar{U}_4$ jsou neznámá uzlová napětí

$\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3, \bar{I}_4$ jsou zadané uzlové proudy kde znaménkem + (plus) jsou zadány dodávky a znaménkem – (minus) jsou zadány odběry

Matici (2.1) můžeme ve zkráceném tvaru zapsat v maticovém tvaru jako:

$$[\bar{I}] = [\bar{Y}] \cdot [\bar{U}] \quad (A; S, V), \quad (2.2)$$

kde prvky admitanční uzlové matice $[\bar{Y}]$ jsou sestaveny podle algoritmů vyplývajících z druhého Kirchhoffova zákona:

i-tý diagonální prvek $[\bar{Y}_{ii}]$ je tvořen součtem admitancí všech větví souvisejících s i-tým uzlem. Mimodiagonální prvek $[\bar{Y}_{ij}]$ (tzn. že i se nerovná j) je tvořen záporně vzatým součtem admitancí všech větví spojujících i-tý uzel s j-tým uzlem. Předpokládáme při tom, že větve nemají vzájemné induktivní vazby. Takže například prvek $[\bar{Y}_{22}]$ a $[\bar{Y}_{21}]$ pro síť v (obr.1) budou:

$$\begin{aligned} [\bar{Y}_{22}] &= [\bar{y}_{12}] + [\bar{y}_{23}] + [\bar{y}_{20}] \\ [\bar{Y}_{21}] &= [\bar{Y}_{12}] = [-\bar{y}_{12}] \end{aligned} \quad (S) \quad (2.3)$$

Pro rozlišení značíme prvky admitanční uzlové matice a uzlové veličiny velkými písmeny a admitance jednotlivých větví a větvové proudy malými písmeny.

Soustavu rovnic můžeme též zapsat jako :

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (A; S, V) \text{ pro } i = 1, 2, 3, \dots, n, \quad (2.4)$$

kde n je počet uzlů v síti mimo uzel referenční, kterému pro zjednodušení dalších zápisů přiřadíme pevné číslo a to 0.

Neuvažujeme-li v síti příčné admitance, pak matice $[\bar{Y}]$ je singulární a soustava rovnic (2.2) a (2.4) je závislá. Závislost odstraníme eliminací bilančního uzlu.

2.1 Eliminace bilančního uzlu

Bilanční uzel je uzel s neznámým uzlovým proudem, který hradí neznámé proudy tekoucí v příčných větvích a vyrovnává bilanci mezi dodávkami a odběry, protože energie vyrobená se musí rovnat energii spotřebované plus ztráty při přenosu. Aby v rovnicích (2.1) až (2.4) byl stejný počet neznámých jako je rovnic, je nutné zadat v bilančním uzlu známé napětí. Pro formální zjednodušení dalšího zápisu přiřadíme bilančnímu uzlu pevné číslo a to 1. V bilančním uzlu by měl být tudíž k dispozici zdroj výkonu

Jelikož máme v bilančním uzlu přesně zadané napětí \bar{U}_1 , můžeme soustavu rovnic (2.1) přepsat

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_2 \\ \bar{I}_3 \\ \bar{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{21} \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{31} \bar{U}_1 \\ \bar{Y}_{41} \bar{U}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{24} \\ \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \bar{Y}_{34} \\ \bar{Y}_{42} & \bar{Y}_{43} & \bar{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \\ \bar{U}_4 \end{bmatrix} \quad (\mathbf{A}; \mathbf{S}, \mathbf{V}) . \quad (2.5)$$

Tuto matici můžeme přepsat na:

$$\bar{I}_i = \bar{Y}_{i1} \cdot \bar{U}_1 + \sum_{j=2}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (\mathbf{A}; \mathbf{S}, \mathbf{V}) \text{ pro } i = 2, 3, \dots, n. \quad (2.6)$$

Po vypočítání neznámých napětí $\bar{U}_2, \bar{U}_3, \dots, \bar{U}_n$, neznámý proud \bar{I}_1 v bilančním uzlu zpravidla dopočítáváme při určení proudu v jednotlivých větvích sítě. Vypuštění rovnice pro bilanční uzel ve vztazích (2.5) a (2.6) nazýváme eliminací bilančního uzlu. Soustavu rovnic (2.6) řešíme například eliminační metodou, iteračními metodami či přímou inverzí admitanční uzlové matice řádu $(n-1)$. Po výpočtu neznámých uzlových napětí určíme rozdělení proudů ve větvích náhradního schématu podle vztahu

$$\bar{i}_{pq} = \bar{y}_{pq} (\bar{U}_p - \bar{U}_q) \quad (\mathbf{A}; \mathbf{S}, \mathbf{V}) , \quad (2.7)$$

kde \bar{i}_{pq} je proud tekoucí větví o admitanci \bar{y}_{pq} z uzlu p do uzlu q. [1]

3 Výpočet ustáleného chodu jako nelineární úloha

V praxi bývají odběry a dodávky v uzlech zadávány činnými a jalovými výkony. Znaménko u činného a jalového výkonu podle rovnice (3.1) vysvětluje diagram napětí a proudu na (obr. 2) v uzlu se zdrojem tj. činný výkon je dodáváný do sítě. Fázorový diagram znázorňuje výrobu činného a jalového výkonu (proudu) s induktivním fázovým posunem. [1]

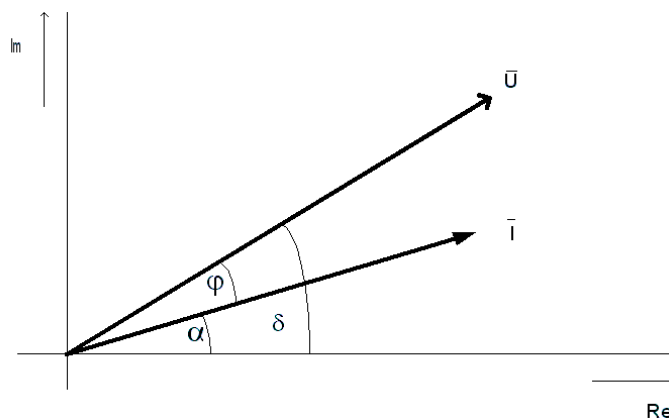
Takže pro i -tý uzel platí:

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{U}_i \cdot \bar{I}_i^* \quad (\text{VA}; \text{W}, \text{Var}, \text{S}, \text{V}, \text{A}), \quad (3.1)$$

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

Pak dodávaný zdánlivý výkon do uzlu sítě je :

$$\bar{S} = P + jQ = \bar{U} \cdot \bar{I}^* = U \cdot e^{j\delta} \cdot I \cdot e^{j(-\alpha)} = U \cdot I \cdot e^{j\varphi} = S(\cos \varphi + j\sin \varphi) \quad (\text{VA}; \text{W}, \text{Var}, \text{S}, \text{V}), \quad (3.2)$$



obr. 2: Fázorový diagram napětí a proudu s induktivním fázovým posunem[1]

kde fázový posuv napětí a proudu je $\varphi = \delta - \alpha$.

Odtud vyplývá, že je-li induktivní posuv proudu vůči napětí, tzn že proud je zpožděn za napětím, pak fázový posuv mezi proudem a napětím, činný výkon i jalový výkon jsou větší jak nula. [1]

Tab.1: Znaménka činných a jalových výkonů při induktivním a kapacitním odběru a dodávce [1]

posun proudu	zdroj P>0	odběr P<0
induktivní	Q>0	Q<0
kapacitní	Q<0	Q>0

V případě, že do uzlu zdroj dodává induktivní jalový výkon nebo odběrový uzel odebírá kapacitní jalový výkon, pak znaménka jsou v obou případech stejná. Proto se často v praxi pro kompenzaci jalového induktivního výkonu (např. statickými kondenzátory připojenými paralelně ke spotřebiči) používá termín výroba jalového výkonu v místě spotřeby induktivního jalového výkonu.

Vyjádříme-li z rovnice (3.1) proud:

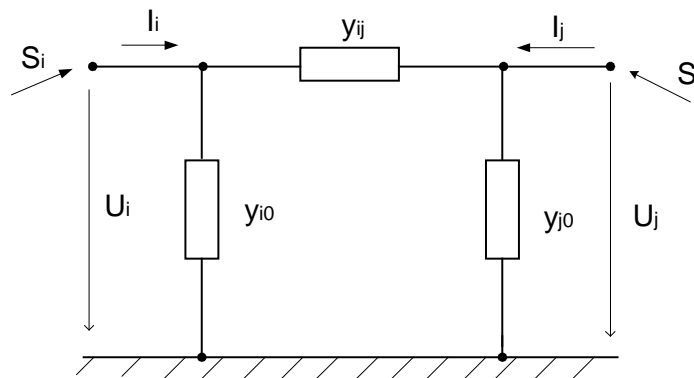
$$\bar{I}_i = \frac{\bar{S}_i^*}{\bar{U}_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} (A; VA, V, W, VAr), \quad (3.3)$$

pak po dosazení do vztahu dostáváme

$$\bar{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j (A; VA, V, W, VAr) \text{ kde } i = 2, 3, \dots, n. \quad (3.4)$$

Z těchto rovnic je zřejmé, že byla provedena eliminace bilančního uzlu a tudíž volba napětí U_1 . Bilanční uzel v našem případě, kdy jsou zadány uzlové výkony, hradí rozdíl mezi dodávkami a odběry a navíc ztráty činného a jalového výkonu v síti.

Jsou-li jednotlivé prvky sítě nahrazeny články π (obr.3) pak proud tekoucí do uzlu i je určen rovnicí (3.5).



obr. 3: Nahrazení prvků sítě π článkem

$$\bar{I}_i = (\bar{U}_i - \bar{U}_j) \cdot \bar{y}_{ij} + \bar{U}_i \cdot \bar{y}_{io} \quad (A; S, V) \quad (3.5)$$

a výkon

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{U}_i \cdot \bar{I}_i^* \quad (A; S, V). \quad (3.6)$$

Podle úmluvy jeli $P_i > 0$ pak činný výkon vtéká do uzlu i. Znaménko u jalového výkonu pak určuje, zda jde o výkon induktivní či kapacitní.

Proud a výkon tekoucí do uzlu j:

$$\bar{I}_j = (\bar{U}_j - \bar{U}_i) \cdot \bar{y}_{ij} + \bar{U}_j \cdot \bar{y}_{jo} \quad (A; S, V) \quad (3.7)$$

$$\bar{S}_j = P_j + jQ_j = \bar{U}_j \cdot \bar{I}_j^* \quad (A; S, V). \quad (3.8)$$

Činné a jalové ztráty výkonu v tomto náhradním článku dostáváme algebraickým součtem výkonů tekoucích do uzlu i a j.:

$$\Delta P_{ij} = P_i + P_j \quad (W) \quad (3.9)$$

$$\Delta Q_{ij} = Q_i + Q_j \quad (VAr) \quad (3.10)$$

3.1 Výpočet ustáleného chodu Gauss-Seidlovou iterační metodou

Při výpočtu ustáleného chodu Gauss-Seidlovou metodou musíme na začátku odhadnout napětí $\bar{U}_2, \bar{U}_3, \dots, \bar{U}_n$, tyto odhadnuté napětí pak srovnáváme s hodnotami vypočtenými podle vztahu (3.15). Pomocí vztahu (3.16) se provede určení rozdílu mezi odhadnutými a vypočtenými hodnotami čímž se hodnotí správnost odhadu. Tento postup se pak dále opakuje až do té doby, dokud není splněna předem zadaná přesnost.

Gauss-Seidlova metoda se vyznačuje jednoduchým algoritmem výpočtu a potřebuje oproti jiným iteračním metodám poměrně krátkou dobu výpočtu na jeden iterační krok. Velkou nevýhodou je ovšem poměrně pomalá konvergence. Dále je potřeba volit vysokou přesnost výpočtu (velmi malé ε) jinak se může stát, že nepřesně vypočítaná napětí způsobují značnou chybu v tocích výkonů a uzlových bilancích výkonů. Tyto nevýhody odstraňuje do jisté míry Newtonova – Raphsonova modifikovaná iterační metoda.

Předpokládáme, že je zadaná síť, která obsahuje n uzlů a každý uzel kromě uzlu bilančního má zadáný výkon. Výkon v i -tém uzlu poté bude popsán rovnicí (3.4).

$$\bar{S}_i = P_i + jQ_i = \bar{U}_i \cdot \bar{I}_i^* \quad (\text{VA}; W, \text{Var}) \quad (3.11)$$

Pomocí této rovnice si vyjádříme vztah pro proud.

$$\bar{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (\text{A}; W, \text{Var}, V) \quad (3.12)$$

Pravou stranu rovnice (3.4) můžeme přepsat následovně,

$$\frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} = \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} U_j + \bar{Y}_{ii} \cdot \bar{U}_i + \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} U_j \quad (\text{A}; S, V) \text{ kde } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.13)$$

odtud vypočteme napětí U_i . Dostaneme pak tvar rovnic vhodný pro iterační výpočet.

$$U_i = \frac{1}{Y_{ii}} \cdot \left(\frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} U_j - \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} U_j \right) \quad i = 2, 3, \dots, n. (\text{A}; S, V) \quad (3.14)$$

Převedením (3.14) do iteračního tvaru získáme.

$$U_i^{(k+1)} = \frac{1}{Y_{ii}} \cdot \left(\frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^{(k)*}} - \sum_{j=1}^{i-1} Y_{ij} U_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^n Y_{ij} U_j^{(k)} \right) \quad (\text{V}; S, W, \text{Var}, V) \text{ kde } i = 2, 3, \dots, n \quad (3.15)$$

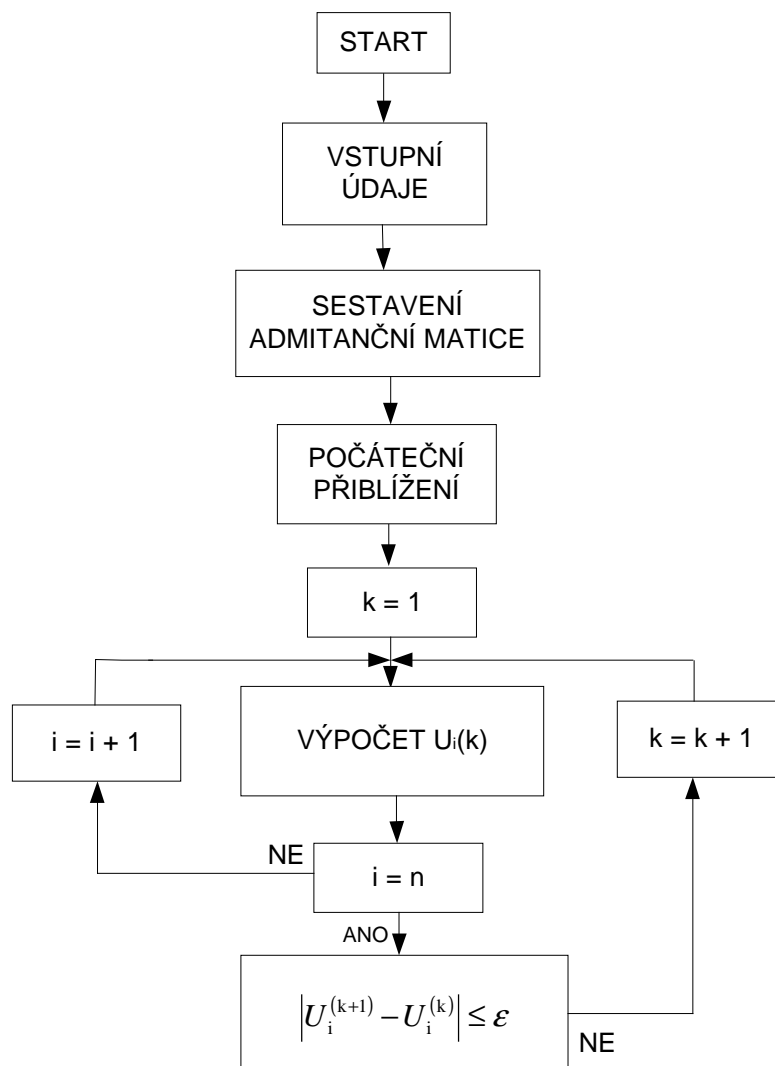
Výpočet je ukončen jeli pro všechna i splněna podmínka.

pro všechna $i = 1, 2, \dots, n$.

$$|U_i^{(k+1)} - U_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (\text{V}) \quad (3.16)$$

Kde ε je zadaná přesnost výpočtu.

Algoritmus řešení ustáleného chodu pomocí Gauss Seidlovi iterační metody je naznačen na následujícím obrázku.



obr. 4: Algoritmus řešení ustáleného chodu pomocí Gauss Seidlovi iterační metody [5]

Jak už bylo uvedeno, nevýhoda této metody je velmi pomalá konvergence, proto se pro počáteční přiblížení používá Newton Raphsonova modifikační metoda a až poté se pro splnění zadané přesnosti použije Gauss Seidlova iterační metoda. Experimentálně bylo zjištěno, že pro síť o 100 až 200 uzlech je zapotřebí provést 300 až 500 iterací. Dále bylo experimentálně zjištěno několik faktorů které ovlivňují rychlost konvergence a jsou to:

- co nejbližší počáteční přiblížení
- odlehčení velmi zatížených vedení
- zvýšení počtu generujících uzlů se zadanou absolutní hodnotou napětí a dostatečnou rezervou jalového výkonu
- zvýšení počtu smyček v síti
- zvýšení počtu spojení referenčního uzlu s ostatními uzly

3.2 Výpočet ustáleného chodu Newtonovou-Raphsonovou modifikovanou iterační metodou

Newtonova-Raphsonova modifikační metoda velmi rychle konverguje a obvykle potřebný počet iterací závisí při zadané přesnosti ε málo na velikosti řešené sítě. Nevýhodou je poměrně značný nárok na paměť počítače při výpočtu diferencí kořenů. Současně řešení soustavy rovnic značně prodlužuje výpočtový čas potřebný na jednu iteraci.

Při výpočtu sítě pomocí Newton-Raphsonovi modifikační metody vycházíme z rovnice (3.4),

$$\bar{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad (A; W, Var, V) \text{ kde } i = 2, 3, \dots, n, \quad (3.17)$$

která popisuje ustálený chod sítě.

Rovnici (3.4) můžeme přepsat do následujícího tvaru:

$$P_i - jQ_i = \bar{U}_i^* \cdot \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot U_j \quad (W, Var; V, S) \text{ kde } i = 2, 3, \dots, n. \quad (3.18)$$

Pravou stranu rovnice (3.18) rozepíšeme na reálnou a imaginární část. Toto můžeme provést zápisem fázorů napětí a komplexních admitancí ve složkovém či polárním tvaru. Zvolme polární tvar, pak:

$$U_i = U_i \cdot e^{j\delta_i}, U_i^* = U_i \cdot e^{-j\delta_i}, Y_{ij} = Y_{ij} \cdot e^{j\alpha_{ij}} \quad (V; S). \quad (3.19)$$

Dosazením polárního tvaru napětí a admitance do (3.18) dostáváme po úpravě s uvážením , že $\cos(-x) = \cos x$ a $\sin(-x) = -\sin x$.

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot U_j \cdot U_i \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \\ Q_i &= \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot U_j \cdot U_i \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \end{aligned} \right\} (W, Var; S, V) \text{ kde } i = 2, 3, \dots, n, \quad (3.20)$$

což je soustava $2(n-1)$ rovnic pro $(n-1)$ neznámých napětí a jejich úhlů. Předpokládáme opět, že ve všech uzlech jsou předepsány dodávané či odebírané činné a jalové výkony kromě

bilančního uzlu 1, kde je zadáno napětí U_1 a jeho úhel δ_1 (obvykle se volí $\delta_1=0$). Pro iterační výpočet diferencí ΔU_i a $\Delta \delta_i$ slouží rovnice (3.21). ΔU_i zde znamená diferencí odhadu uzlového napětí od přesné hodnoty kořenů rovnic (3.20).

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial U_2} & \frac{\partial P_2}{\partial U_3} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial U_n} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial P_3}{\partial U_2} & \frac{\partial P_3}{\partial U_3} & \cdots & \frac{\partial P_3}{\partial U_n} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial U_2} & \frac{\partial P_n}{\partial U_3} & \cdots & \frac{\partial P_n}{\partial U_n} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial U_3} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial U_3} & \cdots & \frac{\partial Q_3}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial U_2} & \frac{\partial Q_n}{\partial U_3} & \cdots & \frac{\partial Q_n}{\partial U_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_2 \\ \Delta U_3 \\ \vdots \\ \Delta U_n \\ \Delta \delta_1 \\ \Delta \delta_2 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

Soustavu rovnic (3.21) můžeme zkráceně zapsat pomocí matic rozdělením na pole ve tvaru:

$$\begin{bmatrix} [\Delta P] \\ [\Delta Q] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P}{\partial Q} \right] & \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \\ \left[\frac{\partial Q}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\Delta U] \\ [\Delta \delta] \end{bmatrix}, \quad (3.22)$$

kde matice: $\begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \\ \left[\frac{\partial Q}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \end{bmatrix}$ se nazývá Jacobián a jeho prvky se vypočítají pomocí

následujícího postupu.

Výpočet prvků Jacobiánu derivováním rovnic (3.25) podle jednotlivých proměnných:

výpočet prvků matice $\left[\frac{\partial P}{\partial U} \right]$:

$$\text{- diagonální prvky: } \frac{\partial P_i}{\partial U_i} = 2 \cdot Y_{ii} \cdot U_i \cdot \cos \alpha_{ii} + \sum_{j=1}^n Y_{ij} \cdot U_j \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (3.23)$$

$$\text{- mimodiagonální prvky : } \frac{\partial P_i}{\partial U_j} = Y_{ij} \cdot U_i \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}). \quad (3.24)$$

Výpočet prvků matice $\left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]$:

$$\text{diagonální prvky: } \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = - \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} \cdot U_j \cdot U_i \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (3.25)$$

$$\text{mimodiagonální prvky : } \frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = Y_{ij} \cdot U_i \cdot U_j \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}). \quad (3.26)$$

Výpočet prvků matice $\left[\frac{\partial Q}{\partial U} \right]$:

$$\text{diagonální prvky: } \frac{\partial Q_i}{\partial U_i} = -2 \cdot Y_{ii} \cdot U_i \cdot \sin \alpha_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} \cdot U_j \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (3.27)$$

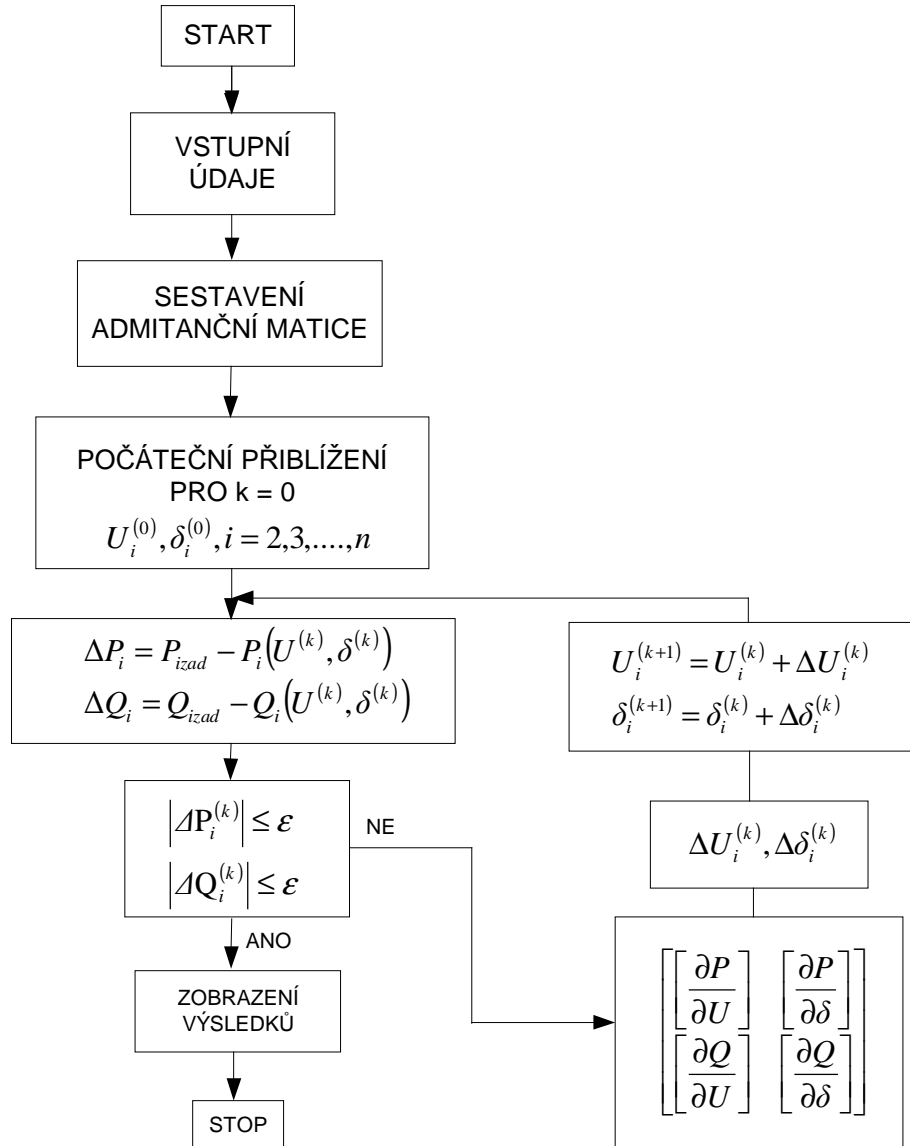
$$\text{mimodiagonální prvky : } \frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = Y_{ij} \cdot U_i \cdot U_j \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}). \quad (3.28)$$

Výpočet prvků matice $\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right]$:

$$\text{diagonální prvky: } \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} \cdot U_j \cdot U_i \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (3.29)$$

$$\text{mimodiagonální prvky : } \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -Y_{ij} \cdot U_i \cdot U_j \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}). \quad (3.30)$$

Algoritmus řešení ustáleného chodu pomocí Newton Raphsonovi modifikované metody je naznačen na následujícím obrázku.



obr. 5: Algoritmus řešení ustáleného chodu pomocí Newton Raphsonovi modifikované metody [5]

3.3 Zjednodušená Newtonova metoda

Pro méně přesné výpočty se používá následující zjednodušení. Vychází se z toho, že u sítí s převládající podélnou reaktancí vedení a transformátorů, při malých změnách absolutní velikosti napětí, se činné výkony v uzlech mění nepatrně. Podobně pro malé změny úhlů uzlových napětí se mění zanedbatelně jalové výkony. Pak za těchto předpokladů můžeme do rovnic (3.22) dosadit:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial U} \end{bmatrix} = [0], \begin{bmatrix} \frac{\partial Q}{\partial \delta} \end{bmatrix} = [0] \quad (3.31)$$

a ta přejde na zjednodušený tvar (3.32) vedoucí k urychlení výpočtu

$$[\Delta P] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \delta} \end{bmatrix} \cdot [\Delta \delta], [\Delta Q] = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q}{\partial U} \end{bmatrix} \cdot [\Delta U] . \quad (3.32)$$

Pak výsledný Jakobián bude

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\partial P}{\partial \delta} \\ \frac{\partial Q}{\partial U} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U \\ \Delta \delta \end{bmatrix}, \quad (3.32)$$

4 Shrnutí teoretické části výpočtu ustáleného chodu sítě

Ustálený chod je určen znalostí čtyř uzlových veličin: absolutní hodnota napětí U , úhel napětí δ , činný výkon P a jalový výkon Q . Uzly dělíme podle požadavků praxe do tří skupin.

Jsou to:

- a) bilanční uzly (U, δ): jejich podstatu, označení a umístění je uvedeno v kapitole Eliminace bilančního uzlu.
- b) uzly (P, Q): Jsou to uzly se zadaným činným nebo jalovým výkonem které mohou být do sítě buď dodávány nebo odebírány. Dodávky a odběry rozlišujeme znaménky plus a minus podle tab.1. Jako neznámé počítáme hodnoty napětí a úhlu
- c) regulační neboli kompenzační uzly (U, P): jsou to uzly se zadaným činným výkonem a absolutní hodnotou napětí. V tomto uzlu vlastně řešíme jaký je potřeba dodat nebo odebrat jalový výkon aby v tomto uzlu byla dodržena zadaná hodnota napětí. Jako další neznámou dopočítáváme úhel tohoto napětí.

Při výpočtech ustáleného stavu sítě si vystačíme s volbou tří výše uvedených uzlů a to:

- minimálně jeden bilanční uzel
- k-uzlů (P, Q)
- (n-k-1) uzlů regulačních

Rychlost konvergence zvolené iterační metody závisí na mnoha okolnostech jako například:

- konfigurace sítě
- volba umístění bilančního uzlu
- počet uzlů (P, Q)
- počet a umístění uzlů regulačních

Výpočty ukázaly, že nejvhodnější umístění bilančního uzlu je v tzv. elektrickém středu sítě. Tomu obvykle vyhovuje uzel s největší vlastní admitancí, to znamená největší diagonální prvek v admitanční uzlové matici. Problém nastává v případě, když v uzlu s největší vlastní admitancí není umístěn zdroj výkonu. V tomto případě je možné volit generátor na krytí ztrát i v jiném uzlu než v tom, ve kterém máme zadáno pevné napětí a úhel a nebo můžeme krytí ztrát v síti rozdělit určitým dílem na všechny generátory pracující v soustavě. Oba tyto způsoby předpokládají rozšíření uvedených uzlů o další uzly a tím pádem i značné zkomplikování matematického řešení úlohy. Z tohoto důvodu se v praxi předpokládají pouze tři výše uvedené uzly. [1]

5 Programy pro řešení ustáleného chodu používané v praxi

5.1 Systém Daisy Pas offline Bizon

DAISY - Dispečerské Automatizované Informační Systémy

Tento programový systém slouží pro výpočty elektroenergetických sítí a je určen především pro plánování rozvoje, projektování a dlouhodobou přípravu provozu rozvodných sítí nn, vn a vvn. Je také dobře využitelný jako systém pro krátkodobou přípravu provozu. Používá se především tam, kde není k dispozici žádný vhodný systém pracující v reálném čase. Jeho výhodou je snadná modifikace výpočetních dat.

Program se může nacházet celkem ve dvou režimech činnosti. První režim je základní režim, který se nazývá „Výpočty“ (Calculations) a slouží ke spouštění jednotlivých výpočtů, zadávání jejich vstupních hodnot a zpracování jejich výsledků. Uživatel pracuje s připravenou studií - s připravenými daty a obrázky. Obsah dat může různě modifikovat, nemůže však provádět zásahy do obrázků a přidávat nebo rušit energetické objekty. Druhý režim se nazývá „Editor“ a slouží k modifikaci databáze a obrázků studie. Poskytuje uživateli sadu pomůcek pro vytváření a rušení energetických objektů i celých obrázků. Prostřednictvím zásahů do obrázků se provádějí automaticky odpovídající zásahy do databáze studie i do topologie sítě. Po přepnutí do režimu „Výpočty“ je možné provádět výpočty nad právě provedenými úpravami v režimu „Editor“.

Základním cílem je poskytnout provozním pracovníkům přehled o současném stavu sítě a nástroj umožňující ověřovat přípustnost plánovaných zásahů do provozu sítě. Rovněž umožňuje porovnávat jednotlivé provozní varianty s ohledem na minimalizaci ztrát v síti nebo na napěťový profil atd. Výpočet probíhá modifikovanou metodou Newton-Raphson. Podle požadované přesnosti výpočtu a stavu sítě končí výpočet obvykle za 3 až 6 iterací. Výpočet probíhá samostatně pro každou samostatnou uzlovou soustavu v síti.

Základním pojmem pro výpočet je uzel. Za uzel je považován buď základní, samostatně pracující úsek sběrnice, nebo několik takových úseků navzájem spojených spínači. Uzly se dělí na dvě základní skupiny, na uzly odběrové a napájecí.

Odběrový uzel obsahuje vždy odběry činného a jalového výkonu, napětí v odběrovém uzlu (modul i fáze) je závislé na daném stavu sítě, odběry obvykle zůstávají konstantní. U odběrového uzlu může být zadána závislost odběru na napětí, případně i tabulky časových průběhů odběrů.

Odběry v uzlech umožňuje PAS DAISY Off-Line zadávat ručně, ale umí je i dopočítávat různými, práci usnadňujícími způsoby. Podle charakteru a počtu odběrů v uzlu lze využít tyto dopočty:

- Dopočet odběrů z energie
- Dopočet odběrů v odběratelích
- Rozpočty odběrů v kmenových linkách
- Součty odběratelů do uzlů
- Dopočty trendů

Způsob, který značně usnadňuje zadávání odběrů je zadávání odběrů pomocí odběrových míst. Odběrové místo představuje jednu z částí odebíraného výkonu v uzlu. Slouží pro zjednodušení zadávání odběrů, aby nebylo nutné vkládat každého odběratele do samostatného odběrového uzlu.

Odběrová místa se přiřazují k uzlu, což umožňuje podstatné zjednodušení datového modelu. Pomocí odběrových míst lze sloučit větší počet odběratelů do jednoho uzlu. Odběrová místa se nejčastěji přiřazují uzlům v sítích NN (například bytové domy).

Napájecí uzel může obsahovat kromě odběru i zdroj výkonu. U napájecích uzlů se při výpočtu kontroluje velikost potřebné dodávky jaloviny v uzlu. Pokud nutná dodávka jaloviny překročí zadané meze (Q_{\min}, Q_{\max}), je uzel přeřazen do odběrových, což znamená, že se v něm přestane udržovat konstantní napětí a dodávka jaloviny se v něm nastaví na hodnotu překročené meze.

Vztažný uzel je napájecí uzel, zvolený jako referenční uzel pro celý výpočet. V každé řešené uzlové soustavě musí být zvolen jeden vztažný uzel. Pokud je v uzlové soustavě několik napájecích uzlů, program volí za vztažný uzel s nejvyšším jmenovitým napětím nebo s největším možným rozsahem regulace jalového výkonu. Ve vztažném uzlu je vždy udržováno konstantní napětí, jeho modul je zadán před začátkem výpočtu a jeho fáze se vždy dosadí nulová. Výpočetní metoda nemá žádné další aproximace, požadovaná přesnost výpočtu je zadavatelná. Výpočet používá pro výpočty dvojitou přesnost, takže lze běžně dosáhnout přesnost 0,01 kW. Pro jalový výkon je vhodné volit přesnost zhruba třikrát větší než pro činný.

5.1.1 Základní vstupní a výstupní data

Program využívá výhradně data obsažená v databázi. Z tohoto hlediska lze výpočetní hodnoty rozdělit do tří základních skupin:

Hodnoty konstantní - výpočtem vždy používané jako vstupní hodnoty a výpočtem nikdy neměnné. Do této skupiny patří veškeré údaje o konfiguraci a elektrických parametrech vedení a transformátorů, jako jsou veškeré údaje o vzájemném propojení vedení a uzlů a stavech jednotlivých spínacích prvků, odpory a reaktance vedení a transformátorů, převody transformátorů, kapacity vedení, kompenzační kapacity v uzlech, jmenovitá napětí a proudy jednotlivých prvků, koeficienty závislosti odběrů na napětí, meze dodávky jaloviny v napájecích uzlech, instalované výkony odběrových transformátorů v uzlech atd.

Hodnoty vstupní a výpočtem podmíněně měnné. Do této skupiny patří uzlové výkony a zadaná napětí v systému. Uzlové výkony jsou vstupní hodnotou a jejich zadání určuje výsledek výpočtu. V konkrétních případech se však jejich charakter poněkud liší.

Výstupní hodnoty výpočtu - tyto hodnoty jsou výsledkem výpočtu a jejich hodnoty před výpočtem se ve výpočtu vždy změní. Jde v první řadě o veškerá napětí v soustavě, s jedinou výjimkou napětí ve vztažném uzlu, které má vždy zadanou velikost a nulovou fázi. Dále se jedná o veškeré údaje odvozené z parametrů a napětí soustavy, jako jsou toky výkonů po vedeních a transformátorech, proudy ve vedeních a transformátorech, kapacitní výkony na vedeních a kompenzátorech a dále údaje o ztrátách, bilancích, poměrných zatíženích atd. Všechny tyto hodnoty jsou výpočtem změněny bez ohledu na jejich obsah před výpočtem.

Další vlastnosti programu PAS DAISY Off-line:

- možnost použití obrázku ve formátu BMP jako podkladové vrstvy pro kreslení. Po definování měřítka lze takto využívat odečítání délek vedení a kabelů z obrázků.
- grafické rozlišení venkovních vedení a kabelových vedení

- analýza zkratových poměrů
-

5.2 Program EMDAT

5.2.1 Účel programu

Výpočty síťové analýzy rozsáhlých zasmyčkových rozvodných sítí s průmyslovým kmitočtem v ustáleném stavu. Program provádí výpočty:

- frekvenční charakteristiky uzlové impedance sítě,
- rozložení vyšších harmonických proudu a napětí v síti,
- zkreslení napětí uzlů, ekvivalentu proudu větví,
- šíření signálů HDO,
- chod sítě na základní harmonické.

5.2.2 Metodika výpočtu

Výpočet je založen na metodě uzlových napětí. Ze vstupních dat parametrů prvků sítě pro základní harmonickou program nejdříve sestavuje jednopólový matematický model sítě. Síť je podle metody uzlových napětí popsána soustavou lineárních rovnic k jejímuž řešení je použita

Gaussova eliminační metoda. Pro řešení soustavy byla zvolena Gaussova eliminační metoda neboť umožňuje řešit soustavu v implicitním tvaru (není třeba provádět náročnou inverzi matice). Při její implementaci a optimalizaci bylo využito skutečnosti, že matice soustavy pro reálné rozvodné elektrizační sítě jsou řídké a že rychlost výpočtu výrazně ovlivňuje pořadí, v jakém jsou uzly očíslovány.

6 Určování nákladů v Elektroenergetice

6.1 Oceňování ztrát

Obecně lze říci, že ztráty představují rozdíl mezi dodávaným a odebíraným výkonem, případně dodávanou a odebíranou elektrickou energií. Ztráty v elektrizační soustavě lze rozdělit do dvou hlavních kategorií, na ztráty technické a netechnické. Netechnické ztráty lze připsat především na vrub nesprávnému měření a neautorizovaným odběrům. Technické ztráty představují Jouleovy ztráty, ztráty svodem a korónou, jakož i ztráty v transformátorech.

Technické ztráty v celé elektrizační soustavě mohou dosahovat až 10 % celkového dodávaného výkonu. V praxi se při posuzování ztrát většinou uvažují pouze ztráty Jouleovy a ztráty v transformátorech, zatímco ztráty svodem a korónou (které však mohou dosahovat značných hodnot) se zanedbávají. [4]

Ztráty činného výkonu v trojfázové souměrné soustavě jsou dány vztahem

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad (W; \Omega, A), \quad (5.1)$$

kde R je činný odpor,

I modul (absolutní hodnota) proudu.

Vztah (5.1) pro ztráty činného výkonu ve vedení platí pouze v případě, že vedení je zatěžováno jen na konci, což je stav běžný na vysokých napěťových hladinách. Je-li však odběr rozložen podél vedení, je nutné určit proudové rozdělení ve vedení a vyčíslit ztráty výkonu v jeho jednotlivých úsecích. Při známém proudovém rozdělení ve vedení však lze celkové ztráty ve vedení vypočítat přímo z celkového odběru pomocí následujícího vztahu. [4]

$$\Delta P = k \cdot R \cdot I^2 \quad (W; -, \Omega, A). \quad (5.2)$$

Kde k činitel rozložení zatížení podél vedení

$$k = \frac{3 \sum_{i=1}^n I_i^2 \cdot l_i}{I^2 \cdot l} \quad (W; \Omega, A), \quad (5.3)$$

kde I celkový odběr,

I_i proud tekoucí vedením před i tým odběrem,

l celková délka vedení,

l_i délka úseku vedení předcházejícího i temu odběru.

Vztah (5.2) lze pak upravit na tvar.

$$\Delta P = \frac{k \cdot R \cdot P^2 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \text{ (kW; } -, \Omega, \text{ MW, kV, } -) \quad (5.4)$$

Ztráty elektrické energie při proměnlivém zatížení jsou za dané období (obvykle rok) dány vztahem.

$$\Delta W = \int_0^T \Delta P(t) dt \text{ (Wh} \cdot \text{r}^{-1}; \text{ W, h} \cdot \text{r}^{-1}) \quad (5.5)$$

S použitím vztahu (5.5) lze pak ztráty elektrické energie vyjádřit jako:

$$\Delta W = \frac{k \cdot R \cdot 10^3}{3 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot \int_0^T P^2(t) dt \text{ (kWh} \cdot \text{r}^{-1}; -, \Omega, \text{ kV, } -, \text{ MW, h} \cdot \text{r}^{-1}) . \quad (5.5)$$

6.2 Náklady vedení

Roční náklady na vedení lze vyjádřit pomocí vztahu

$$N = N_i + N_{\Delta} \text{ (Kč} \cdot \text{r}^{-1}; \text{ Kč} \cdot \text{r}^{-1}, \text{ Kč} \cdot \text{r}^{-1}) \quad (5.6)$$

a stálá část nákladů se určí jako

$$N_i = \frac{P}{100} \cdot K_i = k_{ik} \cdot l \cdot \frac{P}{100} \text{ (Kč} \cdot \text{r}^{-1}; \text{ Kč, } \% \cdot \text{r}^{-1}, \text{ Kč} \cdot \text{km}^{-1}, \text{ km) ,} \quad (5.7)$$

kde K_i pořizovací náklady vedení,

k_{ik} pořizovací náklady na kilometr délky vedení,

l délka vedení,

p celkové roční procento.

Pro proměnnou složku nákladů platí.

$$N_{\Delta} = \Delta P n_{\Delta} = \frac{k \cdot R_k \cdot P^2 \cdot 10^3}{3 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot n_{\Delta} \text{ (Kč} \cdot \text{r}^{-1}; \text{ MW, Kč} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}, \Omega, \text{ kV)} \quad (5.8)$$

6.3 Náklady vedení při růstu zatížení

Roční náklady tvoří náklady přímo spojené s náklady investičními (odpisy a úrok), náklady na provoz vedení (údržba) a náklady na ztráty, které se zvětšují kvůli rostoucímu zatížení. Pro ekonomické posuzování bude tedy nutné pracovat s aktualizovanými náklady vedení (obvykle za celou dobu n let životnosti vedení). Aktualizované náklady budou mít tři složky[4]

- investiční náklady K_i ,
- aktualizované náklady na údržbu $N_{\text{údr}}$
- aktualizované náklady na ztráty N_{Δ}

V tomto případě se vychází z předpokladu, že zatížení roste ročně o stejnou procentní hodnotu p_z , jeho růst lze tedy vyjádřit pomocí činitele růstu

$$\delta = 1 + \frac{p_z}{100} \quad (-; \%), \quad (5.10)$$

kde δ je činitel růstu zatížení,

p_z je roční procentní nárůst zatížení.

Celkové aktualizované náklady jsou dány vztahem

$$N^A = K_i + N_{\text{údr}} \cdot R_n + M \cdot P_0^2 \cdot S_n \quad (\text{Kč} \cdot \text{r}^{-1}; \text{Kč}, \text{Kč} \cdot \text{r}^{-1}, \text{MW}), \quad (5.11)$$

kde $N_{\text{údr}}$ roční náklady na údržbu,

R_n zásobitel.

$$M = \frac{10^3}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot n_{\Delta} \quad (5.12)$$

$$S_n = \frac{\delta^2}{q^n} \cdot \frac{\delta^{2n} - q^n}{\delta^2 - q} \quad (5.13)$$

$$R_n = \frac{1}{q^n} \cdot \frac{q^n - 1}{q - 1} \quad (5.14)$$

Celkové investiční náklady K_i :

$$K_i = k_{ik} \cdot l \quad (\text{Kč}; \text{Kč} \cdot \text{r}^{-1}, \text{km}) \quad (5.15)$$

Náklady na údržbu

$$N_{\text{údr}} = k_{\text{ik}} \cdot l \cdot (p_{\text{údr}}/100) \text{ (Kč} \cdot \text{r}^{-1}; \text{Kč} \cdot \text{r}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}, \%) \quad (5.16)$$

[4]

6.4 Výstavba druhého vedení

Rostoucí zatížení může po určité době dosáhnout hodnoty rovné přenosové schopnosti vedení. V takovém případě je nutno stávající přenosovou trasu posílit, například postavením dalšího vedení. Z ekonomického hlediska lze ale problém posílení chápat jako stanovení optimální doby n_1 pro vybudování druhého vedení – aniž by už byla vyčerpána přenosová schopnost stávajících vedení – tak, aby aktualizované náklady obou vedení (rozumí se po dobu n let) byly minimální. Celkové aktualizované náklady obou vedení lze vyjádřit jako

$$N^{\Delta} = K_{i1}^{\Delta} + N_{\text{údr}1}^{\Delta} + K_{i2}^{\Delta} + N_{\text{údr}2}^{\Delta} - K_{\text{izb}}^{\Delta} + N_{\Delta 1}^{\Delta} + N_{\Delta 1+2}^{\Delta}, \quad (5.17)$$

kde N^{Δ} aktualizované náklady obou vedení za celé období ($0 \div n$),

K_{i1}^{Δ} pořizovací náklady prvního vedení,

$N_{\text{údr}1}^{\Delta}$ aktualizované náklady na údržbu prvního vedení za období $0 \div n$,

K_{i2}^{Δ} aktualizované pořizovací náklady druhého vedení (investice v roce n_1),

$N_{\text{údr}2}^{\Delta}$ aktualizované náklady na údržbu druhého vedení za období $n_1 \div n$,

K_{izb}^{Δ} aktualizovaná zbytková hodnota druhého vedení na konci roku n ,

$N_{\Delta 1}^{\Delta}$ aktualizované náklady na ztráty za dobu, kdy je v provozu pouze jedno vedení (období $0 \div n_1$),

$N_{\Delta 1+2}^{\Delta}$ aktualizované náklady na ztráty za dobu, kdy jsou v provozu obě vedení (období $n_1 \div n$).

Celkové aktualizované náklady za období $0 \div n$ jsou

$$N^A = K_i + N_{\text{udr}} \cdot R + K_i \cdot \frac{1}{q^n} + N_{\text{udr}} \cdot R_{n-n1} + K_i \cdot \frac{n_1}{n} \cdot \frac{1}{q^n} +$$

$$+ M \cdot R \cdot P_0^2 \cdot S_{n1} + \frac{1}{2} M \cdot R \cdot P_0^2 \cdot \frac{\delta^{2n1}}{q^{n1}} \cdot S_{n-n1} \quad (5.18)$$

(Kč·r⁻¹; Kč, Kč·r⁻¹, MW).

Pomocné veličiny:

$$S_{n1} = \frac{\delta^2}{q^{n1}} \cdot \frac{\delta^{2n1} - q^{n1}}{\delta^2 - q} \quad (5.19)$$

$$S_{n-n1} = \frac{\delta^2}{q^{n-n1}} \cdot \frac{\delta^{2(n-n1)} - q^{n-n1}}{\delta^2 - q} \quad (5.20)$$

$$R_{n-n1} = \frac{1}{q^n} \cdot \frac{q^{n-n1} - 1}{q - 1} \quad (5.21)$$

Při stanovení optimální doby n_1 se hledá minimum funkce $N_A(n_1)$

$$\frac{dN^A}{dn_1} = 0 \quad (5.22)$$

Matematickými úpravami získáme vztah

$$A \cdot P_0^2 \cdot \delta^{2n1} + B \cdot q^{n1} - C = 0, \quad (5.23)$$

kde pro veličiny A, B a C platí

$$A = \frac{1}{2} M \cdot R \cdot P_0^2 \cdot \frac{\delta^2}{\delta^2 - q} \cdot \ln \frac{\delta^2}{q} \quad (5.24)$$

$$B = K_i \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (5.25)$$

$$C = \left(K_i + N_{\text{udr}} \cdot \frac{1}{q-1} \right) \cdot \ln q \quad (5.26)$$

Optimální dobu pro postavení posilovacího vedení lze tedy určit dvěma způsoby, buď výpočtem aktualizovaných nákladů pro různé hodnoty n_1 nebo početně jednodušším určením lokálního minima funkce $N_A(n_1)$ (pomocí této metody ovšem nelze stanovit hodnotu optimálních aktualizovaných nákladů, které se potom musí dopočítat). [4]

7 Vytvoření programu pro výpočet ustáleného chodu sítě pomocí matlabu

Pro výpočet ustáleného chodu sítě byl podle zadání použit matematický program matlab. Pomocí matlabu byly vytvořeny dva programy, jeden pro výpočet Gauss Seidlovi iterační metody a druhý pro výpočet Newton Raphsonovi modifikované metody. Oba tyto programy jsou uvedené v příloze A: Programy pro výpočet Gauss Seidlovi iterační metody a Newton Raphsonovi modifikované metody a jsou vytvořeny podle algoritmů uvedených na obr. 4 a 5.

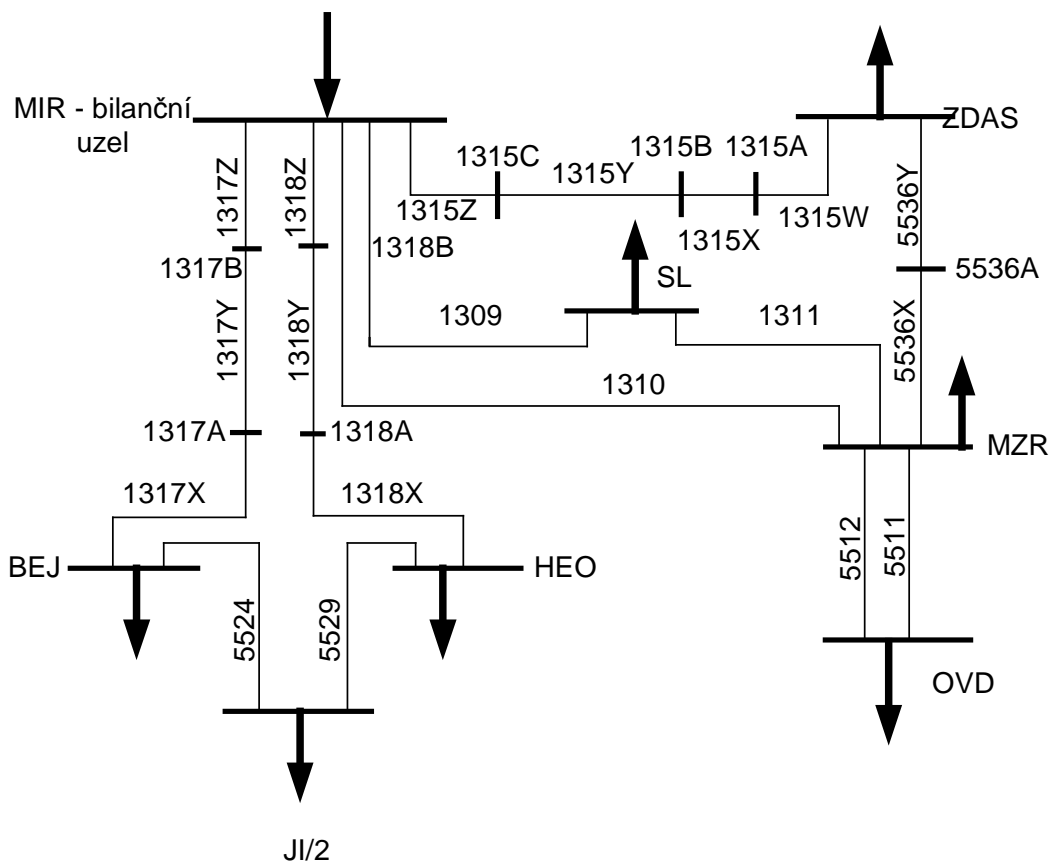
7.1 Zhodnocení metod

Po výpočtech zadané sítě pomocí vytvořených programů bylo zjištěno, že pro praktické použití bude lepší použít Newton Raphsonovu modifikovanou metodu, protože díky této metodě byla dosažena požadovaná přesnost daleko dříve, než pomocí Gauss Seidlovi iterační metody. Gauss Seidlova iterační metoda pro zadanou síť (obr.6 a 7) konvergovala příliš pomalu, proto není příliš vhodná. Při použití Newton Raphsonovi modifikované metody bylo možné u většiny sítí ukončit výpočet po 6. iteraci.

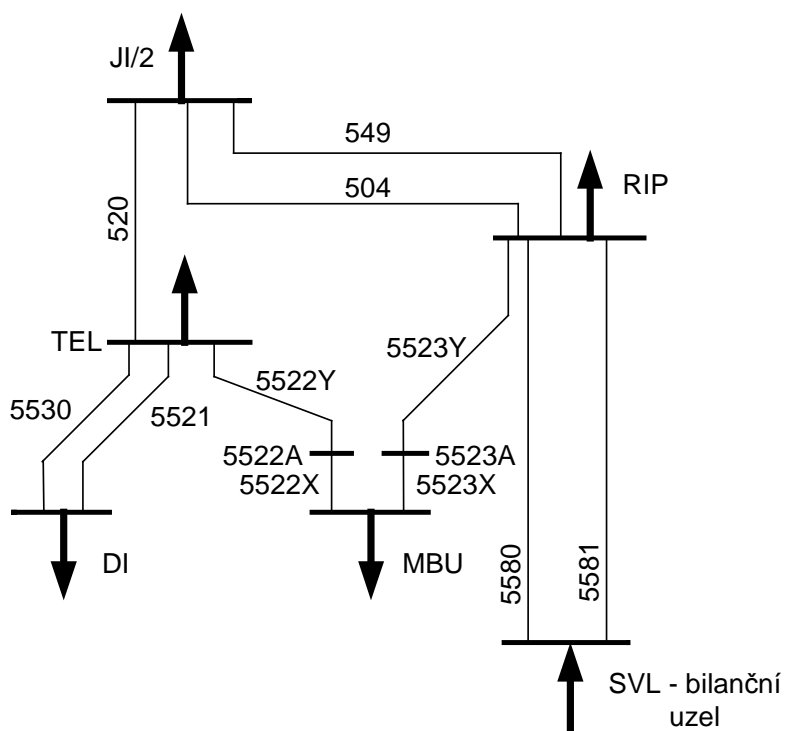
8 Výpočet zadané sítě

8.1 Zadání

Tato síť se nachází na jižní Moravě a je částí sítě E.ON Distribuce, a.s. Jedna se o dvě oblasti provozované za normálního stavu samostatně. Ve skutečnosti je spojena s mnoha dalšími. Úkolem je posoudit provoz sítě s výhledem do příštích 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení o 1%, 3% a 5%. Napětí uzlů sítě by se nemělo lišit o více jak 10% od jmenovité hodnoty a zatížení vodičů by nemělo přesáhnout 60% jmenovitého proudu. Cílem práce je také posouzení možnosti vzájemného zálohování při výpadku v uzlu MIR, případně SVL. V takovém případě nesmí být překročena jmenovitá zatížitelnost vodičů. Při uvažování n-1 je možné zatěžovat vodiče až na 80% jmenovité hodnoty proudu. Parametry vedení a odběry v jednotlivých uzlech sítě 1 a 2 v současnost a za 20 let s $p_z = 1\%$, 3% a 5% jsou uvedeny v příloze B.



obr.6: Schéma sítě 1



obr.7: Schéma sítě 2

V případě sítě 1 předpokládám následující výpadky vedení

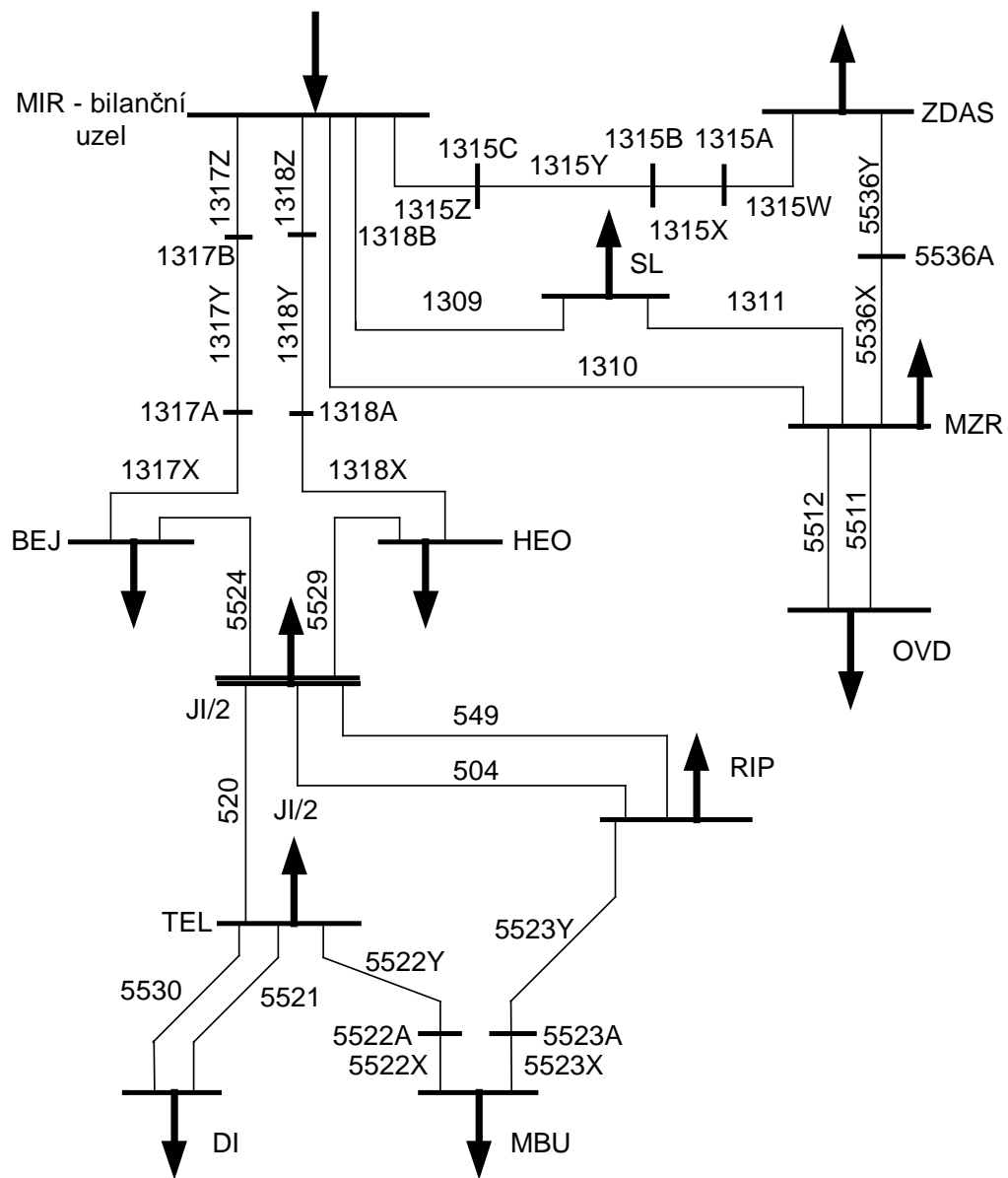
- a) 1317z
- b) 1318z
- c) 1309
- d) 1310
- e) 1315z

V případě sítě 2 předpokládám následující výpadky vedení

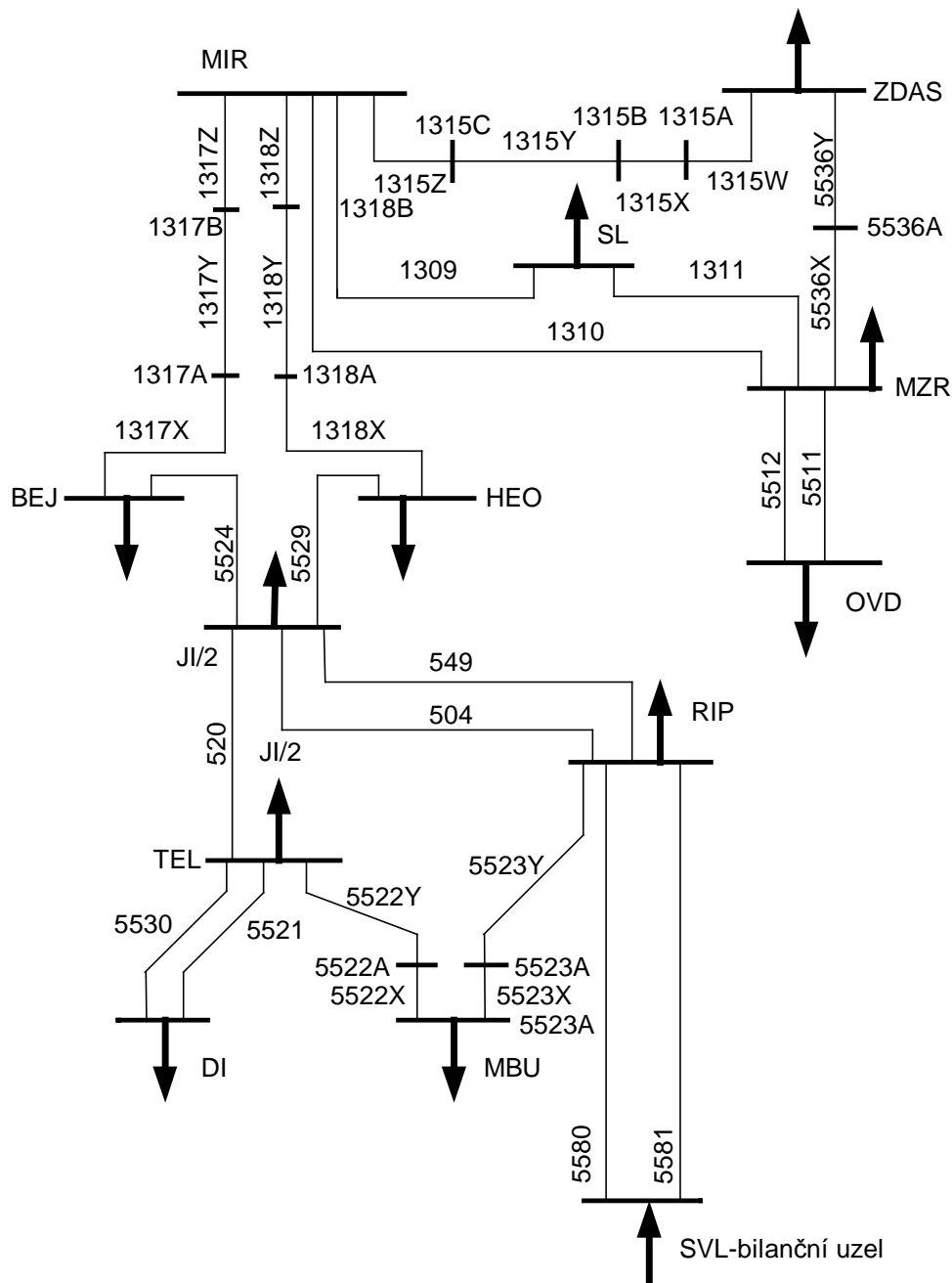
- a) 5580
- b) 549
- c) 5523
- d) 520

Zatížení vedení nesmí přesáhnout hodnotu 80%.

obr.8: Výpadek v uzlu SVL - schéma sítě



V případě výpadku napájecího uzlu MIR bude zapojení sítě vypadat následovně. Sít' 1 a 2 se spojí v uzlu JI. Zatížení vedení nesmí přesáhnout hodnotu 100%.



obr.9: Výpadek v uzlu MIR - schéma sítě

8.2 Výsledky výpočtu

Výpočet byl proveden pro všechny zadané stavy, což je normální provoz, provoz při výpadku jednoho z vedení a provoz při výpadku jednoho z napájecích uzlů. Pro všechny tyto stavy byl proveden výpočet jak pro zatížení současné, tak pro zatížení za dobu 20ti let s procentem růstu zatížení $p_z=1, 3$ a 5% .

Součástí vypočítaných hodnot jsou především napětí a fázový posuv napětí v jednotlivých uzlech sítě vypočítané pomocí Newton Raphsonovou modifikovanou metodou. Z vypočítaných hodnot napětí je následně určena odchylka napětí od jmenovité hodnoty (110kV) ΔU v procentech pomocí vztahu:

$$\Delta U = \frac{U_n - U_s}{U_s} \cdot 100 \quad (\%) \quad (8.1)$$

kde U_n je jmenovitá hodnota napětí (110kV) a U_s je vypočítaná hodnota.

Dále je ve výpočtech zahrnut výpočet proudu, který prochází vedením podle obr.3, jeho fázový posuv a velikost zatížení vzhledem k jeho jmenovité hodnotě v procentech podle vztahu:

$$\text{zatížení} = \frac{I_s}{I_n} \cdot 100 \quad (\%) \quad (8.2)$$

kde I_n je jmenovitý proud a I_s vypočítaná hodnota proudu procházejícího vedením.

Veškeré vypočtené hodnoty, které přesahují zadanou mez (viz. zadání) jsou zvýrazněny tučně a uvedeny v přílohách C až F. Dále je ve výsledcích zahrnut výpočet zdánlivého výkonu a jeho úhlu, který přenosové vedení přenáší.

Příklad výpočtu:

Příklad výpočtu fázorů proudů, zdánlivých výkonů a činných, jalových ztrát, odchylky napětí a proudového zatížení bude proveden pro vedení 1311 (vedení z uzlu SL do uzlu MZR) při současném zatížení a normálním provozu. Parametry vedení 1311:

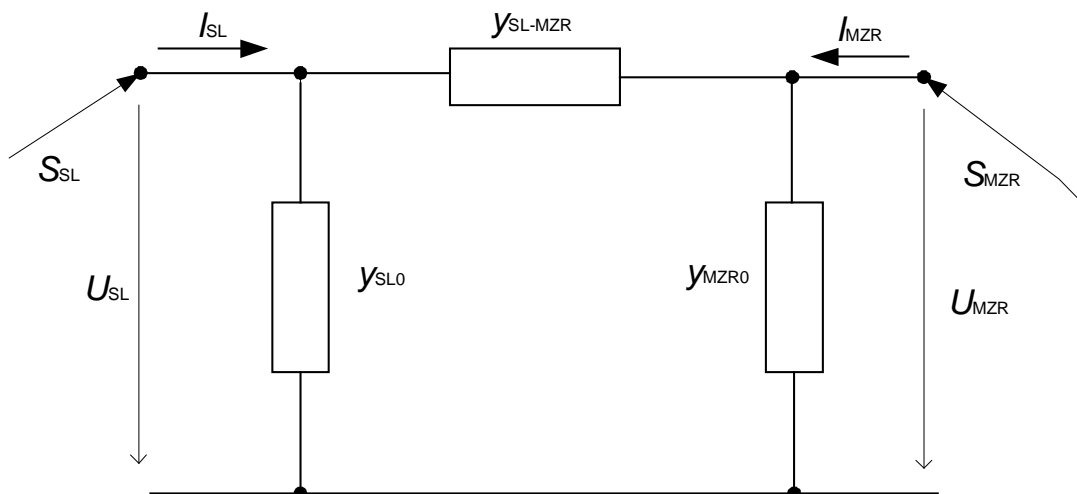
$$s = 240\text{mm}^2$$

$$R = 3,3293\Omega$$

$$X = 10,84\Omega$$

$$B = 75,1079\mu\text{S}$$

Hodnoty napětí vypočítané Newton Raphsonovou modifikovanou metodou v uzlu SL $U_{SL} = 109733e^{-j0,215^\circ}\text{V}$ a v uzlu MZR $U_{MZR} = 108740e^{-j1,019^\circ}\text{V}$. Vedení se nahradí π -článkem podle obr.3, kde uzel i je v případě naší sítě uzel SL a uzel j na obr.3 je v našem případě uzel MZR, pak hodnoty proudů I_{SL} a I_{MZR} vypočteme podle vztahů (3.5) a (3.7). Na následujícím obrázku je náhradní zapojení ve tvaru π -článku pro vedení z uzlu SL do uzlu MZR.



obr.10: Nahrazení vedení z uzlu SL do uzlu MZR π -článkem

Podélná impedance π -článku : $z_{SL-MZR} = R + jX = (3,3293 + 10,84j) \Omega$

Hodnoty odporu vedení R a reaktance vedení X jsou zadané.

Z podélné impedance se vypočte admittance mezi uzly SL a MZR:

$$y_{SL-MZR} = z_{SL-MZR}^{-1} = (3,3293 + 10,84j)^{-1} = (0,02589 - 0,0843j)S$$

Příčná admittance π -článku :

$$y_{SL0} = y_{MZR0} = 75,1079 / 2 \mu S$$

Hodnoty proudů vtékajících do uzlu SL a do uzlu MZR se vypočítají podle vztahů (3.5) a (3.7):

$$\begin{aligned} \bar{I}_{SL} &= \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(109733e^{-j0,215^\circ} - 108740e^{-j1,019^\circ}) \cdot (3,3293 + 10,84j)^{-1} + 109733e^{-j0,215^\circ} \cdot \frac{75,1079 \cdot 10^{-6} j}{2} \right] = \\ &= 92,31e^{-j15,1^\circ} A \end{aligned}$$

$$\bar{I}_{MZR} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left[(108740e^{-j1,019^\circ} - 109733e^{-j0,215^\circ}) \cdot (3,3293 + 10,84j)^{-1} + 108740e^{-j1,019^\circ} \cdot \frac{75,1079 \cdot 10^{-6} j}{2} \right] =$$

$$= 93,61e^{j162,1^\circ} A$$

Hodnoty zdánlivých výkonů vtékajících do uzlu SL a do uzlu MZR se vypočítají podle vztahů (3.6) a (3.8):

$$\bar{S}_{SL} = P_{SL} + jQ_{SL} = \sqrt{3} \cdot (109733e^{-j0,219^\circ} \cdot 92,31e^{j15,1^\circ}) = (16,921 + j4,634) \text{ MVA} = 17,545e^{j14,88^\circ} \text{ MVA}$$

$$\bar{S}_{MZR} = P_{MZR} + jQ_{MZR} = \sqrt{3} \cdot (108740e^{-j1,019^\circ} \cdot 93,61e^{-j162,1^\circ}) = (-16,678 - j5,716) \text{ MVA} = 17,63e^{j163,11^\circ} \text{ MVA}$$

Činné a jalové ztáty na vedení mezi uzly SL a MZR se vypočítají podle vztahů (3.9) a (3.10):

$$\Delta P_{SL-MZR} = 16,921 \cdot 10^6 - 16,678 \cdot 10^6 = 86,297 \text{ kW}$$

Podle vztahu (8.1) vypočteme odchylku napětí v uzlu SL a MZR a podle vztahu (8.2) vypočteme proudové přetížení vedením spojující uzly SL a MZR

$$\Delta U_{MZR} = \frac{110000 - 108740}{108740} \cdot 100 = 1,158\%$$

$$\Delta U_{SL} = \frac{110000 - 109733}{109733} \cdot 100 = 0,25\%$$

$$zatížení = \frac{93,6}{572} \cdot 100 = 16,36\%$$

8.2.1 Zhodnocení sítí při současném zatížení

Výpočtem bylo ověřeno, že síť za aktuálních provozních podmínek bez problému vyhovuje požadavkům na proudové zatížení. Nejvíce proudově zatíženo je vedení 1317x (část vedení s průřezem 185mm²) a to 51,7 % a vedení 5580 a 5581 a to 49,6% , což ani v jednom případě nepřesahuje maximální hodnotu 60%. Za normálního provozu se nejvíce lišilo napětí v uzlu DI o 5,64% od jmenovité hodnoty což opět nepřesahuje 10%. Podle zadání nesmí proudové zatížení v normálním provozu přesáhnout hodnotu 60% , při výpadku jednoho z napájecích uzlů nesmí zatížení přesáhnout hodnotu 100% a při výpadku jednoho z vedení nesmí proudové zatížení přesáhnout hodnotu 80%. V tab. 2 jsou uvedené vedení které nevyhovují pro současné zatížení při různých stavech sítě. Veškeré vypočtené hodnoty pro všechny stavy sítí při zatížení v současnosti jsou uvedené v příloze C: Výsledky výpočtů pro zatížení v současnosti.

Tab. 2: Nevyhovující vedení při současném zatížení

stav sítě	vedení	uzly		In(A)	zatížení (%)
výpadek SVL	1317X	1317A	BEJ	483	110,18
výpadek SVL	1318X	1318A	HEO	483	106,04
výpadek MIR	504	JI	RIP	483	106,32
výpadek MIR	549	JI	RIP	483	106,32
výpadek MIR	5581	SVL	RIP	572	132,76
výpadek MIR	5580	SVL	RIP	572	132,76
výpadek 1317Z	1318X	1318A	HEO	483	93,71
výpadek 1318Z	1317X	1317A	BEJ	483	90,94
výpadek 5580	5581	SVL	RIP	572	102,63

Z tabulky jde vidět, že nejvíce vedení v současnosti přesahuje povolené zatížení při výpadku v uzlu MIR. Nejvíce přetížené vedení je vedení 5580 a 5581 při výpadku v uzlu MIR.

8.2.2 Zhodnocení sítí při zatížení za 20 let s $p_z = 1\%$

Za dvacet let s ročním růstem zatížení 1% nebudou vyhovovat následující vedení. Veškeré vypočtené hodnoty pro všechny stavy sítí při růstu zatížení s $p_z = 1\%$ jsou uvedené v příloze D: Výsledky výpočtů při zatížení za 20 let s $p_z = 1\%$.

Pozn. NP=normální provoz

Tab. 3: Nevyhovující vedení při zatížení za 20 let s $p_z = 1\%$

stav sítě	vedení	uzly		ln(A)	zatížení (%)
NP	1317X	1317A	BEJ	483	63,3
NP	5581	SLV	RIP	572	61,2
NP	5580	SLV	RIP	572	61,2
výpadek SVL	1317Y	1317B	1317A	572	116,35
výpadek SVL	1317X	1317A	BEJ	483	138,04
výpadek SVL	1318Y	1318B	1318A	572	112,43
výpadek SVL	1318X	1318A	HEO	483	133,02
výpadek SVL	5529	HEO	JI	483	110,92
výpadek MIR	5524	JI	BEJ	483	123,63
výpadek MIR	5529	HEO	JI	483	105,66
výpadek MIR	504	JI	RIP	483	143,09
výpadek MIR	549	JI	RIP	483	143,09
výpadek MIR	5580	SVL	RIP	572	176,98
výpadek MIR	5581	SVL	RIP	572	176,98
výpadek 1317Z	1318Z	MIR	1318B	725	84,2
výpadek 1317Z	1318Y	1318B	1318A	572	97,4
výpadek 1317Z	1318X	1318A	HEO	483	117,47
výpadek 1317Z	5529	HEO	JI	483	95,62
výpadek 1318Z	1317Z	MIR	1317B	725	81,32
výpadek 1318Z	1317Y	1317B	1317A	572	93,78
výpadek 1318Z	1317X	1317A	BEJ	483	112,71
výpadek 520	5523X	5523A	MBU	483	93,97
výpadek 521	5523Y	RIP	5523A	483	94,05
výpadek 5523Y	520	JI	TEL	483	96,95
výpadek 5580	5581	SVL	RIP	572	128,61

Nejvíce vedení, která přesahují zadané hodnoty zatížení jsou v případě výpadku napájecího uzlu MIR a nejvíce zatížené vedení je opět vedení 5580 a 5581 při výpadku v uzlu MIR. Za normálního provozu je nejvíce zatíženo vedení 1317X a celkově za normálního provozu nevyhovují 3 vedení.

8.2.3 Zhodnocení sítí při zatížení za 20 let s $p_z = 3\%$

Za dvacet let s ročním růstem zatížení 3% nebudou vyhovovat následující vedení. Veškeré vypočtené hodnoty pro všechny stavy sítí při růstu zatížení s $p_z = 3\%$ jsou uvedené v příloze E: Výsledky výpočtů při zatížení za 20 let při $p_z = 3\%$.

Tab. 4: Nevyhovující vedení při zatížení za 20 let s $p_z = 3\%$

stav sítě	vedení	uzly		ln(A)	zatížení (%)
NP	1317Z	MIR	1317B	572	68,9
NP	1317Y	1317B	1317A	725	63
NP	1317X	1317A	BEJ	483	95,4
NP	1318Y	1318B	1318A	483	68,8
NP	1318X	1318A	HEO	483	68,8
NP	5581	SLV	RIP	572	94,6
NP	5580	SLV	RIP	572	94,6
NP	5523X	5523A	MBU	483	79,7
NP	5523Y	RIP	5523A	483	79,5
výpadek SVL	1317Z	MIR	1317B	725	141,37
výpadek SVL	1317Y	1317B	1317A	572	187,85
výpadek SVL	1317X	1317A	BEJ	483	222,07
výpadek SVL	5524	JI	BEJ	483	111,14
výpadek SVL	1318Z	MIR	1318B	725	141,37
výpadek SVL	1318Y	1318B	1318A	572	181,52
výpadek SVL	1318X	1318A	HEO	483	215,66
výpadek SVL	5529	HEO	JI	483	181,52
výpadek SVL	520	JI	TEL	483	102,49
výpadek MIR	5524	JI	BEJ	483	183,68
výpadek MIR	1318X	1318A	HEO	483	115,42
výpadek MIR	5529	HEO	JI	483	156,76
výpadek MIR	5523X	5523A	MBU	483	143,79
výpadek MIR	504	JI	RIP	483	214,99
výpadek MIR	549	JI	RIP	483	214,99
výpadek MIR	5523Y	RIP	5523A	483	142,63
výpadek MIR	5580	SVL	RIP	572	268,44
výpadek MIR	5581	SVL	RIP	572	268,44

Tab. 5: pokračování tabulky 4

stav sítě	vedení	uzly		ln(A)	zatížení (%)
výpadek 1317Z	5524	JI	BEJ	483	122,65
výpadek 1317 Z	1318Z	MIR	1318B	725	133,18
výpadek 1317 Z	1318Y	1318B	1318A	572	158,14
výpadek 1317 Z	1318X	1318A	HEO	483	188,37
výpadek 1317 Z	5529	HEO	JI	483	155,13
výpadek 1318 Z	1317Z	MIR	1317B	725	125,79
výpadek 1318 Z	1317Y	1317B	1317A	572	146,73
výpadek 1318 Z	1317X	1317A	BEJ	483	173,95
výpadek 520	5581	SVL	RIP	572	100,95
výpadek 521	5580	SVL	RIP	572	100,95
výpadek 522	5523X	5523A	MBU	483	153,58
výpadek 523	5522X	5522A	MBU	483	99,47
výpadek 524	5522Y	TEL	5522A	483	99,41
výpadek 525	5523Y	RIP	5523A	483	153,92
výpadek 5523Y	5581	SVL	RIP	572	107,29
výpadek 5523Y	5580	SVL	RIP	572	107,29
výpadek 5523Y	520	JI	TEL	483	166,88
výpadek 5523Y	504	JI	RIP	483	98,99
výpadek 5523Y	549	JI	RIP	483	98,99
výpadek 549	5581	SVL	RIP	572	95,95
výpadek 550	5580	SVL	RIP	572	95,95
výpadek 551	5523X	5523A	MBU	483	91,77
výpadek 552	5523Y	RIP	5523A	483	91,82
výpadek 5580	5581	SVL	RIP	572	207,81
výpadek 5581	5523X	5523A	MBU	483	87,56
výpadek 5582	5523Y	RIP	5523A	483	87,51

Nejvíce zatíženo je vedení 5580 a 5581 a to 268,44% což znamená, že vedení je přetíženo o 168,44% což už je poměrně velká hodnota. Nejvíce je síť přetížena v případě výpadku uzlu MIR. V tomto případě povolené zatížení přesahuje 9 vedení. Při normálním provozu sítě je nejvíce zatíženo vedení 1317X a celkově povolené zatížení přesahuje 9 vedení.

8.2.4 Zhodnocení sítí při zatížení za 20 let s $p_z = 5\%$

Za dvacet let s ročním růstem zatížení 5% nebudou vyhovovat následující vedení. Veškeré vypočtené hodnoty pro všechny stavy sítí při růstu zatížení s $p_z = 5\%$ jsou uvedené v příloze F: Výsledky výpočtů při zatížení za 20 let při $p_z = 5\%$.

Tab. 6: Nevyhovující vedení při zatížení za 20 let s $p_z = 5\%$

stav sítě	vedení	uzly		ln(A)	zatížení (%)
NP	1317Z	MIR	1317B	572	109,9
NP	1317Y	1317B	1317A	725	95,3
NP	1317X	1317A	BEJ	483	143,4
NP	1318Z	MIR	1318B	483	90
NP	1318Y	1318B	1318A	483	103,3
NP	1318X	1318A	HEO	483	103,1
NP	5581	SLV	RIP	572	149,6
NP	5580	SLV	RIP	572	149,6
NP	5523X	5523A	MBU	483	127,4
NP	520	JI	TEL	483	94,7
NP	504	JI	RIP	483	70,5
NP	549	JI	RIP	483	70,5
NP	5523Y	RIP	5523A	483	126,8
výpadek 1318Z	1317Z	MIR	1317B	725	183,38
výpadek 1318Z	1317Y	1317B	1317A	572	232,28
výpadek 1318Z	1317X	1317A	BEJ	483	274,39
výpadek 1318Z	5524	JI	BEJ	483	107,16
výpadek 1309	1315X	1315B	1315A	483	87,55
výpadek 1310	1315W	1315A	ZDAS	483	88,14
výpadek 1311	1315X	1315B	1315A	483	81,74
výpadek 1312	1315W	1315A	ZDAS	483	86,32
výpadek 1313	1309	MIR	SL	572	84,43

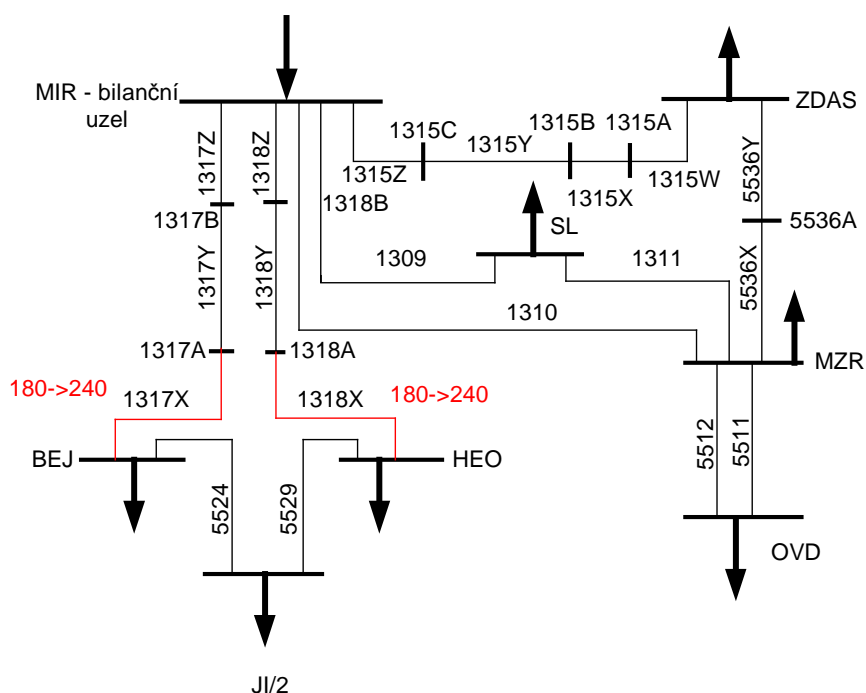
V tabulce jsou uvedeny pouze hodnoty proudového zatížení pro normální provoz a jen pro některé výpadky vedení. Výpočet sítě při výpadku napájecího uzlu MIR a SVL a při výpadku některých vedení nekonvergoval. Při normálním provozu bylo nejvíce zatíženo vedení 5581 a 5580. V poruchovém provozu bylo nejvíce zatíženo vedení 1317X a to při výpadku vedení 1318X.

9 Návrh posílení sítě

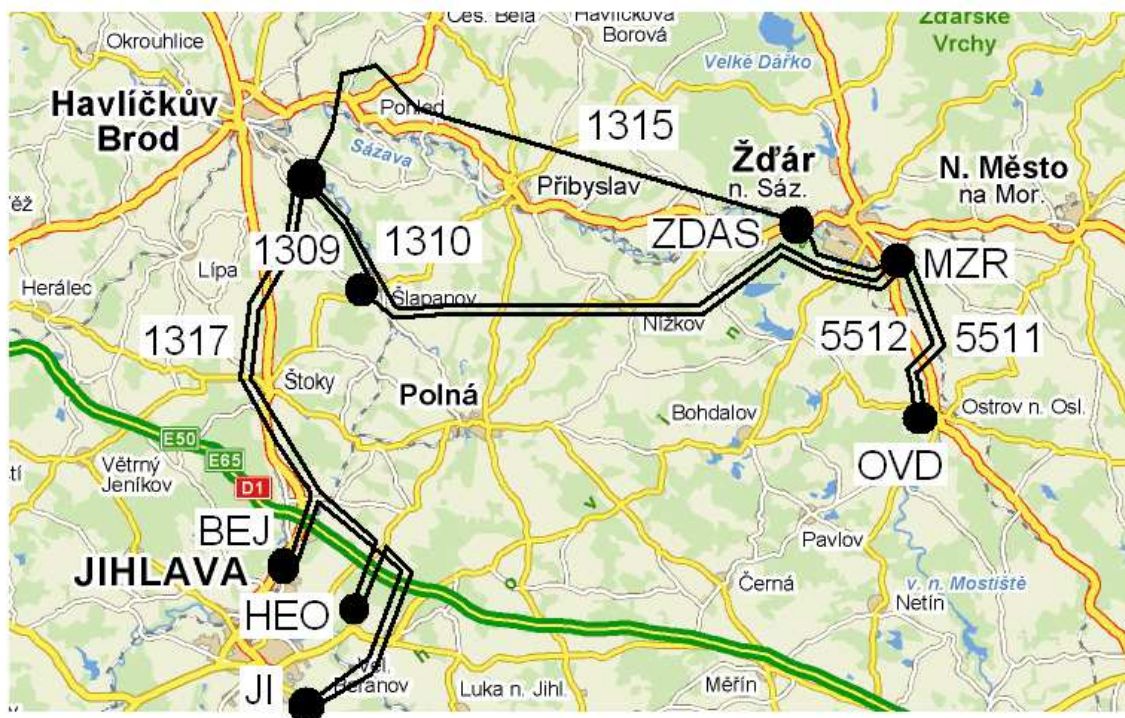
Návrh posilovacích vedení a zvýšení průřezů vedení bude provedeno tak, aby síť vyhovovala v normálním provozu, kritériu (n-1) a také aby vyhovovala při výpadku jednoho z napájecích uzlů. To znamená, že proudové zatížení vedení v normálním stavu nesmí překročit hodnotu 60%, při výpadku jednoho z vedení nesmí překročit hodnotu 80% a při výpadku jednoho z napájecích uzlů (MIR,SVL) nesmí překročit hodnotu 100%. Červeně jsou uvedené navrhované změny. V případě výměny původního vedení, za vedení s vyšším jmenovitým průřezem, znamená první číslo původní průřez vedení a druhé číslo je průřez vedení takový, aby vedení odpovídalo zadaným požadavkům. V případě vystavění nového posilujícího vedení znamená červeně uvedené číslo takový průřez vedení, aby vyhovovalo zadaným požadavkům. Následné změny, hlavně tedy vystavění nových vedení a změny v topologii sítě byly navrženy ve spolupráci s dispečinkem 110kV společnosti E.ON.

9.1 Současnost

Návrh posílení sítě 1 a 2 tak, aby vyhovovala v současnosti :



obr.11: Návrh sítě 1 aby vyhovovala v současnosti

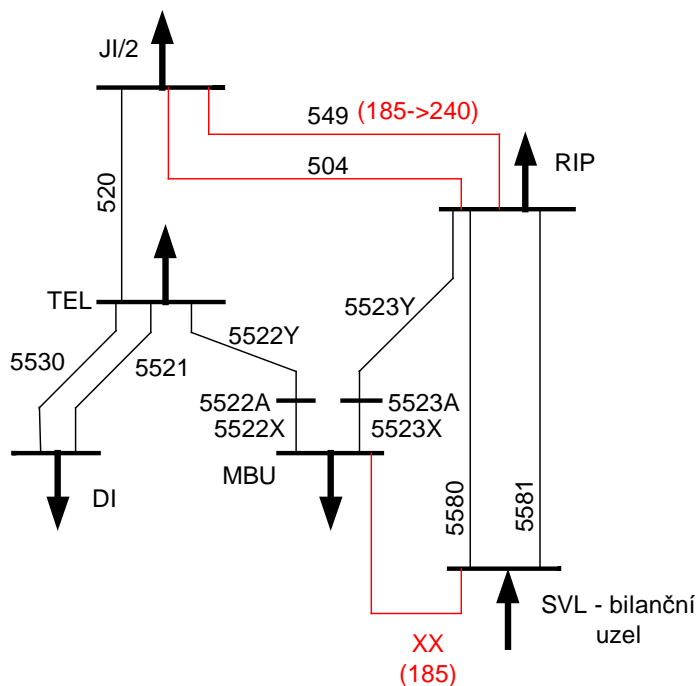


Obr.12: Aktuální geografický stav sítě 1

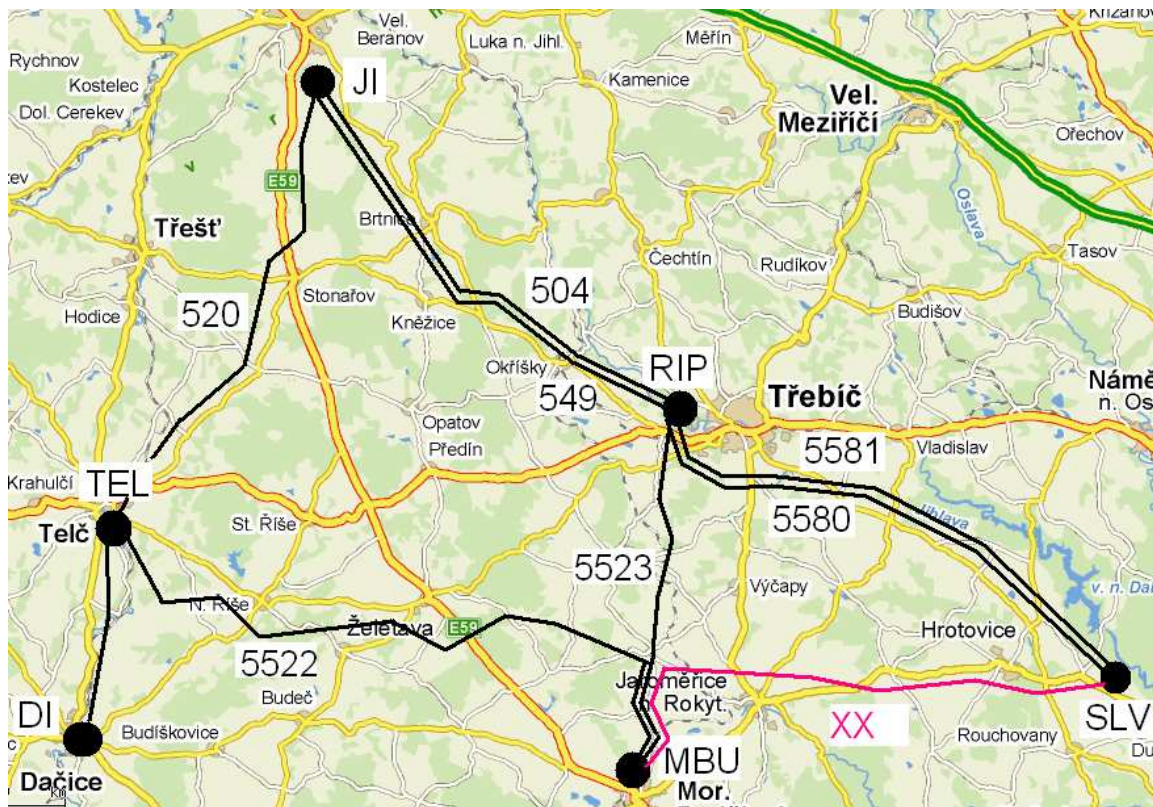
Jak je vidět z obr. 11, tak bylo provedeno zvýšení jmenovitého průřezu na vedení 1317X a 1318X a to ze 185 mm² na 240mm². Sít 1 je napájena z napájecího uzlu Mírovka a napájí odběrové uzly OVD – Ostrov nad Oslavou, MZR – Žďár na Sázavou, ŽĐAS – metalurgické

závody (Žďár nad Sázavou, SL – Šlapanou, BEJ – Jihlava-Bedřichovice, HEO – Jihlava – Heroltice a JI – Jihlava.

V síti 2 (obr. 13) je navrženo nové posilující vedení z napájecího uzlu SVL (Slavětice) do uzlu MBU (Moravské Budějovice) o průřezu 185mm^2 jehož délka činí cca 25km. Tohle řešení by výrazně odlehčilo linky 5580 a 5581.



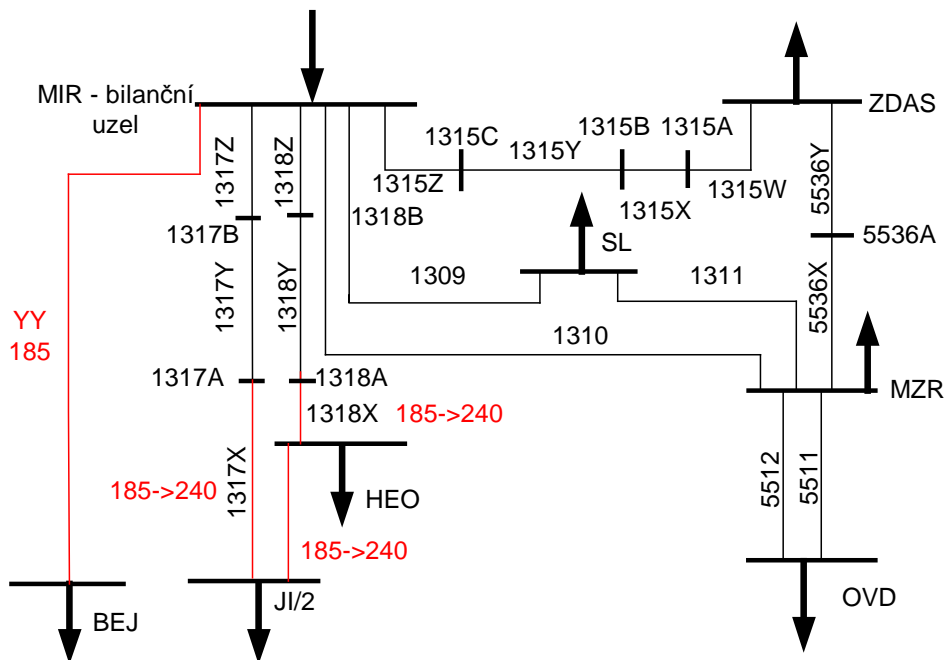
obr.13: Návrh sítě 2 aby vyhovovala v současnosti



Obr.14: Geografický stav sítě 2 v současnosti plus plánované posílení (červeně)

9.2 Za dobu 20 let s $p_z=1\%$

Návrh posílení sítě 1 a 2 tak, aby vyhovovala za dobu 20let s ročním růstem zatížení $p_z=1\%$. Po konzultaci na dispečinku společnosti E.ON bylo zvolené následující řešení sítě 1.

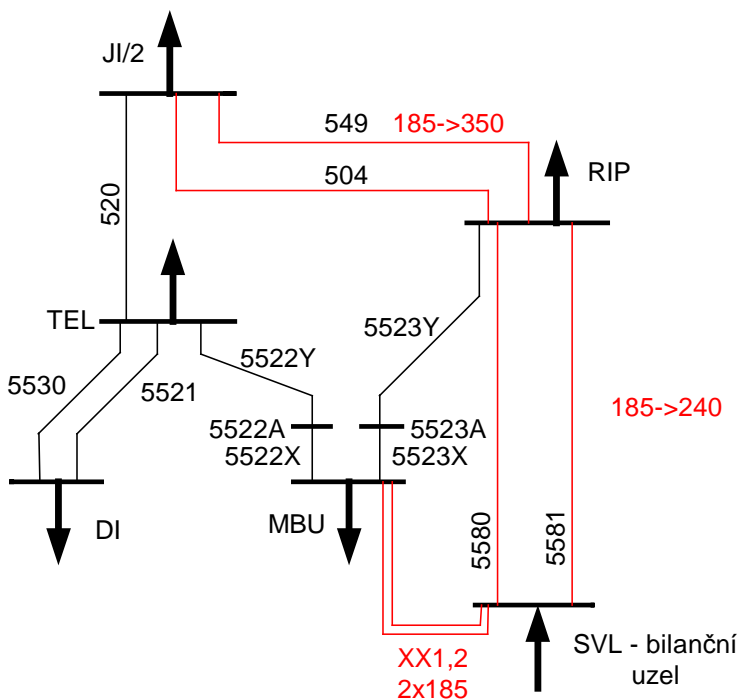


obr.15: Návrh sítě 1 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=1\%$



Obr.16: Geografický stav sítě 1 po provedení plánovaných změn

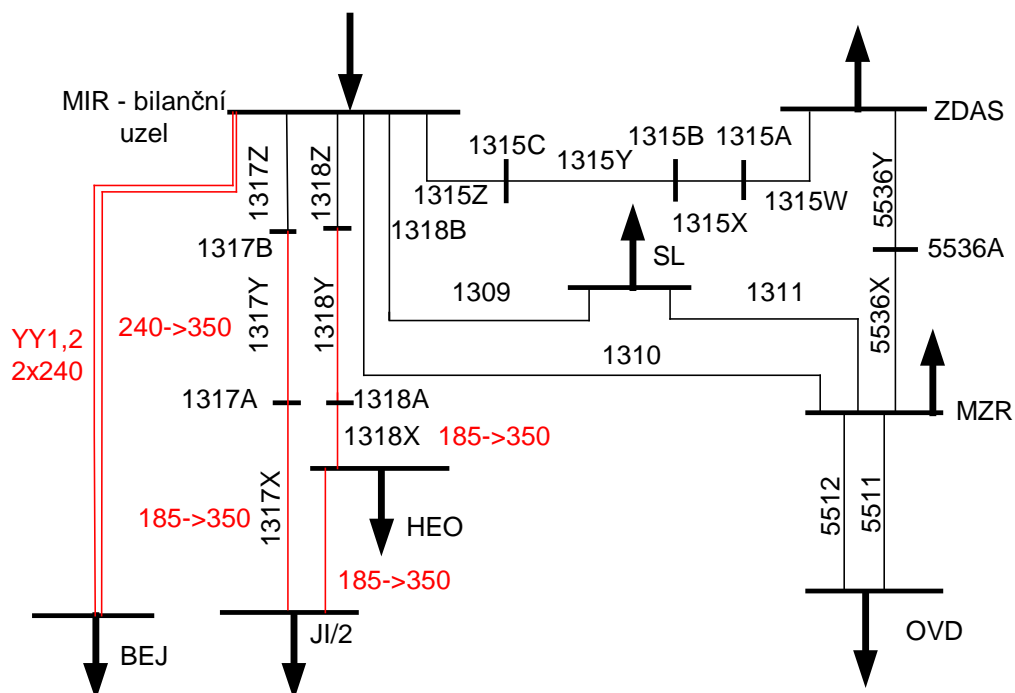
Z obr.15 je vidět, že na trase MIR-BEJ byla vystavěna nová linka s označením YY s průřezem 185mm^2 . Vedení YY tedy vede z napájecího uzlu Mírovka do odběrového uzlu Jihlava – Bedřichov a vede paralelně s vedením 1318 a 1317. Původní linka, která vedla do BEJ je přesměrována do uzlu JI. Jelikož je v uzlu BEJ poměrně velký odběr, tak tohle řešení výrazně přispěje ke snížení proudového zatížení linek 1317 a 1318 v normálním provozu, ale hlavně při výpadku jednoho z napájecích uzlů nebo při výpadku linky 1317 nebo 1318.



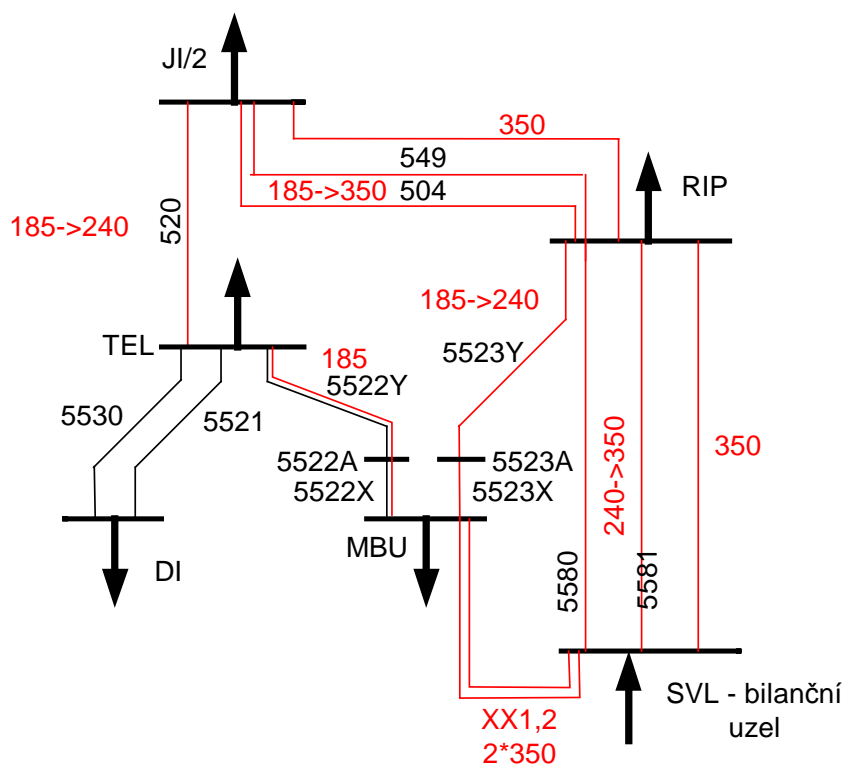
obr.17: Návrh sítě 2 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=1\%$

Z obr. 17 je patrné, že bylo provedeno zvýšení jmenovitého průřezu na paralelních linkách 549 a 504 a to ze 185mm^2 na 350mm^2 a na paralelních linkách 5580 a 5581 a to ze 185mm^2 na 240mm^2 . Nově navržené vedení XX jehož geografické umístění je uvedeno na obr. 14 je posíleno ještě jedním vedením o průřezu 185mm^2 .

9.3 Za dobu 20 let s $p_z=3\%$



obr.18: Návrh sítě 1 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=3\%$



obr.19: Návrh sítě 2 aby vyhovovala za 20 let s $p_z=3\%$

Při ročním růstu zatížení o 3% je již potřeba provést hodně opatření, abychom zamezili proudovému přetížení některého vedení. Mezi tyto opatření patří vystavění vedení YY1 a YY2 v síti 1 (ze Slavětic do Moravských Budějovic) o průřezu 240mm^2 , vystavění vedení XX1 a XX2 (z Mírovky do Jihlava-Bedřichov) o průřezu 350mm^2 . Dále pak vystavění posilujícího vedení k vedení 5580 a 5581 o průřezu 350mm^2 , vystavění posilujícího vedení k vedení 549 a 504 o průřezu 350mm^2 a vystavění posilujícího vedení k vedení 5522 o průřezu 185mm^2 . Zvýšení jmenovitého průřezu bylo provedeno u vedení 5580, 5581, 504, 549 a to na 350mm^2 a u vedení 5523, 520 na 240mm^2 .

9.4 Za dobu 20 let s $p_z=5\%$

Jelikož použité metody pro výpočet sítí v případě ročního růstu zatížení $p_z=5\%$ nekonvergovali, nebude návrh posílení sítě proveden. Výpočet konvergoval pouze při výpočtu normálního stavu, což znamená že by nemohl být zhodnocen stav při výpadku jednoho z vedení a nebo jednoho z napájecích uzlů.

10 Návrh optimální doby k vystavění posilujícího vedení

10.1 Návrh optimální doby vystavění posilujícího vedení na trase MIR-BEJ ($p_z = 3\%$)

Pro vedení z uzlu MIR do uzlu BEJ bude navržena optimální doba výstavby posilujícího vedení podle následujícího postupu.

známé hodnoty:

$$l = 21,648 \text{ km}$$

$$S_0 = 47,398 \text{ MVA}$$

$$U = 110 \text{ kV}$$

$$n = 20 \text{ let}$$

$$s_1 = s_2 = 240 \text{ mm}^2$$

předpokládané hodnoty:

$$k_{ik1} = k_{ik2} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Kč}$$

$$R_{k1} = R_{k2} = 0,122 \Omega/\text{km}$$

$$k = 3$$

$$n_{\Delta} = 7000 \text{ Kč} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$p_{\text{úr}} = 6\%$$

$$p_{\text{údr}} = 3\%$$

$$p_z = 3\%$$

$$\cos\varphi = 0,95$$

Z počátečního zdánlivého výkonu se vypočítá počáteční činný výkon

$$P_0 = \frac{S_0}{\cos\varphi} = \frac{47,398}{0,95} = 49,892 \text{ MW}$$

Činitel růstu zatížení se vypočte pomocí vztahu (5.10)

$$\delta = 1 + \frac{3}{100} = 1,03$$

Výpočet pomocných veličin:

Výpočet M podle vztahu (5.12):

$$M = \frac{10^3}{110^2 \cdot 0,95^2} \cdot 7000 = 641,01$$

Hodnota q (úročitel) se vypočte podle vztahu:

$$q = 1 + \frac{6}{100} = 1,06$$

Celková velikost odporu jednoho vedení:

$$R = R_k \cdot l = 0,122 \cdot 21,648 = 2,641 \Omega$$

Výpočet A podle vztahu (5.24):

$$A = \frac{1}{2} \cdot 641,01 \cdot 2,641 \cdot 45,028^2 \cdot \frac{1,03^2}{1,03^2 - 1,06} \cdot \ln \frac{1,03^2}{1,06} = 846,8$$

Výpočet B podle vztahu (5.25):

$$B = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,641 \cdot \frac{1,03^2}{1,03^2 - 1,06} \cdot \frac{1}{20} \cdot \frac{1}{1,06^{20}} = 506246,15$$

Výpočet C podle vztahu (5.26):

$$C = \left(1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,641 + 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,641 \cdot \frac{3}{100} \cdot \frac{1}{1,06 - 1} \right) \cdot \ln 1,06 = 2838161,98$$

Podle vztahu (5.23) pak pokračujeme:

$$x = 846,8 \cdot 45,028^2 \cdot 1,03^{2n_1} - 506246,15 \cdot 1,06^{n_1} - 2838161,97 = 0$$

Hledáme takovou hodnotu n_1 (musí být celé číslo) aby platila předchozí rovnice.

Tab. 7: Vypočtené hodnoty x

n_1	$x \cdot 10^5$
0	-14,2
20	11,38
10	-6,43
15	1,159
14	-0,545
13	-2,15

Z tabulky je vidět, že x nabývá minimální hodnoty v případě $n_1 = 14$ let

Pomocí následujících výpočtů bude určeno kolik se ušetří, jestliže jedno vedení postavíme v současnosti a druhé za dobu 14ti let, oproti variantě, v které by se obě vedení postavila v současnosti ($n_1 = 0$ let).

Pomocné výpočty (5.14), (5.21), (5.13), (5.19), (5.20):

$$R_n = \frac{1}{1,06^{20}} \cdot \frac{1,06^{20} - 1}{1,06 - 1} = 11,469$$

$$R_{n-n_1} = \frac{1}{1,06^{20}} \cdot \frac{1,06^{(20-14)} - 1}{1,06 - 1} = 2,17$$

$$S_n = \frac{1,03^2}{1,06^{20}} \cdot \frac{1,03^{40} - 1,06^{20}}{1,03^2 - 1,06} = 20,179$$

$$S_{n_1} = \frac{1,03^2}{1,06^{14}} \cdot \frac{1,03^{28} - 1,06^{14}}{1,03^2 - 1,06} = 14,089$$

$$S_{n_1-1} = \frac{1,03^2}{1,06^6} \cdot \frac{1,03^{12} - 1,06^6}{1,03^2 - 1,06} = 6,018$$

Výpočet celkových aktualizovaných nákladů (5.11) obou vedení v případě, že by se obě vedení postavila hned.

$$\begin{aligned} N_0^A &= 2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,648 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,648 \cdot \frac{3}{100} \cdot 11,469 + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot 641,01 \cdot 2,641 \cdot 45,0281^2 \cdot 20,179 = 121,921 \cdot 10^6 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Výpočet celkových aktualizovaných nákladů (5.18) obou vedení v případě, že by se jedno vedení postavilo hned a druhé za dobu 14let.

$$\begin{aligned} N_{14}^A &= 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,648 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,648 \cdot \frac{3}{100} \cdot 11,469 + 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,648 \cdot \frac{1}{1,06^{14}} + \\ &+ 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,648 \cdot \frac{3}{100} \cdot 2,17 - 1,5 \cdot 10^6 \cdot 21,648 \cdot \frac{14}{20} \cdot \frac{1}{1,06^{20}} + 641,01 \cdot 2,641 \cdot 45,0281^2 \cdot 14,089 + \\ &+ \frac{1}{2} \cdot 641,01 \cdot 2,641 \cdot 45,0281^2 \cdot \frac{1,03^{2 \cdot 14}}{1,06^{14}} \cdot 6,0178 = 111,845 \cdot 10^6 \text{ Kč} \end{aligned}$$

V případě že posilující vedení postavíme za dobu 14 let ušetříme

$$\Delta N = N_0^A - N_{14}^A = 121,921 \cdot 10^6 - 111,845 \cdot 10^6 = 10,71 \cdot 10^6 \text{ Kč}$$

Z výsledků vyplývá, že celková úspora varianty kdy se postaví jedno vedení ihned a druhé po čtrnácti letech oproti variantě, kdy se obě vedení postaví hned činí 10,71 miliónů Kč.

10.2 Výpočet aktualizovaných nákladů pro nově navrženou linku SVL-MBU

Pro nově navrženou linku z uzlu SVL do uzlu MBU bude určena úspora, která nastane v případě, že se posilující vedení postaví po n_1 letech provozu prvního vedení, oproti variantě, že se obě vedení postaví současně.

$N_a(n_1)$ jsou aktualizované náklady obou vedení v případě výstavby posilujícího vedení po n_1 letech vypočtené podle vztahu (5.18)

N_a jsou aktualizované náklady v případě vystavění obou vedení současně. Počítáno podle vztahu (5.11).

10.2.1 Linka SVL-MBU v případě $p_z = 1\%$

$$N_a = 90,56 \text{ mil. Kč}$$

Tab. 8: Vypočtené aktualizované náklady pro jednotlivé roky pro linku SVL-MBU, $p_z = 1\%$

n_1 (roky)	$N_a(n_1)$ (mil. Kč)	ΔN (mil. Kč)
5	85,45	5,11
10	81,64	8,92
15	78,72	11,84
20	76,38	14,18

10.2.2 Linka SVL-MBU v případě $p_z = 3\%$

$N_a = 101,533$ mil. Kč

Tab. 9: Vypočtené aktualizované náklady pro jednotlivé roky pro linku SVL-MBU, $p_z = 3\%$

n_1 (roky)	$N_a(n_1)$ (mil. Kč)	ΔN (mil. Kč)
5	90,23	11,31
10	82,05	19,48
15	76,21	25,31
20	72,13	29,41

11 Závěr

V teoretické části je uveden rozbor ustáleného stavu sítě jako lineární úloha a rozbor ustáleného stavu sítě jako nelineární úloha. V tomto teoretickém rozboru je především uveden postup a odvození, pomocí nichž můžeme řešit síť v ustáleném stavu. V práci je uveden postup pro sestavení admitanční matice pomocí metody uzlových napětí a eliminace bilančního uzlu, což je uzel, který hradí neznámé proudy tekoucí v příčných větvích a vyrovnává bilanci mezi odběry a dodávkami. Dále je do teoretické části zahrnut postup a metody pro výpočet ustáleného chodu sítí v případě nelineární úlohy, jako jsou Gauss Seidlova iterační metoda, Newton Raphsonova modifikovaná metoda a postupy a vztahy pro výpočet zdánlivých výkonů vstupujících a vystupujících z vedení, pro výpočet proudů vstupujících a vystupujících z vedení a pro výpočet ztrát jalových a činných. Při výpočtu hodnot zdánlivých výkonů, proudů a činných a jalových ztrát, vycházíme z hodnot napětí v jednotlivých uzlech, vypočítaných některou z iteračních metod a ze zadaných parametrů vedení. Všechny tyto výpočty jsou v práci uvedeny.

Výpočet sítě pomocí Gauss Seidlovi iterační metody a Newton Raphsonovi metody měl být podle zadání proveden v matematickém programu matlab a výsledky získané pomocí tohoto programu měli být zkontrolovány pomocí školní verze programu GLF. Po zhotovení obou programů v matlabu (programy jsou uvedeny v příloze A) bylo zjištěno, že bude postačující Newton Raphsonova modifikovaná metoda, protože v případě aplikace Gauss Seidlovi iterační metody na zadanou síť výpočet pomale konvergoval. To je pravděpodobně způsobeno tím, že nebyly dodrženy některé podmínky, které přispívají ke konvergenci výpočtu, jako například co nejbližší počáteční přiblížení, co nejvyšší počet napájecích uzlů, co nejvyšší počet smyček, umístění bilančního uzlu v elektrickém středu sítě a další. Newton Raphsonova modifikovaná metoda nekonvergovala jen v některých případech a to při poruchových stavech což je pravděpodobně opět způsobeno nedodržením již zmiňovaných podmínek. Co se týče kontroly správnosti hodnot pomocí programu GLF, tak výsledky napětí, proudů, výkonů (jak modulů, tak jejich fáze) a ztrát (jak činných tak jalových) se shodovaly s dostatečnou přesností. V praxi se pro výpočet ustáleného chodu sítí používají speciální programy určeny jen pro tuto záležitost. Mezi

tyto programy patří například systém Pas Daisy offline, jehož podrobnější popis je uveden v kapitole 6.1.

Zadaná síť je část sítě 110 kV společnosti E.ON, jejíž napájecí uzly jsou MIR – Mírovka (v případě sítě 1) a SVL – Slavětice (v případě sítě 2) a odběrovými uzly ŽĐAS, MZR, OVD – Ostrov nad Oslavou, SL – Šlapanov, BEJ – Jihlava-Bedřichov, HEO – Jihlava-Heroltice, JI- Jihlava (vše síť 1) a RIP – Třebíč-Říčov, MBU – Moravské Budějovice, TEL – Telč, JI- Jihlava, DI – Dačice (síť 2). Výpočet ustáleného chodu byl proveden jak pro normální provoz (proudové zatížení nesmí přesáhnout hodnotu 60% a napětí v jednotlivých uzlech sítě se nesmí lišit o více jak 10% od jmenovité hodnoty, což je 110kV), tak pro stav v případě výpadku jednoho z vedení (proudové zatížení nesmí přesáhnout hodnotu 80%) nebo v případě výpadku jednoho z napájecích uzlů (proudové zatížení nesmí přesáhnout hodnotu 100%). V případě normálního provozu (znamená že síť 1 a 2 pracují odděleně a odběr v uzlu JI je rozdělen na poloviny a každá tato polovina je napájena z jednoho napájecího uzlu) logicky počet nevyhovujících vedení po době 20ti let s růstem procenta zatížení vzrůstá. Pomocí výpočtů bylo zjištěno, že v současnosti síť naprosto bez problémů vyhovuje za normálního provozu

Návrh posílení sítě je uveden v kap.9 a je proveden tak, aby při žádném stavu sítě nebylo žádné vedení proudově přetíženo. Ve spolupráci s dispečinkem společnosti E.ON byly navrženy určité změny, které podle výpočtů výrazně snížily proudové zatížení vedení. Jsou to změny, které má společnost E.ON v plánu, popřípadě uvažuje o jejich provedení. Mezi tyto změny patří především výstavba nového vedení z uzlu SVL do uzlu MBU (označeno jako XX), jehož délka by byla cca 25km. Tohle řešení výrazně odlehčí vedení 5580, 5581 a 5523, což jsou nejvíce zatížená vedení v síti 2. Další podstatnou navrženou změnou je změna topologie a vystavění nového vedení v síti mezi uzly MIR, BEJ, HEO a JI. Tohle řešení je uvedeno na obr. 16. Změny spočívají ve vystavění nového vedení z uzlu MIR do uzlu BEJ (značeno YY) a k tomu vedení 1317 bylo přesměrováno z uzlu MIR přímo do uzlu JI. Jelikož je v uzlu BEJ největší odběr v celé síti 1 i 2, tak tohle řešení výrazně sníží proudové zatížení vedení 1317 a 1318. Část sítě, v nichž se nachází uzly ŽĐAS, SL, OVD a MZR vyhovuje pro jakýkoliv stav, proto není nutná žádná úprava této části sítě.

Na závěr je v práci určena optimální doba výstavby posilovacího vedení a výpočet aktualizovaných nákladů. Výpočet byl proveden pro nově navržené vedení z uzlu MIR do uzlu BEJ (vedení YY) v případě $p_z = 3\%$ podle postupu a vztahů v kap. 6 a byl realizován v kapitole 10. V případě vedení YY vyšla optimální doba výstavby 14 let což uspoří částku 10,71 miliónů Kč. Tato úspora plyne z rozdílu hodnoty aktualizovaných nákladů v případě, že se obě vedení postaví hned (121,921 mil.Kč.) a hodnoty aktualizovaných nákladů v případě, že se první vedení postaví v současnosti a druhé vedení se postaví za dobu 14 let (111,845 mil. Kč). Pro ostatní vedení nebyla optimální doba stanovena a to z toho důvodu, že optimální doba pro výstavbu posilujícího vedení vycházela daleko za horizontem dvaceti let. To je způsobeno tím, že síť (po provedení posilujících opatření) nebyla navržena z hlediska ekonomického optima, ale tak, aby vyhovovala všem zadaným kritériím (N-1) a výpadkům jednoho z napájecích uzlů. To znamená, že pro normální provoz je síť silně předimenzovaná. V praxi je asi nutné provést nějaký rozumný kompromis mezi ekonomickou výhodností provozu sítě a splněním veškerých kritérií.

Použitá literatura

- [1] HALUZÍK, Evžen. *Řízení provozu elektrizačních soustav*. Učební texty. 1. vyd. Praha : SNTL , 1983. 126 s.
- [2] HALUZÍKOVÁ , Anežka. *Numerické metody*. Učební texty vysokých škol. Brno : Rektorát VUT v Brně, 1989. 124s. ISBN 80-214-0039-0
- [3] KUBÍČEK, Milan, DUBCOVÁ, Miroslava, JANOVSÁ , Drahoslava. *Numerické metody a algoritmy*. Učební texty. 1. vyd. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2001. 183 s. ISBN 80-7080-450-5.
- [4] CHMELA , Michal. *Ekonomika a řízení*. 1. vyd. Elektronické učební texty, VUT-FEKT, ústav elektroenergetiky 2004. 116 s.
- [5] KOLCUN, Michal, CHLADNÝ, Vladimír, VARGA, Ladislav. *Počítačová analýza elektrizačnej sústavy*. Elektronické odborné texty. Technická univerzita Košice 2006. 112s.
- [6] *PAS DAISY OFF LINE v.4.00 BIZON – První kroky*. Uživatelská příručka. leden 2004 – verze příručky 1.2. 54s.
- [7] ADAMOV, J a kol.:*Elektroenergetika*, Košice: ES TU 1991
- [8] KOLCUN, M., MUHLBACHER, J., HALLER, R.: *Mathematical analysis of electrical network*, Technical literature BEN, Prague 2004
- [9] SEDLÁČEK, Jiří, VALSA, Juraj. *Elektrotechnika II*. Elektronické učební texty, VUT-FEKT, 186s.
- [10] BAŠTINEC, Jaromír, NOVÁK, Michal. *Moderní numerické metody*. Elektronické učební texty, VUT-FEKT, ústav matematiky, 277s.
- [11] BLAŽEK, Vladimír, PAAR, Martin. *Přenosové sítě*. Elektronické učební texty, VUT-FEKT, ústav elektroenergetiky 2007. 122 s.
- [12] HODINKA, M., FECKO, Š., NĚMEČEK F.: *Přenos a rozvod elektrické energie*. SNTL Praha, 1989
- [13] KUČERA, D.:*Elektroenergetika I*. VUT v Brně, Brno 1986.
- [14] KUČERA, D.: *Přenos a rozvod elektrické energie*. VUT v Brně, Brno, 1982

Příloha A Programy pro výpočet Gauss Seidlovi iterační metody a Newton Raphsonovi modifikované metody

GAUSS SEIDLOVA ITERAČNÍ METODA:

```
%pocet uzlu obvodu
disp('Zadej pocet uzlu obvodu');
pocetuzlu=input('pocet uzlu=');
%matice Y
disp('Zadej matici Y');
Y=zeros(pocetuzlu);
for i=1:pocetuzlu %po radcich
    for j=1:pocetuzlu %po sloupcich
        Y(i,j)=input('zadej prvky Y po radcich=');
    end
end
%napeti
disp('Zadej velikost bilancniho uzlu');
bilancniuzel=input('bilancni uzel=');
%vykon
disp('Zadej velikost vykonu v uzlech, pokud neni vykon znamy, zadej nula');
P(1,1)=0;
for i=2:pocetuzlu %po sloupcich
    P(1,i)=input('zadej velikost P=');
end
%presnost vypoctu
disp('Zadej presnost');
presnost=input('presnost=');
%VYPOCET NAPETI GAUSS SEIDLOVOU METODOU
vyppresnost=inf;%osetreni prvnio kroku
i=1;%index sloupce, krok metody
j=1;
U=zeros(pocetuzlu,i);
U(:,i)=bilancniuzel;
suma2=0;
```

```
while vyppresnost>presnost
    i=i+1; %opakovani vypoctu napeti podle presnosti, po sloupcich
    U(j,i)=bilancniuzel;
    for j=2:pocetuzlu % opakovani vypoctu napeti podle pocetu uzlu, po radcich
        %pomocny vypocet sum do vzorce
        for m=1:j-1 % index sloupce Y
            suma1(1,m)=Y(j,m)*U(m,i);
        end
        suma1=sum(suma1);
        if j~=pocetuzlu
            for m=j+1:pocetuzlu
                suma2(1,m)=Y(j,m)*U(m,i-1);
            end
            suma2=sum(suma2);
        else
            suma2=0;
        end
        %hlavni vzorec
        U(j,i)=1/Y(j,j)*(P(1,j)/conj(U(j,i-1))-suma1-suma2);

    end
    vyppresnosti=abs(U(:,i)-U(:,i-1));
    vyppresnost=max(vyppresnosti);
    j=1;
    clear suma1;
    clear suma2;
end

disp('Vysledna napeti:');
U(2:pocetuzlu,i)
```

NEWTON RAPHSONOVA MODIFIKOVANÁ METODA:

%ZADANI VSTUPNICH VELICIN

%pocet uzlu obvodu

disp('Zadej pocet uzlu obvodu');

pocetuzlu=input('pocet uzlu=');

%matice Y

disp('Zadej matici Y, modul');

Y=zeros(pocetuzlu);

for i=1:pocetuzlu %po radcich

for j=1:pocetuzlu %po sloupcich

Y(i,j)=input('zadej modul Y po radcich=');

end

end

disp('Zadej matici Y, fazi');

Y2=zeros(pocetuzlu); %alfa

for i=1:pocetuzlu %po radcich

for j=1:pocetuzlu %po sloupcich

Y2(i,j)=input('zadej fazi Y po radcich=');

end

end

%napeti

disp('Zadej velikost bilancniho uzlu');

bilancniuzel=input('bilancni uzel=');

delta=zeros(pocetuzlu,1);

U=zeros(pocetuzlu,1);

U(:,1)=bilancniuzel;

%vykon

disp('Zadej velikost cinneho vykonu P v uzlech, pokud neni vykon znamy, zadej nula');

P(1,1)=0;

for i=2:pocetuzlu %po sloupcich

P(1,i)=input('zadej velikost P=');

end

disp('Zadej velikost jaloveho vykonu Q v uzlech, pokud neni vykon znamy, zadej nula');

Q(1,1)=0;

```
for i=2:pocetuzlu %po sloupcich
    Q(1,i)=input('zadej velikost Q=');
end
%presnost vypoctu
disp('Zadej presnost');
presnost=input('presnost=');
% VYPOCET výkonu P newtonovou METODOU
vyppresnost=inf;% osetreni prvnio kroku
i=1;% index sloupce, krok metody
j=1;
dP=zeros(pocetuzlu,i);
while vyppresnost>presnost
    %opakovani vypoctu napeti podle presnosti, po sloupcich
    for j=2:pocetuzlu
        % opakovani vypoctu dP podle poctu uzlu, po radcich
        %pomocny vypocet sum do vzorce
        for m=1:pocetuzlu % index sloupce
            suma1(1,m)=U(j,i)*U(m,i)*Y(j,m)*cos(delta(j,i)-delta(m,i)-Y2(j,m));
        end
        suma1=sum(suma1);
        %hlavni vzorec
        dP(j,i)=P(1,j)-suma1;
        % opakovani vypoctu dQ podle poctu uzlu, po radcich
        %pomocny vypocet sum do vzorce
        clear suma1;
        for m=1:pocetuzlu % index sloupce
            suma1(1,m)=U(j,i)*U(m,i)*Y(j,m)*sin(delta(j,i)-delta(m,i)-Y2(j,m));
        end
        suma1=sum(suma1);
        %hlavni vzorec
        dQ(j,i)=Q(1,j)-suma1;

        vyppresnostdP=abs(max(dP(:,i)));
        vyppresnostdQ=abs(max(dQ(:,i)));
    end
end
```



```

end
% vypočet matice1
for k=1:pocetuzlu-1 % po sloupcích
    for l= 1:pocetuzlu-1 % PORADCICH
        if k==l % v diagonale
            clear suma11;
            for m=1:pocetuzlu % index sloupce
                suma11(1,m)=U(m,i)*Y(l+1,m)*cos(delta(l+1,i)-delta(m,i)-Y2(l+1,m));
            end
            suma1=sum(suma11)-suma11(1,l+1);
            m1(l,k)=2*U(l+1,i)*Y(l+1,k+1)*cos(Y2(l+1,k+1))+suma1;
        else % ne v diagonale
            m1(l,k)=U(l,i)*Y(l+1,k+1)*cos(delta(l,i)-delta(k,i)-Y2(l+1,k+1));
        end
    end
end

% vypočet matice2
for k=1:pocetuzlu-1 % po sloupcích
    for l= 1:pocetuzlu-1 % PORADCICH
        if k==l % v diagonale
            clear suma11;
            for m=1:pocetuzlu % index sloupce
                suma11(1,m)=U(m,i)*Y(l+1,m)*sin(delta(l+1,i)-delta(m,i)-Y2(l+1,m));
            end
            suma1=sum(suma11)-suma11(1,l+1);
            m2(l,k)=-((2*U(l+1,i)*Y(l+1,k+1)*sin(Y2(l+1,k+1)))+suma1;
        else % ne v diagonale
            m2(l,k)=U(l,i)*Y(l+1,k+1)*sin(delta(l,i)-delta(k,i)-Y2(l+1,k+1));
        end
    end
end
end

```

```

% vypocet matice3
for k=1:pocetuzlu-1 % po sloupcich
    for l= 1:pocetuzlu-1 % PORADCICH
        if k==l % v diagonale
            clear suma11;
            for m=1:pocetuzlu % index sloupce
                suma11(1,m)=U(m,i)*U(l+1,i)*Y(l+1,m)*sin(delta(l+1,i)-delta(m,i)-
Y2(l+1,m));
            end
            suma1=sum(suma11)-suma11(1,l+1);
            m3(l,k)=-suma1;
        else % ne v diagonale
            m3(l,k)=U(l+1,i)*U(k+1,i)*Y(l+1,k+1)*sin(delta(l,i)-delta(k,i)-Y2(l+1,k+1));
        end
    end
end
% vypocet matice4
for k=1:pocetuzlu-1 % po sloupcich
    for l= 1:pocetuzlu-1 % PORADCICH
        if k==l % v diagonale
            clear suma11;
            for m=1:pocetuzlu % index sloupce
                suma11(1,m)=U(m,i)*U(l+1,i)*Y(l+1,m)*cos(delta(l+1,i)-delta(m,i)-
Y2(l+1,m));
            end
            suma1=sum(suma11)-suma11(1,l+1);
            m4(l,k)=suma1;
        else % ne v diagonale
            m4(l,k)=-U(l+1,i)*U(k+1,i)*Y(l+1,k+1)*cos(delta(l,i)-delta(k,i)-Y2(l+1,k+1));
        end
    end
end
% skladani matic

```

```
dPdQ=dP(2:pocetuzlu,i);
ss=size(dPdQ);
dPdQ(ss(1,1)+1:pocetuzlu*2-2,1)=dQ(2:pocetuzlu,i);
%jakobian
J=m1;
J(pocetuzlu:pocetuzlu*2-2,:)=m2;
J(1:pocetuzlu-1,pocetuzlu:pocetuzlu*2-2)=m3;
J(pocetuzlu:pocetuzlu*2-2,pocetuzlu:pocetuzlu*2-2)=m4;
%deltaU
dU=J\dPdQ;
ss=size(dU);
dUU=zeros(pocetuzlu,1);
dUU(2:pocetuzlu,1)=dU(1:ss(1,1)/2,1);
ddelta=zeros(pocetuzlu,1);
ddelta(2:pocetuzlu,1)=dU((ss(1,1)/2+1):ss(1,1),1);
i=i+1; % zvyseni o 1, skok na dalsi sloupec
U(:,i)=U(:,i-1)+dUU;
delta(:,i)=delta(:,i-1)+ddelta;
j=1;
clear suma11;
end
disp('Vysledna napeti:');
U
deltaU=delta
```

Příloha B Parametry zadané sítě

Tab. 10: Parametry vedení sítě I

Vedení	Uzly		I_n [A]	l [km]	s [mm ²]	R [Ω]	X [Ω]	B [uS]
1309	MIR	SL	572	5,605	240	0,7006	2,2812	15,8061
1310	MIR	MZR	572	31,577	240	3,9471	12,8518	89,0471
1311	SL	MZR	572	26,634	240	3,3293	10,84	75,1079
1315W	ZDAS	1315A	483	0,647	185	0,1009	0,2594	1,8634
1315X	1315A	1315B	483	24,876	185	3,8807	10,1494	68,409
1315Y	1315B	1315C	572	6,987	240	0,8734	2,8158	20,5418
1315Z	1315C	MIR	725	0,061	350	0,0052	0,0232	0,2166
1317X	BEJ	1317A	483	20,101	185	3,1358	8,605	57,8909
1317Y	1317A	1317B	572	1,437	240	0,1796	0,582	4,2248
1317Z	1317B	MIR	725	0,111	350	0,0094	0,0423	0,3941
1318X	HEO	1318A	483	17,383	185	2,7117	6,9706	50,063
1318Y	1318A	1318B	572	1,437	240	0,1796	0,582	4,2248
1318Z	1318B	MIR	725	0,111	350	0,0094	0,0423	0,3941
5511	MZR	ODV	483	6,291	185	0,9814	2,5227	18,1181
5512	MZR	ODV	483	6,291	185	0,9814	2,5227	18,1181
5524	JI	BEJ	483	19,952	185	3,1125	8,008	57,4618
5529	JI	HEO	483	16,188	185	2,5253	6,4914	46,6214
5536X	MZR	5536A	483	1,723	185	0,2688	0,6995	5,0139
5536Y	5536A	ZDAS	483	0,656	185	0,1023	0,2631	1,8893

Tab. 11: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 1 v současnosti a za 20let pro $p_z=1\%$ a $p_z=3\%$

UZEL	současnost		n=20let			
	P_m [MW]	Q_m [MVar]	$p_z=1\%$		$p_z=3\%$	
			P_m [MW]	Q_m [MVar]	P_m [MW]	Q_m [MVar]
BEJ	48	15,78	58,57	19,25	86,69	28,5
DI	19,5	6,41	23,79	7,82	35,22	11,58
HEO	15	4,93	18,3	6,01	27,09	8,9
JI/2	13,5	4,44	16,47	5,42	24,38	8,02
MBU	23	7,56	28,06	9,22	41,54	13,65
MZR	29	9,53	35,39	11,63	52,38	17,21
OVD	12	3,94	14,64	4,8	21,67	7,12
RIP	26	8,55	31,72	10,43	46,96	15,44
SL	5	1,64	6,1	2	9,03	2,96
TEL	18	5,92	21,96	7,22	32,51	10,69
ZDAS	11	3,62	13,42	4,42	19,87	6,54

Tab. 12: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 1 za 20 let s $p_z=5\%$

UZEL	n=20let	
	$p_z=5\%$	
	P_m [MW]	Q_m [MVar]
BEJ	127,36	41,87
DI	51,74	11,58
HEO	39,8	13,08
JI/2	35,82	11,78
MBU	61,03	20,06
MZR	76,95	25,29
OVD	31,84	10,45
RIP	68,99	22,69
SL	13,27	4,35
TEL	47,76	15,71
ZDAS	29,19	9,6

Tab. 13: Parametry vedení sítě 2

Vedení	Uzly		I_n [A]	l [km]	s [mm ²]	R [Ω]	X [Ω]	B [uS]
504	JI	RIP	483	28,888	185	3,44	10,88	80,04
520	JI	TEL	483	25,611	185	3,9953	10,3981	74,528
549	JI	RIP	483	27,888	185	3,44	10,88	80,04
5521	TEL	DI	572	12,292	240	1,5365	5,0028	34,6634
5522Y	TEL	5522A	483	33,05	185	5,1558	13,4183	96,1755
5522X	5522A	MBU	483	6,23	185	0,9719	2,4982	17,9424
5523Y	RIP	5523A	483	13,53	185	2,1107	5,4932	39,3723
5523X	5523A	MBU	483	6,23	185	0,9719	2,4982	17,9424
5530	TEL	DI	572	12,292	240	1,5365	5,0028	34,6634
5580	SLV	RIP	572	24,567	240	3,0709	9,9988	69,2789
5581	SLV	RIP	572	24,567	240	3,0709	9,9988	69,2787

Tab. 14: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 2 v současnosti a za 20let pro $p_z=1\%$ a $p_z=3\%$

UZEL	současnost		n=20let			
	P_m [MW]	Q_m [MVar]	$p_z=1\%$		$p_z=3\%$	
			P_m [MW]	Q_m [MVar]	P_m [MW]	Q_m [MVar]
DI	19,5	6,41	23,79	7,82	35,22	11,58
JI/2	13,5	4,44	16,47	5,42	24,38	8,02
MBU	23	7,56	28,06	9,22	41,54	13,65
RIP	26	8,55	31,72	10,43	46,96	15,44
TEL	18	5,92	21,96	7,22	32,51	10,69

Tab. 15: Odběry v jednotlivých uzlech sítě 2 za 20 let s $p_z=5\%$

UZEL	n=20let	
	$p_z=5\%$	
	P_m [MW]	Q_m [MVar]
DI	51,74	11,58
JI/2	35,82	11,78
MBU	61,03	20,06
RIP	68,99	22,69
TEL	47,76	15,71

Příloha C Výsledky výpočtů pro zatížení v současnosti

Tab. 16: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě I v současnosti (normální stav)

UZEL	současnost		
	$U[V]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
MIR	110000,0	0,000	0,00
1315C	109998,7	0,001	0,00
1315B	109772,9	-0,213	0,21
1315A	108798,8	-0,964	1,09
ZDAS	108773,1	-0,987	1,12
5536A	108766,0	-0,999	1,12
MZR	108740,0	-1,019	1,15
OVD	108643,0	-1,082	1,23
SL	109733,6	-0,215	0,24
1317B	109989,6	-0,005	0,01
1317A	109838,5	-0,115	0,15
BEJ	107482,3	-1,643	2,29
JI/2	107701,2	-1,522	2,09
HEO	108429,4	-1,040	1,43
1318A	109882,2	-0,084	0,11
1318B	109992,2	-0,003	0,01

Tab. 17: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1 v současnosti (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n [A]	Zatížení [%]
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315	MIR	ZDAS	146,44	-11,84	147,65	165,97	483	30,6
5536	ZDAS	MZR	38,27	-8,61	38,46	169,54	483	7,96
5511	MZR	ODV	32,86	-17,66	33,20	160,46	483	6,8
5512	MZR	ODV	32,86	-17,66	33,20	160,46	483	6,8
1311	SL	MZR	92,31	-15,10	93,61	162,10	572	16,4
1309	MIR	SL	118,73	-15,63	119,00	163,91	572	20,1
1310	MIR	MZR	98,74	-14,80	100,27	162,08	572	17,5
1317	MIR	BEJ	248,77	-18,75	249,95	160,39	483	51,7
5524	JI/2	BEJ	20,60	-19,63	21,97	151,48	483	4,3
1318	MIR	HEO	179,56	-17,95	180,61	161,00	483	37,4
5529	HEO	JI	96,11	-17,89	96,98	160,46	483	20,1

Tab. 18: Vypočtené hodnoty zdánlivého výkonu vstupujících do vedení a činných a jalových ztrát ve vedení sítě 1 v současnosti (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	současnost					
			S_l [MVA]	φ [°]	S_l [MVA]	φ [°]	ΔP [kW]	ΔQ [kVar]
1315	MIR	ZDAS	27,902	11,84	27,819	-166,9	206,409	-550,059
5536	ZDAS	MZR	7,211	7,62	7,244	-170,56	1,632	-232,354
5511	MZR	ODV	6,189	16,65	6,248	-161,54	3,211	-205,789
5512	MZR	ODV	6,189	16,65	6,248	-161,54	3,211	-205,789
1311	SL	MZR	17,545	14,88	17,631	-163,11	86,297	-615,278
1309	MIR	SL	22,621	15,63	22,618	-164,12	29,697	-94,095
1310	MIR	MZR	18,812	14,80	18,886	-163,10	117,232	-683,491
1317	MIR	BEJ	47,398	18,75	46,532	-162,04	617,554	889,627
5524	JI/2	BEJ	3,843	18,11	4,091	-153,13	4,207	-654,363
1318	MIR	HEO	34,214	17,95	33,919	-162,05	280,785	91,430
5529	HEO	JI	18,049	16,85	18,090	-161,98	70,603	-362,966

Tab. 19: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 v současnosti (normální stav)

UZEL	současnost		
	$U[V]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
SVL	110000	0,00	0,00
RIP	107087,6	-2,23	2,65
5523A	105846,5	-3,10	3,78
MBU	105277,9	-3,50	4,29
5522A	105101,2	-3,64	4,45
TEL	104086,7	-4,41	5,38
DI	103795,2	-4,64	5,64
JI/2	105849	-3,20	3,77

Tab. 20: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2 v současnosti (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				$I_n [A]$	Zatížení
			$I_l [A]$	$\varphi [^\circ]$	$I_l [A]$	$\varphi [^\circ]$		
5581	SLV	RIP	283,87	-18,1903	282,56	160,9726	572	49,6
5580	SLV	RIP	283,87	-18,1903	282,56	160,9726	572	49,6
5523X	5523A	MBU	200,65	-19,531	200,35	160,1705	483	41,5
5522X	5522A	MBU	68,68	-15,5868	68,44	163,5223	483	14,2
5522Y	TEL	5522A	70,13	-16,6404	68,64	158,7266	483	14,5
5521	TEL	DI	56,83	-21,129	56,20	156,8588	572	9,9
5530	TEL	DI	56,83	-21,129	56,20	156,8588	572	9,9
520	JI	TEL	146,95	-20,5755	145,58	157,7354	483	30,4
504	JI	RIP	111,67	-18,3307	110,25	159,2366	483	23,1
549	JI	RIP	111,67	-18,3307	110,25	159,2366	483	23,1
5523Y	RIP	5523A	199,94	-18,9042	199,24	160,4283	483	41,4

Tab. 21: Vypočtené hodnoty zdánlivého výkonu vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2 v současnosti (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	současnost					
			S_i [MVA]	φ [°]	S_j [MVA]	φ [°]	ΔP [kW]	ΔQ [kVAr]
5581	SLV	RIP	53,835	18,17	52,652	-163,02	739,168	1590,355
5580	SLV	RIP	53,835	18,17	52,652	-163,02	739,168	1590,355
5523X	5523A	MBU	36,729	16,41	36,588	-163,48	117,212	101,344
5522X	5522A	MBU	12,480	12,08	12,502	-166,98	13,705	-163,302
5522Y	TEL	5522A	12,494	12,98	12,644	-162,95	74,386	-858,582
5521	TEL	DI	10,132	16,70	10,217	-161,32	14,719	-326,571
5530	TEL	DI	10,132	16,70	10,217	-161,32	14,719	-326,571
520	JI	TEL	26,690	17,35	26,492	-161,96	256,455	-153,782
504	JI	RIP	20,448	16,08	20,473	-162,26	127,051	-505,488
549	JI	RIP	20,448	16,08	20,473	-162,26	127,051	-505,488
5523Y	RIP	5523A	36,956	16,65	36,654	-163,34	252,265	210,223

Tab. 22: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení v současnosti (výpadek SVL)

vedení	uzel i	uzel j	Současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	91,88	-114,24	91,89	65,76	725	12,67
1315Y	1315C	1315B	92,21	-13,49	92,52	165,72	572	16,17
1315X	1315B	1315A	93,03	-14,08	94,13	163,36	483	19,49
1315W	1315A	ZDAS	96,59	-15,11	96,62	164,82	483	20
5536Y	ZDAS	5536A	42,11	-2,52	42,11	177,32	483	8,72
5536X	5536A	MZR	34,15	-10,95	34,21	168,54	483	7,08
5511	MZR	ODV	31,84	-19,57	32,22	158,52	483	6,67
5512	MZR	ODV	31,84	-19,57	32,22	158,52	483	6,67
1311	SL	MZR	92,8	-17,09	94,25	160,15	572	16,48
1309	MIR	SL	122,22	-16,29	122,5	163,26	572	21,42
1310	MIR	MZR	99,74	-16,52	101,44	160,43	572	17,73
1317Z	MIR	1317B	589,59	-17,29	589,59	162,7	725	81,32
1317Y	1317B	1317A	533,47	-21,42	533,56	158,55	572	93,28
1317X	1317A	BEJ	530,93	-21,59	532,15	158,05	483	110,18
5524	JI	BEJ	253,49	-22,08	254,55	157,19	483	52,7
1318Z	MIR	1318B	583,07	-16,16	583,07	163,84	725	80,42
1318Y	1318B	1318A	511,6	-21,6	511,7	158,37	572	89,46
1318X	1318A	HEO	511,08	-21,58	512,16	158,09	483	106,04
5529	HEO	JI	425,26	-22,1	426,14	157,55	483	88,23
5523X	5523A	MBU	130,64	-25,25	130,96	154,32	483	27,11
5522X	5522A	MBU	9,2	-19,84	9,47	154,09	483	1,96
5522Y	TEL	5522A	8,63	13,83	8,41	156,16	483	1,74
5521	TEL	DI	52,71	-14,6	53	163,28	572	9,26
5530	TEL	DI	52,71	-14,6	53	163,28	572	9,26
520	JI	TEL	235,45	-22,03	236,68	156,97	483	49
504	JI	RIP	143,35	-22,36	144,76	155,86	483	29,97
549	JI	RIP	143,35	-22,36	144,76	155,86	483	29,97
5523Y	RIP	5523A	130,96	-23,84	131,81	155,2	483	27,29

Tab. 23: Vypočítané hodnoty proudů, ztrát a zatížení vedení v současnosti (výpadek MIR)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	48,56	-91,52	48,57	88,47	725	6,7
1315Y	1315C	1315B	117,99	-28,89	118,26	150,62	572	20,67
1315X	1315B	1315A	116,39	-29,93	117,33	148,43	483	24,29
1315W	1315A	ZDAS	118,14	-31,03	118,17	148,93	483	24,47
5536Y	ZDAS	5536A	38,41	-30,2	38,44	149,66	483	7,96
5536X	5536A	MZR	41,66	-26,91	41,71	152,74	483	8,64
5511	MZR	ODV	41,46	-32,63	41,73	146,17	483	8,64
5512	MZR	ODV	41,46	-32,63	41,73	146,17	483	8,64
1311	SL	MZR	116,75	-32,86	117,97	145,38	572	20,62
1309	MIR	SL	151,42	-32,41	151,67	147,3	572	26,52
1310	MIR	MZR	125,15	-32,51	126,6	145,54	572	22,13
1317Z	MIR	1317B	53,29	-91,63	53,31	88,37	725	7,35
1317Y	1317B	1317A	122,53	-29,71	122,58	150,2	572	21,43
1317X	1317A	BEJ	115,34	-30,07	116,22	148,52	483	24,06
5524	JI	BEJ	437,74	-30,73	438,75	148,89	483	90,84
1318Z	MIR	1318B	246,02	-34,41	246,03	145,58	725	33,94
1318Y	1318B	1318A	270,66	-32,2	270,72	147,75	572	47,33
1318X	1318A	HEO	274,88	-31,01	275,7	148,48	483	57,08
5529	HEO	JI	373,62	-30,5	374,46	149,14	483	77,53
5523X	5523A	MBU	343,17	-25,49	343,48	154,35	483	71,11
5522X	5522A	MBU	198,14	-25,88	198,45	153,85	483	41,09
5522Y	TEL	5522A	197,87	-26,3	199,48	152,25	483	41,3
5521	TEL	DI	63,13	-27,21	63,13	150,69	572	11,04
5530	TEL	DI	63,13	-27,21	63,13	150,69	572	11,04
520	JI	TEL	40,68	-24,96	41,89	149,68	483	8,67
504	JI	RIP	511,86	-29,48	513,55	150,05	483	106,32
549	JI	RIP	511,86	-29,48	513,55	150,05	483	106,32
5523Y	RIP	5523A	339,96	-25,47	340,71	154,18	483	70,54
5581	SVL	RIP	757,6	-27,73	759,39	151,98	572	132,76
5580	SVL	RIP	757,6	-27,73	759,39	151,98	572	132,76

Tab. 24: Výpadek vedení 1317z (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1317Y	1317B	1317A	1,07	98,94	0,83	-76,64	572	0,19
1317X	1317A	BEJ	3,35	94,56	0,63	-1,18	483	0,69
5524	JI	BEJ	289,22	-23,15	290,27	156,22	483	59,88
1318Z	MIR	1318B	462,5	-32,18	463,1	147,82	725	63,79
1318Y	1318B	1318A	461,4	-20,99	461,49	158,98	572	79,66
1318X	1318A	HEO	452,64	-21,96	453,75	157,67	483	93,71
5529	HEO	JI	368,79	-22,53	369,72	157,05	483	76,35

Tab.25: Výpadek vedení 1318z (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1317Z	MIR	1317B	452,5	-29	452,8	151	725	62,41
1317Y	1317B	1317A	450	-19,08	450,08	160,89	572	78,67
1317X	1317A	BEJ	439,22	-20,03	440,38	159,52	483	90,94
5524	JI	BEJ	165,17	-19,05	166,14	159,8	483	34,2
1318Y	1318B	1318A	1,07	100,73	0,83	-74,71	572	0,19
1318X	1318A	HEO	3,06	96,64	0,59	-6,08	483	0,63
5529	HEO	JI	86,04	-19,09	86,8	159,13	483	17,81

Tab. 26: Výpadek vedení 1309 (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	150,8	-77,37	150,9	102,63	725	20,8
1315Y	1315C	1315B	150,79	-15,01	151,13	164,52	582	25,91
1315X	1315B	1315A	151,7	-15,35	152,82	163,09	483	31,41
1315W	1315A	ZDAS	148,5	-18,22	148,53	161,74	483	30,75
5536Y	ZDAS	5536A	92,41	-13,91	92,43	166,02	483	19,13
5536X	5536A	MZR	88,94	-15,98	89,02	163,83	483	18,41
5511	MZR	ODV	34,85	-16,22	35,15	162	483	7,22
5512	MZR	ODV	34,85	-16,22	35,15	162	483	7,22
1311	SL	MZR	27,33	-10,57	28,42	160,08	572	4,78
1310	MIR	MZR	165,23	-18,21	166,99	159,96	572	28,89

Tab. 27: Výpadek vedení 1315z (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1315X	1315B	1315A	4,33	85,35	0,24	-167,13	483	0,9
1315W	1315A	ZDAS	4,2	109,41	4,09	-70,01	483	0,87
5536Y	ZDAS	5536A	84,6	-4,53	84,6	175,39	483	17,52
5536X	5536A	MZR	55,65	-18,85	55,75	160,85	483	11,52
5511	MZR	ODV	34,92	-15,99	35,22	162,23	483	7,23
5512	MZR	ODV	34,92	-15,99	35,22	162,23	483	7,23
1311	SL	MZR	139,93	-16,57	141,28	161,59	572	24,46
1309	MIR	SL	167,13	-16,65	167,41	163,02	572	29,22
1310	MIR	MZR	147,47	-16,31	149,08	161,61	572	25,78

Tab. 28: Výpadek vedení 5580 (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	587,05	-21,22	588,44	158,38	572	102,63
5523X	5523A	MBU	208,04	-21,9	208,33	157,82	483	43,07
5522X	5522A	MBU	73,03	-17,6	73,25	161,59	483	15,12
5522Y	TEL	5522A	71,27	-19,48	72,73	156,21	483	14,76
5521	TEL	DI	58,35	-23,54	58,95	154,58	572	10,2
5530	TEL	DI	58,35	-23,54	58,95	154,58	572	10,2
520	JI	TEL	151,81	-22,98	153,12	155,46	483	31,43
504	JI	RIP	114,33	-21,07	115,72	156,66	483	23,67
549	JI	RIP	114,33	-21,07	115,72	156,66	483	23,67
5523Y	RIP	5523A	206,96	-21,4	207,63	157,98	483	42,85

Tab. 29: Výpadek vedení 549 (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	285,14	-19	286,5	160,17	572	49,85
5580	SVL	RIP	285,14	-19	286,5	160,17	572	49,85
5523X	5523A	MBU	225,94	-20,11	226,25	159,62	483	46,78
5522X	5522A	MBU	96,04	-17,19	96,3	162,18	483	19,88
5522Y	TEL	5522A	96,42	-17,62	97,9	159,09	483	19,96
5521	TEL	DI	57,28	-21,17	57,89	156,86	572	10,01
5530	TEL	DI	57,28	-21,17	57,89	156,86	572	10,01
520	JI	TEL	120,36	-21,43	121,74	156,56	483	24,92
504	JI	RIP	197,63	-20,27	199,13	158,38	483	40,92
5523Y	RIP	5523A	228,91	-18,87	229,59	160,55	483	47,39

Tab. 30: Výpadek vedení 5523 (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	294,3	-21,24	295,82	157,97	572	51,45
5580	SVL	RIP	294,3	-21,24	295,82	157,97	572	51,45
5523X	5523A	MBU	0,92	90,64	0,19	23,55	483	0,19
5522X	5522A	MBU	144,71	-26,21	145,01	153,41	483	29,96
5522Y	TEL	5522A	142,03	-24,52	143,68	153,39	483	29,41
5521	TEL	DI	59,77	-23,46	60,35	154,73	572	10,45
5530	TEL	DI	59,77	-23,46	60,35	154,73	572	10,45
520	JI	TEL	368,53	-23,97	369,93	155,39	483	76,3
504	JI	RIP	222,67	-22,38	224,32	156,45	483	46,1
549	JI	RIP	222,67	-22,38	224,32	156,45	483	46,1

Tab. 31: Výpadek vedení 520 (současnost)

vedení	uzel i	uzel j	současnost				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	289,92	-20,03	291,35	159,16	572	50,68
5580	SVL	RIP	289,92	-20,03	291,35	159,16	572	50,68
5523X	5523A	MBU	362,11	-22,8	362,45	157,04	483	74,97
5522X	5522A	MBU	227,09	-23,21	227,44	156,54	483	47,02
5522Y	TEL	5522A	227,49	-23,45	229,21	155,21	483	47,1
5521	TEL	DI	59,67	-23,83	60,26	154,36	572	10,43
5530	TEL	DI	59,67	-23,83	60,26	154,36	572	10,43
504	JI	RIP	37,33	-13,49	38,58	159,31	483	7,73
549	JI	RIP	37,33	-13,49	38,58	159,31	483	7,73
5523Y	RIP	5523A	360,38	-22,57	361,19	157,07	483	74,61

Příloha D Výsledky výpočtů při zatížení za 20 let s $p_z = 1\%$

Tab. 32: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 1, $p_z=1\%$ (normální stav)

UZEL	$n=20\text{let}$		
	$p_z=1\%$		
	$U[\text{V}]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
MIR	110000,0	0,000	0,00
1315C	109998,3	0,001	0,00
1315B	109709,9	-0,259	0,26
1315A	108490,7	-1,176	1,37
ZDAS	108458,7	-1,204	1,40
5536A	108449,7	-1,217	1,41
MZR	108418,4	-1,241	1,44
OVD	108299,0	-1,319	1,55
SL	109664,5	-0,262	0,31
1317B	109987,2	-0,007	0,01
1317A	109798,6	-0,141	0,18
BEJ	106883,7	-2,013	2,83
JI/2	107149,6	-1,863	2,59
HEO	108050,6	-1,271	1,77
1318A	109853,7	-0,103	0,13
1318B	109990,5	-0,004	0,01

Tab. 33: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1, $p_z=1\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n [A]	Zatížení [%]
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1315	MIR	ZDAS	180,16	-12,86	181,43	165,37	483	37,6
5536	ZDAS	MZR	45,68	-9,56	45,88	168,89	483	9,5
5511	MZR	ODV	40,72	-18,17	40,38	160,30	483	8,4
5512	MZR	ODV	40,72	-18,17	40,38	160,30	483	8,4
1311	SL	MZR	114,81	-16,30	113,46	161,43	572	19,8
1309	MIR	SL	146,28	-16,61	145,99	163,01	572	25,5
1310	MIR	MZR	123,00	-16,04	121,39	161,44	572	21,22
1317	MIR	BEJ	305,55	-19,31	306,72	160,01	483	63,5
5524	JI/2	BEJ	26,78	-20,30	25,44	152,46	483	5,3
1318	MIR	HEO	220,49	-18,56	220,54	160,58	483	45,6
5529	HEO	JI	119,06	-18,66	118,17	160,00	483	24,5

Tab. 34: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení a činných a jalových ztrát ve vedení sítě 1, $p_z=1\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$					
			S_i [MVA]	φ [°]	S_j [MVA]	φ [°]	ΔP [kW]	ΔQ [kVar]
1315	MIR	ZDAS	34,326	12,85	34,083	-166,57	312,359	-272,651
5536	ZDAS	MZR	8,582	8,35	8,616	-170,12	2,325	-229,163
5511	MZR	ODV	7,582	16,93	7,638	-161,63	4,840	-200,295
5512	MZR	ODV	7,582	16,93	7,638	-161,63	4,840	-200,295
1311	SL	MZR	21,550	16,04	21,560	-162,67	130,107	-469,445
1309	MIR	SL	27,815	16,61	27,785	-163,28	44,886	-44,521
1310	MIR	MZR	23,129	16,04	23,099	-162,69	176,840	-486,298
1317	MIR	BEJ	58,215	19,30	56,783	-162,02	931,528	1717,467
5524	JI/2	BEJ	4,722	18,44	4,957	-154,48	6,342	-641,783
1318	MIR	HEO	42,01	18,57	41,46	-161,86	0,743	-1,427
5529	HEO	JI	22,116	17,39	22,095	-161,87	106,588	-265,793

Tab. 35: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2, $p_z=1\%$ (normální stav)

UZEL	n=20let		
	$p_z=1\%$		
	$U[V]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
SVL	110000	0,00	0,00
RIP	106281,9	-2,73	3,38
5523A	104713,9	-3,81	4,81
MBU	104000,2	-4,31	5,45
5522A	103771,8	-4,49	5,66
TEL	102488,7	-5,44	6,83
DI	102124,9	-5,74	7,16
JI/2	104706,4	-3,94	4,81

Tab. 36: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2, $p_z=1\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				$I_n [A]$	Zatížení
			$I_l [A]$	$\varphi [^\circ]$	$I_l [A]$	$\varphi [^\circ]$		
5581	SLV	RIP	350,24	-23,12	351,63	156,46	572	59,2
5580	SLV	RIP	350,24	-23,12	351,63	156,46	572	59,2
5523X	5523A	MBU	248,50	-24,10	248,82	155,75	483	51,4
5522X	5522A	MBU	85,34	-22,89	85,60	156,68	483	17,7
5522Y	TEL	5522A	85,55	-23,43	87,09	154,34	483	17,7
5521	TEL	DI	69,92	-26,26	70,55	152,77	572	12,2
5530	TEL	DI	69,92	-26,26	70,55	152,77	572	12,2
520	JI	TEL	181,14	-26,04	182,54	153,15	483	37,5
504	JI	RIP	137,01	-24,17	138,49	154,63	483	28,4
549	JI	RIP	137,01	-24,17	138,49	154,63	483	28,4
5523Y	RIP	5523A	247,39	-23,79	248,10	155,88	483	51,2

Tab. 37: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2, $p_z=1\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$					
			S_i [MVA]	φ [°]	S_j [MVA]	φ [°]	ΔP [kW]	ΔQ [kVar]
5581	SLV	RIP	66,730	19,70	64,730	-162,15	1134,967	2885,025
5580	SLV	RIP	66,730	19,70	64,730	-162,15	1134,967	2885,025
5523X	5523A	MBU	45,071	17,04	44,820	-163,02	180,287	268,013
5522X	5522A	MBU	15,373	13,60	15,385	-165,68	21,299	-138,892
5522Y	TEL	5522A	15,377	14,25	15,461	-162,84	115,218	-723,085
5521	TEL	DI	12,412	17,11	12,478	-161,39	22,734	-288,790
5530	TEL	DI	12,412	17,11	12,478	-161,39	22,734	-288,790
520	JI	TEL	32,852	18,24	32,403	-161,73	396,419	231,754
504	JI	RIP	25,221	17,41	25,117	-161,66	195,856	-271,365
549	JI	RIP	25,221	17,41	25,117	-161,66	195,856	-271,365
5523Y	RIP	5523A	45,541	17,61	44,999	-162,73	388,695	573,368

Tab. 38: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení, $p_z = 1\%$, (výpadek SVL)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	113,24	-40,49	114,41	139,5	725	15,78
1315Y	1315C	1315B	114,13	-14,2	114,45	165,17	572	20,01
1315X	1315B	1315A	114,47	-14,77	115,59	163,16	483	23,93
1315W	1315A	ZDAS	104,13	-21	104,17	158,94	483	21,57
5536Y	ZDAS	5536A	44,74	-10,06	44,76	169,79	483	9,27
5536X	5536A	MZR	36,22	-16,47	36,3	163,05	483	7,52
5511	MZR	ODV	41,01	-17,69	41,34	160,8	483	8,56
5512	MZR	ODV	41,01	-17,69	41,34	160,8	483	8,56
1311	SL	MZR	114,33	-17,81	115,8	159,95	572	20,25
1309	MIR	SL	146,91	-17,8	147,21	161,83	572	25,74
1310	MIR	MZR	122,28	-17,48	124,03	160,04	572	21,68
1317Z	MIR	1317B	641,09	-24,55	641,09	155,45	725	88,43
1317Y	1317B	1317A	665,4	-23,19	665,51	156,8	572	116,35
1317X	1317A	BEJ	665,45	-23,26	666,72	156,45	483	138,04
5524	JI	BEJ	320,35	-24,72	321,48	154,72	483	66,56
1318Z	MIR	1318B	633,12	-23,58	633,12	156,41	725	87,33
1318Y	1318B	1318A	642,99	-23,32	643,11	156,66	572	112,43
1318X	1318A	HEO	641,32	-23,47	642,48	156,27	483	133,02
5529	HEO	JI	534,86	-24,17	535,76	155,55	483	110,92
5523X	5523A	MBU	165,09	-27,52	165,41	152,15	483	34,25
5522X	5522A	MBU	9,26	-24,82	9,58	149,44	483	1,98
5522Y	TEL	5522A	11,08	8,25	10,77	160,04	483	2,23
5521	TEL	DI	74,24	-26,5	74,83	152,1	572	13,08
5530	TEL	DI	74,24	-26,5	74,83	152,1	572	13,08
520	JI	TEL	297,14	-24,53	298,39	154,7	483	61,78
504	JI	RIP	180,13	-24,95	181,58	153,68	483	37,59
549	JI	RIP	180,13	-24,95	181,58	153,68	483	37,59
5523Y	RIP	5523A	166,47	-26,1	167,35	153,16	483	34,65

Tab. 39: Vypočítané hodnoty proudů , ztrát a zatížení vedení, $p_z = 1\%$, (výpadek MIR)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	72,84	-96,54	72,86	83,46	725	10,05
1315Y	1315C	1315B	160,75	-35,99	161,02	143,69	572	28,15
1315X	1315B	1315A	160,6	-36,36	161,47	142,59	483	33,43
1315W	1315A	ZDAS	148,74	-41,12	148,77	138,85	483	30,8
5536Y	ZDAS	5536A	63,29	-29,18	63,31	150,75	483	13,11
5536X	5536A	MZR	60,54	-30,97	60,57	148,81	483	12,54
5511	MZR	ODV	56,29	-39,94	56,55	139,27	483	11,71
5512	MZR	ODV	56,29	-39,94	56,55	139,27	483	11,71
1311	SL	MZR	161,37	-39,35	162,5	139,52	572	28,41
1309	MIR	SL	206,04	-39,18	206,28	140,63	572	36,06
1310	MIR	MZR	172,48	-39,15	173,83	139,59	572	30,39
1317Z	MIR	1317B	202,29	-29,91	202,29	150,08	725	27,9
1317Y	1317B	1317A	164,38	-38,36	164,45	141,58	572	28,75
1317X	1317A	BEJ	160,5	-38,24	161,44	140,86	483	33,42
5524	JI	BEJ	596,17	-36,27	597,15	143,48	483	123,63
1318Z	MIR	1318B	415,85	-33,28	415,85	146,72	725	57,36
1318Y	1318B	1318A	376,73	-37,94	376,79	142,04	572	65,87
1318X	1318A	HEO	377,17	-37,39	377,97	142,28	483	78,26
5529	HEO	JI	509,51	-36,38	510,35	143,38	483	105,66
5523X	5523A	MBU	452,58	-29,78	452,91	150,11	483	93,77
5522X	5522A	MBU	266,39	-31,4	266,73	148,41	483	55,22
5522Y	TEL	5522A	266,93	-31,55	268,61	147,46	483	55,61
5521	TEL	DI	83,16	-31,16	83,69	147,7	572	14,63
5530	TEL	DI	83,16	-31,16	83,69	147,7	572	14,63
520	JI	TEL	49,45	-23,26	50,22	152,52	483	10,4
504	JI	RIP	689,36	-34,74	691,15	144,94	483	143,09
549	JI	RIP	689,36	-34,74	691,15	144,94	483	143,09
5523Y	RIP	5523A	450,37	-29,68	451,18	150,06	483	93,41
5580	SVL	RIP	1010,31	-32,5	1012,33	147,3	572	176,98
5581	SVL	RIP	1010,31	-32,5	1012,33	147,3	572	176,98

Tab. 40: Výpadek vedení 1317z ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1317Y	1317B	1317A	0,12	82,15	0,12	82,15	572	0,02
1317X	1317A	BEJ	3,31	93,12	0,63	-6,92	483	0,68
5524	JI	BEJ	363,36	-25,05	364,41	154,46	483	75,23
1318Z	MIR	1318B	610,43	-20,55	610,43	159,45	725	84,2
1318Y	1318B	1318A	557,14	-24,41	557,25	155,57	572	97,4
1318X	1318A	HEO	567,36	-23,5	568,51	156,21	483	117,47
5529	HEO	JI	461,86	-24,39	462,82	155,28	483	95,62

Tab. 41: Výpadek vedení 1318z ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1317Z	MIR	1317B	589,59	-17,29	589,59	162,7	725	81,32
1317Y	1317B	1317A	536,42	-21,82	536,51	158,15	572	93,78
1317X	1317A	BEJ	544,41	-21,1	545,6	158,54	483	112,71
5524	JI	BEJ	205	-20,79	206	158,3	483	42,44
1318Y	1318B	1318A	0,12	84,52	0,12	84,52	572	0,02
1318X	1318A	HEO	3,04	95,68	0,59	-9,55	483	0,63
5529	HEO	JI	107,54	-20,75	108,31	157,85	483	22,26

Tab. 42: Výpadek vedení 1309 ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	189,35	-77,37	189,15	102,63	725	26,12
1315Y	1315C	1315B	187,3	-15,61	187,64	164	582	32,18
1315X	1315B	1315A	185,47	-16,5	186,65	162,24	483	38,4
1315W	1315A	ZDAS	191,59	-16,42	191,62	163,55	483	39,67
5536Y	ZDAS	5536A	131,23	-9,57	131,25	170,38	483	27,17
5536X	5536A	MZR	108,01	-17,69	108,1	162,15	483	22,36
5511	MZR	ODV	40,87	-19,03	41,21	159,48	483	8,46
5512	MZR	ODV	40,87	-19,03	41,21	159,48	483	8,46
1311	SL	MZR	33,11	-13,21	34,3	159,16	572	5,79
1310	MIR	MZR	203,27	-19,18	205,08	159,33	572	35,54

Tab. 43: Výpadek vedení 1310 ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	178,5	-77,37	178,6	102,63	725	24,62
1315Y	1315C	1315B	175,1	-16,18	175,46	163,41	582	30,09
1315X	1315B	1315A	174,9	-16,65	176,1	162	483	36,21
1315W	1315A	ZDAS	158,92	-23,26	158,96	156,7	483	32,9
5536Y	ZDAS	5536A	128,52	-7,01	128,53	172,94	483	26,61
5536X	5536A	MZR	93,4	-20,16	93,5	159,65	483	19,34
5511	MZR	ODV	40,91	-18,85	41,25	159,65	483	8,47
5512	MZR	ODV	40,91	-18,85	41,25	159,65	483	8,47
1311	SL	MZR	181,2	-19,78	182,75	158,82	572	31,68
1309	MIR	SL	213,35	-19,57	213,68	160,18	572	37,3

Tab. 44: Výpadek vedení 1315z ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315W	1315A	ZDAS	4,2	109,07	4,09	-70,35	483	0,87
5536Y	ZDAS	5536A	57,58	-28,81	57,63	151,09	483	11,92
5536X	5536A	MZR	72,6	-17,93	72,69	161,84	483	15,03
5511	MZR	ODV	40,97	-18,74	41,31	159,76	483	8,48
5512	MZR	ODV	40,97	-18,74	41,31	159,76	483	8,48
1311	SL	MZR	172	-17,53	308,7	160,98	572	30,07
1309	MIR	SL	207,1	-17,14	347,26	162,59	572	36,21
1310	MIR	MZR	181,6	-17,23	183,25	161,09	572	31,75

Tab. 45: Výpadek vedení 5580 ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	735,66	-23,37	737,16	156,32	572	128,61
5523X	5523A	MBU	261,88	-23,86	262,18	155,92	483	54,22
5522X	5522A	MBU	88,13	-22,49	88,4	156,86	483	18,25
5522Y	TEL	5522A	90,45	-22,08	91,92	154,61	483	18,73
5521	TEL	DI	73,09	-25,99	73,69	152,56	572	12,78
5530	TEL	DI	73,09	-25,99	73,69	152,56	572	12,78
520	JI	TEL	190,98	-25,38	192,3	153,41	483	39,54
504	JI	RIP	144,07	-23,56	145,52	154,69	483	29,83
549	JI	RIP	144,07	-23,56	145,52	154,69	483	29,83
5523Y	RIP	5523A	260,36	-23,53	261,04	155,99	483	53,9

Tab. 46: Výpadek vedení 549 ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	354,26	-20,5	355,7	-20,5	572	61,93
5580	SVL	RIP	354,26	-20,5	355,7	-20,5	572	61,93
5523X	5523A	MBU	283,58	-21,17	283,89	-21,17	483	58,71
5522X	5522A	MBU	120,12	-19,26	120,39	-19,26	483	24,87
5522Y	TEL	5522A	120	-19,83	121,53	-19,83	483	24,84
5521	TEL	DI	70,82	-23,13	71,44	-23,13	572	12,38
5530	TEL	DI	70,82	-23,13	71,44	-23,13	572	12,38
520	JI	TEL	150,43	-23,17	151,82	-23,17	483	31,14
504	JI	RIP	245,18	-22,17	246,75	-22,17	483	50,76
5523Y	RIP	5523A	283,13	-20,66	283,85	-20,66	483	58,62

Tab. 47: Výpadek vedení 5523 ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	370,69	-23,48	372,33	155,9	572	64,81
5580	SVL	RIP	370,69	-23,48	372,33	155,9	572	64,81
5523X	5523A	MBU	0,9	88,42	0,18	15,38	483	0,19
5522X	5522A	MBU	181,62	-29,62	181,92	150,09	483	37,6
5522Y	TEL	5522A	181,35	-27,68	183	150,75	483	37,55
5521	TEL	DI	74,27	-26,52	74,87	152,07	572	12,98
5530	TEL	DI	74,27	-26,52	74,87	152,07	572	12,98
520	JI	TEL	468,28	-26,59	469,73	152,92	483	96,95
504	JI	RIP	281,06	-25,17	282,84	153,93	483	58,19
549	JI	RIP	281,06	-25,17	282,84	153,93	483	58,19

Tab. 48: Výpadek vedení 520 ($p_z = 1\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=1\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	361,86	-21,92	363,4	157,44	572	63,26
5580	SVL	RIP	361,86	-21,92	363,4	157,44	572	63,26
5523X	5523A	MBU	453,9	-24,94	454,25	154,94	483	93,97
5522X	5522A	MBU	287,54	-25,66	287,9	154,14	483	59,53
5522Y	TEL	5522A	286,98	-25,99	288,74	152,99	483	59,42
5521	TEL	DI	75,71	-26,1	76,28	152,53	572	13,24
5530	TEL	DI	75,71	-26,1	76,28	152,53	572	13,24
504	JI	RIP	46,19	-15,58	47,5	158,66	483	9,56
549	JI	RIP	46,19	-15,58	47,5	158,66	483	9,56
5523Y	RIP	5523A	454,26	-24,54	455,11	155,18	483	94,05

Příloha E Výsledky výpočtů při zatížení za 20 let při $p_z = 3\%$

Tab. 49: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 1, $p_z=3\%$ (normální stav)

UZEL	n=20let		
	$p_z=3\%$		
	$U[V]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
MIR	110000,0	0,000	0,00
1315C	109997,1	0,000	0,00
1315B	109537,1	-0,383	0,42
1315A	107652,5	-1,748	2,13
ZDAS	107603,8	-1,787	2,18
5536A	107589,3	-1,805	2,19
MZR	107543,8	-1,840	2,23
OVD	107363,8	-1,958	2,40
SL	109475,9	-0,387	0,48
1317B	109980,5	-0,012	0,02
1317A	109687,0	-0,211	0,28
BEJ	105234,1	-3,021	4,33
JI/2	105631,7	-2,788	3,97
HEO	107006,9	-1,893	2,72
1318A	109774,3	-0,153	0,21
1318B	109985,7	-0,008	0,01

Tab. 50: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1, $p_z=3\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n [A]	Zatížení [%]
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315	MIR	ZDAS	271,03	-14,61	272,39	164,22	483	56,4
5536	ZDAS	MZR	65,61	-11,44	65,73	167,48	483	13,6
5511	MZR	ODV	60,63	-19,30	60,97	159,69	483	12,6
5512	MZR	ODV	60,63	-19,30	60,97	159,69	483	12,6
1311	SL	MZR	170,48	-18,35	171,93	160,15	572	30,1
1309	MIR	SL	219,34	-18,28	219,65	161,47	572	38,4
1310	MIR	MZR	182,48	-18,12	184,22	160,22	572	32,2
1317	MIR	BEJ	459,57	-20,57	461,07	158,98	483	95,6
5524	JI/2	BEJ	38,73	-22,05	40,02	153,21	483	8,3
1318	MIR	HEO	331,52	-19,88	332,59	159,56	483	68,8
5529	HEO	JI	178,29	-20,27	179,19	158,86	483	37,1

Tab. 51: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 1, $p_z=3\%$ (normální stav).

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$					
			S_l [MVA]	φ [°]	S_l [MVA]	φ [°]	ΔP [kW]	ΔQ [kVAr]
1315	MIR	ZDAS	51,638	14,62	50,767	-166,00	706,650	754,364
5536	ZDAS	MZR	12,211	1,82	12,245	-169,33	4,782	-219,019
5511	MZR	ODV	11,293	17,46	11,339	-161,65	10,88	-181,22
5512	MZR	ODV	11,293	17,46	11,339	-161,65	10,88	-181,22
1311	SL	MZR	32,326	17,96	32,026	-162,00	292,83	69,02
1309	MIR	SL	41,790	18,28	41,650	-161,85	101,26	139,37
1310	MIR	MZR	34,768	18,12	34,314	-162,06	398,21	242,90
1317	MIR	BEJ	87,624	20,56	84,041	-162,00	2110,23	4817,39
5524	JI/2	BEJ	7,087	19,26	7,294	-156,24	14,46	-601,59
1318	MIR	HEO	63,165	19,88	61,643	-161,46	956,77	1877,38
5529	HEO	JI	33,044	18,37	32,784	-161,65	242,04	95,17

Tab. 52: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 za 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení o 3% (normální stav)

UZEL	n=20let		
	$p_z=3\%$		
	$U[V]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
SVL	110000	0,00	0,00
RIP	103906,5	-4,13	5,54
5523A	101388	-5,80	7,83
MBU	100256,7	-6,59	8,86
5522A	99876,3	-6,87	9,20
TEL	97809,41	-8,41	11,08
DI	97237,49	-8,88	11,60
JI/2	101347,3	-6,00	7,87

Tab. 53: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2, $p_z=3\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				$I_n [A]$	Zatížení [%]
			$I_i [A]$	$\varphi [^\circ]$	$I_j [A]$	$\varphi [^\circ]$		
5581	SLV	RIP	540,95	-23,12	542,51	156,46	572	94,6
5580	SLV	RIP	540,95	-23,12	542,51	156,46	572	94,6
5523X	5523A	MBU	385,05	-24,10	385,36	155,75	483	79,7
5522X	5522A	MBU	134,03	-22,89	134,32	156,68	483	27,7
5522Y	TEL	5522A	134,19	-23,43	135,79	154,34	483	27,8
5521	TEL	DI	109,21	-26,26	109,82	152,77	572	19,1
5530	TEL	DI	109,21	-26,26	109,82	152,77	572	19,1
520	JI	TEL	282,90	-26,04	284,31	153,15	483	58,6
504	JI	RIP	213,02	-24,17	214,62	154,63	483	44,1
549	JI	RIP	213,02	-24,17	214,62	154,63	483	44,1
5523Y	RIP	5523A	383,91	-23,79	384,67	155,88	483	79,5

Tab.54: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2, $p_z=3\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$					
			S_i [MVA]	φ [°]	S_j [MVA]	φ [°]	ΔP [kW]	ΔQ [kVAr]
5581	SLV	RIP	103,065	23,09	97,636	-160,40	2704,569	8012,916
5580	SLV	RIP	103,065	23,09	97,636	-160,40	2704,569	8012,916
5523X	5523A	MBU	67,617	18,28	66,919	-162,16	432,650	929,705
5522X	5522A	MBU	23,274	16,29	23,236	-163,37	52,490	-44,741
5522Y	TEL	5522A	23,213	16,54	23,004	-162,56	281,913	-206,031
5521	TEL	DI	18,501	17,84	18,495	-161,47	55,283	-149,681
5530	TEL	DI	18,501	17,84	18,495	-161,47	55,283	-149,681
520	JI	TEL	49,659	20,01	48,165	-161,37	964,346	1770,548
504	JI	RIP	38,338	20,03	37,674	-160,45	471,977	649,629
549	JI	RIP	38,338	20,03	37,674	-160,45	471,977	649,629
5523Y	RIP	5523A	69,092	19,64	67,551	-161,50	935,200	2018,998

Tab. 55: Vypočítané hodnoty proudů, ztrát a zatížení vedení, $p_z = 3\%$, (výpadek SVL)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$					zatížení
			$I_l[A]$	$\varphi [^\circ]$	$I_l[A]$	$\varphi [^\circ]$	$I_n (A)$	
1315Z	MIR	1315C	169,78	-50,8	169,79	129,2	725	23,42
1315Y	1315C	1315B	170,01	-16,04	170,37	163,55	572	29,79
1315X	1315B	1315A	171,54	-16,21	172,7	162,42	483	35,76
1315W	1315A	ZDAS	156,2	-22,09	156,24	157,87	483	32,35
5536Y	ZDAS	5536A	83,44	-3,59	83,45	176,33	483	17,28
5536X	5536A	MZR	54,06	-17,37	54,15	162,31	483	11,21
5511	MZR	ODV	61,41	-18,96	61,75	160,04	483	12,78
5512	MZR	ODV	61,41	-18,96	61,75	160,04	483	12,78
1311	SL	MZR	171,05	-19,42	172,58	159,1	572	30,17
1309	MIR	SL	222,4	-18,71	222,72	161,04	572	38,94
1310	MIR	MZR	183,49	-19,05	185,31	159,31	572	32,4
1317Z	MIR	1317B	1024,85	-29,02	1024,91	150,98	725	141,37
1317Y	1317B	1317A	1074,39	-27,98	1074,51	152,01	572	187,85
1317X	1317A	BEJ	1071,16	-28,08	1072,6	151,75	483	222,07
5524	JI	BEJ	535,55	-31,58	536,8	148,11	483	111,14
1318Z	MIR	1318B	1024,85	-29,02	1024,91	150,98	725	141,37
1318Y	1318B	1318A	1038,13	-28,78	1038,31	151,2	572	181,52
1318X	1318A	HEO	1040,39	-28,71	1041,66	151,14	483	215,66
5529	HEO	JI	875,78	-29,89	876,76	149,96	483	181,52
5523X	5523A	MBU	276,89	-34,01	277,18	145,81	483	57,39
5522X	5522A	MBU	14,76	-21,72	14,89	154,89	483	3,08
5522Y	TEL	5522A	17,85	-1,72	17,39	162,81	483	3,6
5521	TEL	DI	126,2	-32,55	126,72	146,71	572	22,15
5530	TEL	DI	126,2	-32,55	126,72	146,71	572	22,15
520	JI	TEL	493,76	-31,49	495,03	148,09	483	102,49
504	JI	RIP	298,14	-31,59	299,6	147,66	483	62,03
549	JI	RIP	298,14	-31,59	299,6	147,66	483	62,03
5523Y	RIP	5523A	276,84	-33,46	277,84	146,14	483	57,52

Tab. 56: Vypočítané hodnoty proudů, ztrát a zatížení vedení, $p_z = 3\%$, (výpadek MIR)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I [A]	φ [°]	I [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	98,14	-91,52	98,21	88,47	725	13,55
1315Y	1315C	1315B	238,45	-28,89	239,12	150,62	572	41,8
1315X	1315B	1315A	235,22	-29,93	237,24	148,43	483	49,12
1315W	1315A	ZDAS	238,77	-31,03	238,93	148,93	483	49,47
5536Y	ZDAS	5536A	77,63	-30,2	77,72	149,66	483	16,09
5536X	5536A	MZR	84,2	-26,91	84,34	152,74	483	17,46
5511	MZR	ODV	83,79	-32,63	84,38	146,17	483	17,47
5512	MZR	ODV	83,79	-32,63	84,38	146,17	483	17,47
1311	SL	MZR	235,96	-32,86	238,54	145,38	572	41,7
1309	MIR	SL	306,01	-32,41	306,68	147,3	572	53,61
1310	MIR	MZR	252,93	-32,51	255,98	145,54	572	44,75
1317Z	MIR	1317B	107,69	-91,63	107,78	88,37	725	14,87
1317Y	1317B	1317A	247,62	-29,71	247,86	150,2	572	43,33
1317X	1317A	BEJ	233,11	-30,07	235	148,52	483	48,65
5524	JI	BEJ	884,67	-30,73	887,16	148,89	483	183,68
1318Z	MIR	1318B	497,21	-34,41	497,48	145,58	725	68,62
1318Y	1318B	1318A	547	-32,2	547,39	147,75	572	95,7
1318X	1318A	HEO	555,54	-31,01	557,46	148,48	483	115,42
5529	HEO	JI	755,09	-30,5	757,15	149,14	483	156,76
5523X	5523A	MBU	693,54	-25,49	694,51	154,35	483	143,79
5522X	5522A	MBU	400,44	-25,88	401,27	153,85	483	83,08
5522Y	TEL	5522A	399,89	-26,3	403,35	152,25	483	83,51
5521	TEL	DI	127,59	-27,21	127,66	150,69	572	22,32
5530	TEL	DI	127,59	-27,21	127,66	150,69	572	22,32
520	JI	TEL	82,22	-24,96	84,7	149,68	483	17,54
504	JI	RIP	1034,47	-29,48	1038,39	150,05	483	214,99
549	JI	RIP	1034,47	-29,48	1038,39	150,05	483	214,99
5523Y	RIP	5523A	687,06	-25,47	688,92	154,18	483	142,63
5581	SVL	RIP	1531,11	-27,73	1535,48	151,98	572	268,44
5580	SVL	RIP	1531,11	-27,73	1535,48	151,98	572	268,44

Tab. 57: Výpadek vedení 1317z ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1317Y	1317B	1317A	0,11	77,23	0,11	77,23	572	0,02
1317X	1317A	BEJ	3,37	70,74	0,54	-147,3	483	0,7
5524	JI	BEJ	592,42	-30,44	593,46	149,28	483	122,65
1318Z	MIR	1318B	965,56	-24,87	965,62	155,13	725	133,18
1318Y	1318B	1318A	904,53	-28,49	904,71	151,5	572	158,14
1318X	1318A	HEO	909,85	-28,14	911,17	151,68	483	188,37
5529	HEO	JI	749,29	-29,41	750,32	150,41	483	155,13

Tab. 58: Výpadek vedení 1318z ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1317Z	MIR	1317B	911,98	-20,21	911,98	159,79	725	125,79
1317Y	1317B	1317A	839,29	-23,88	839,41	156,1	572	146,73
1317X	1317A	BEJ	840,16	-23,83	841,43	155,94	483	173,95
5524	JI	BEJ	318,52	-24,82	319,57	154,61	483	65,95
1318Y	1318B	1318A	0,12	81,49	0,12	81,49	572	0,02
1318X	1318A	HEO	3,37	70,32	0,83	-150,28	483	0,7
5529	HEO	JI	168,66	-24,9	169,43	154,26	483	34,92

Tab. 59: Výpadek vedení 1309 ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	280,2	-4,73	280,3	175,27	725	38,65
1315Y	1315C	1315B	279,06	-18,06	279,46	161,69	582	47,95
1315X	1315B	1315A	280,67	-18,15	281,9	161,02	483	58,11
1315W	1315A	ZDAS	256,25	-23,19	256,29	156,78	483	53,05
5536Y	ZDAS	5536A	180,18	-14,67	180,2	165,3	483	37,3
5536X	5536A	MZR	172,56	-16,45	172,63	163,45	483	35,73
5511	MZR	ODV	61,18	-21,12	61,53	157,91	483	12,67
5512	MZR	ODV	61,18	-21,12	61,53	157,91	483	12,67
1311	SL	MZR	50,84	-16,84	52,11	158,27	572	8,89
1310	MIR	MZR	306,95	-21,04	308,84	157,99	572	53,66

Tab. 60: Výpadek vedení 1310 ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	265,5	-1,97	265,8	178,03	725	36,62
1315Y	1315C	1315B	261,22	-18,15	261,61	161,57	582	44,88
1315X	1315B	1315A	262,91	-18,24	264,17	160,88	483	54,43
1315W	1315A	ZDAS	251,15	-21,52	251,19	158,45	483	52
5536Y	ZDAS	5536A	143,64	-19,2	143,67	160,75	483	29,74
5536X	5536A	MZR	155,86	-16,34	155,94	163,55	483	32,27
5511	MZR	ODV	61,27	-20,84	61,63	158,19	483	12,69
5512	MZR	ODV	61,27	-20,84	61,63	158,19	483	12,69
1311	SL	MZR	272,74	-21,36	274,35	157,72	572	47,68
1309	MIR	SL	321,78	-20,88	322,14	158,95	572	56,26

Tab. 61: Výpadek vedení 1315z ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315W	1315A	ZDAS	4,2	113,81	4,1	-65,62	483	0,87
5536Y	ZDAS	5536A	102,83	-113,41	102,93	66,62	483	21,29
5536X	5536A	MZR	120,71	-122,1	120,96	57,98	483	24,99
5511	MZR	ODV	64,07	-118,97	65,02	61,54	483	13,26
5512	MZR	ODV	64,07	-118,97	65,02	61,54	483	13,26
1311	SL	MZR	308,71	-136,65	308,7	43,91	572	53,97
1309	MIR	SL	347,26	-19,09	347,26	160,74	572	60,71
1310	MIR	MZR	271,33	-126,46	275,74	54,25	572	47,43

Tab. 62: Výpadek vedení 5580 ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	1188,65	-28,93	1190,32	150,89	572	207,81
5523X	5523A	MBU	422,91	-29,76	423,22	150,12	483	87,56
5522X	5522A	MBU	148,9	-29,07	149,18	150,58	483	30,83
5522Y	TEL	5522A	148,76	-29,55	150,24	148,62	483	30,8
5521	TEL	DI	120,7	-32,13	121,25	147,07	572	21,1
5530	TEL	DI	120,7	-32,13	121,25	147,07	572	21,1
520	JI	TEL	312,77	-31,86	314,08	147,47	483	64,76
504	JI	RIP	234,65	-30,07	236,17	148,94	483	48,58
549	JI	RIP	234,65	-30,07	236,17	148,94	483	48,58
5523Y	RIP	5523A	422,69	-29,45	423,41	150,28	483	87,51

Tab. 63: Výpadek vedení 549 ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	548,82	-24,15	550,44	-24,15	572	95,95
5580	SVL	RIP	548,82	-24,15	550,44	-24,15	572	95,95
5523X	5523A	MBU	443,23	-24,64	443,56	-24,64	483	91,77
5522X	5522A	MBU	187,24	-24,88	187,56	-24,88	483	38,77
5522Y	TEL	5522A	189,76	-24,62	191,34	-24,62	483	39,29
5521	TEL	DI	111,99	-27,15	112,58	-27,15	572	19,58
5530	TEL	DI	111,99	-27,15	112,58	-27,15	572	19,58
520	JI	TEL	236,34	-27,7	237,76	-27,7	483	48,93
504	JI	RIP	385,16	-26,18	386,81	-26,18	483	79,74
5523Y	RIP	5523A	442,98	-24,31	443,75	-24,31	483	91,72

Tab. 64: Výpadek vedení 5523 ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	613,72	-30,23	615,74	149,42	572	107,29
5580	SVL	RIP	613,72	-30,23	615,74	149,42	572	107,29
5523X	5523A	MBU	0,82	-18,8	0,16	80,66	483	0,17
5522X	5522A	MBU	322,61	-38,13	322,87	141,73	483	66,79
5522Y	TEL	5522A	320,26	-37,46	321,85	141,78	483	66,31
5521	TEL	DI	126,88	-33,44	127,41	145,84	572	22,18
5530	TEL	DI	126,88	-33,44	127,41	145,84	572	22,18
520	JI	TEL	806,04	-34,77	807,6	144,98	483	166,88
504	JI	RIP	478,1	-32,91	480,18	146,61	483	98,99
549	JI	RIP	478,1	-32,91	480,18	146,61	483	98,99

Tab. 65: Výpadek vedení 520 ($p_z = 3\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=3\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
5581	SVL	RIP	577,41	-26,84	579,2	152,78	572	100,95
5580	SVL	RIP	577,41	-26,84	579,2	152,78	572	100,95
5523X	5523A	MBU	741,78	-30,81	742,18	149,12	483	153,58
5522X	5522A	MBU	480,42	-32,74	480,82	147,15	483	99,47
5522Y	TEL	5522A	480,15	-32,94	481,92	146,51	483	99,41
5521	TEL	DI	126,08	-33,3	126,61	145,97	572	22,04
5530	TEL	DI	126,08	-33,3	126,61	145,97	572	22,04
504	JI	RIP	71,52	-19,21	72,87	157,18	483	14,81
549	JI	RIP	71,52	-19,21	72,87	157,18	483	14,81
5523Y	RIP	5523A	743,45	-30,43	744,44	149,41	483	153,92

Příloha F Výsledky výpočtů při zatížení za 20 let při $p_z = 5\%$

Tab. 66: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 1, $p_z=5\%$ (normální stav)

UZEL	n=20let		
	$p_z=5\%$		
	$U[V]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
MIR	110000,0	0,000	0,00
1315C	109994,7	-0,002	0,00
1315B	109216,0	-0,566	0,71
1315A	106122,6	-2,594	3,52
ZDAS	106062,5	-2,660	3,58
5536A	106048,7	-2,685	3,59
MZR	106005,0	-2,738	3,63
OVD	105733,4	-2,916	3,88
SL	109155,6	-0,571	0,77
1317B	109969,8	-0,019	0,03
1317A	109511,2	-0,315	0,44
BEJ	102665,2	-4,534	6,67
JI/2	103318,3	-4,193	6,07
HEO	105423,1	-2,827	4,16
1318A	109653,8	-0,228	0,31
1318B	109978,4	-0,013	0,02

Tab. 67: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 1, $p_z=5\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$				I_n [A]	Zatížení [%]
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1315	MIR	ZDAS	416,21	-18,26	417,82	160,99	483	86,2
5536	ZDAS	MZR	87,06	-3,21	87,08	175,94	483	18
5511	MZR	ODV	90,82	-20,77	91,17	158,57	483	18,8
5512	MZR	ODV	90,82	-20,77	91,17	158,57	483	18,8
1311	SL	MZR	261,12	-21,85	262,76	157,20	572	45,9
1309	MIR	SL	333,78	-20,85	334,13	159,00	572	58,4
1310	MIR	MZR	279,19	-21,49	281,15	157,44	572	59,1
1317	MIR	BEJ	692,59	-22,34	693,74	157,34	483	143,4
5524	JI/2	BEJ	59,51	-28,43	60,99	148,64	483	12,3
1318	MIR	HEO	497,94	-21,22	499,02	158,42	483	103,3
5529	HEO	JI	269,63	-22,20	270,54	157,24	483	55,8

Tab. 68: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 1, $p_z=5\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$					
			S_i [MVA]	φ [°]	S_j [MVA]	φ [°]	ΔP [kW]	ΔQ [kVar]
1315	MIR	ZDAS	79,299	18,26	76,757	-163,65	1649,615	3252,15
5536	ZDAS	MZR	15,994	0,59	15,989	-178,68	8,439	-202,958
5511	MZR	ODV	16,676	18,04	16,697	-161,48	24,38	-140,40
5512	MZR	ODV	16,676	18,04	16,697	-161,48	24,38	-140,40
1311	SL	MZR	49,368	21,28	48,245	-159,94	685,53	1362,59
1309	MIR	SL	63,593	20,85	63,172	-159,56	234,41	573,46
1310	MIR	MZR	53,193	21,49	51,621	-160,18	929,94	1988,84
1317	MIR	BEJ	131,96	22,37	123,367	-161,87	4785,674	11838,02
5524	JI/2	BEJ	10,650	24,24	10,845	-153,17	33,88	-522,43
1318	MIR	HEO	94,872	21,22	91,120	-161,24	2158,217	5040,651
5529	HEO	JI	49,233	19,37	48,414	-161,43	552,70	912,82

Tab. 69: Vypočtené hodnoty napětí v jednotlivých uzlech sítě 2 za 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení o 5%

UZEL	n=20let		
	$p_z=5\%$		
	$U[V]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta U [\%]$
SVL	110000	0	0,00
RIP	99635,25	-6,33	9,42
5523A	95439,65	-9,05	13,24
MBU	93588,36	-10,37	14,92
5522A	92930,87	-10,84	15,52
TEL	89462,78	-13,49	18,67
DI	88531,98	-14,33	19,52
JI/2	95321,96	-9,38	13,34

Tab. 70: Vypočtené hodnoty proudů vstupujících do vedení sítě 2, $p_z=5\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$				$I_n [A]$	Zatížení
			$I_l[A]$	$\varphi [^\circ]$	$I_l[A]$	$\varphi [^\circ]$		
5581	SLV	RIP	855,98	-27,76	857,77	151,98	572	149,6
5580	SLV	RIP	855,98	-27,76	857,77	151,98	572	149,6
5523X	5523A	MBU	615,40	-28,78	615,69	151,13	483	127,4
5522X	5522A	MBU	217,10	-29,90	217,42	149,86	483	44,9
5522Y	TEL	5522A	218,43	-29,93	220,03	148,81	483	45,2
5521	TEL	DI	176,52	-32,07	177,09	147,39	572	30,9
5530	TEL	DI	176,52	-32,07	177,09	147,39	572	30,9
520	JI	TEL	457,53	-31,65	458,92	147,89	483	94,7
504	JI	RIP	340,41	-29,68	342,11	149,62	483	70,5
549	JI	RIP	340,41	-29,68	342,11	149,62	483	70,5
5523Y	RIP	5523A	612,51	-28,75	613,32	151,06	483	126,8

Tab. 71: Vypočtené hodnoty zdánlivých výkonů vstupujících do vedení, činných a jalových ztrát ve vedení sítě 2, $p_z=5\%$ (normální stav)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$					
			$S_i[\text{MVA}]$	$\varphi [^\circ]$	$S_j[\text{MVA}]$	$\varphi [^\circ]$	$\Delta P[\text{kW}]$	$\Delta Q[\text{kVAr}]$
5581	SLV	RIP	163,086	27,73	148,023	-158,13	6766,379	21268,218
5580	SLV	RIP	163,086	27,73	148,023	-158,13	6766,379	21268,218
5523X	5523A	MBU	101,727	19,71	99,805	-161,32	1104,760	2679,415
5522X	5522A	MBU	35,192	19,51	34,996	-160,52	137,627	197,708
5522Y	TEL	5522A	35,159	19,07	34,095	-162,12	743,785	1135,580
5521	TEL	DI	27,353	18,55	27,155	-161,53	144,105	194,640
5530	TEL	DI	27,353	18,55	27,155	-161,53	144,105	194,640
520	JI	TEL	75,540	22,24	71,112	-161,20	2517,670	5915,608
504	JI	RIP	58,746	23,33	56,484	-158,82	1202,366	3041,914
549	JI	RIP	58,746	23,33	56,484	-158,82	1202,366	3041,914
5523Y	RIP	5523A	105,700	22,39	101,381	-159,93	2378,835	5816,291

Tab. 72: Výpadek vedení 1318z ($p_z = 5\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$				$I_n \text{ (A)}$	zatížení
			$I_i[\text{A}]$	$\varphi [^\circ]$	$I_j[\text{A}]$	$\varphi [^\circ]$		
1317Z	MIR	1317B	1329,5	-24,55	1329,31	155,45	725	183,38
1317Y	1317B	1317A	1328,64	-21,69	1329,5	158,29	572	232,28
1317X	1317A	BEJ	1325,3	-22,07	1325,11	157,66	483	274,39
5524	JI	BEJ	517,6	153,11	517,3	-23,87	483	107,16
1318Y	1318B	1318A	0,12	84,52	0,12	84,52	572	0,02
1318X	1318A	HEO	3,04	95,68	0,59	-9,55	483	0,63
5529	HEO	JI	269,7	157,16	268,79	-22,28	483	55,84

Tab. 73: Výpadek vedení 1309 ($p_z = 5\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	422,22	-12,48	422,5	167,52	725	58,24
1315Y	1315C	1315B	421,25	-20,2	421,69	159,63	582	72,38
1315X	1315B	1315A	422,85	-20,24	424,14	159,22	483	77,55
1315W	1315A	ZDAS	425,71	-20,56	425,74	159,42	483	78,14
5536Y	ZDAS	5536A	267,31	-17,07	267,33	162,9	483	55,34
5536X	5536A	MZR	245,37	-20,95	245,45	158,98	483	50,8
5511	MZR	ODV	93,85	-22,17	94,18	157,2	483	19,43
5512	MZR	ODV	93,85	-22,17	94,18	157,2	483	19,43
1311	SL	MZR	77,71	-20,32	79,01	156,56	572	13,58
1310	MIR	MZR	457,2	-23,22	457,68	156,15	572	79,93

Tab. 74: Výpadek vedení 1310 ($p_z = 5\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$				I_n (A)	zatížení
			I_l [A]	φ [°]	I_l [A]	φ [°]		
1315Z	MIR	1315C	397,35	-12,48	397,2	167,52	725	54,81
1315Y	1315C	1315B	392,61	-20,03	393,05	159,79	582	67,46
1315X	1315B	1315A	394,78	-20,05	396,08	159,37	483	71,74
1315W	1315A	ZDAS	416,95	-18,35	416,97	161,64	483	76,32
5536Y	ZDAS	5536A	229,44	-18,86	229,47	161,12	483	47,5
5536X	5536A	MZR	225,62	-19,56	225,7	160,37	483	46,71
5511	MZR	ODV	90,85	-23,04	91,2	156,31	483	18,81
5512	MZR	ODV	90,85	-23,04	91,2	156,31	483	18,81
1311	SL	MZR	410,24	-23,19	411,89	156,21	572	71,72
1309	MIR	SL	482,97	-22,54	483,34	157,35	572	74,43

Tab. 75: Výpadek vedení 1315z ($p_z = 5\%$)

vedení	uzel i	uzel j	$p_z=5\%$				I_n (A)	zatížení
			I_i [A]	φ [°]	I_j [A]	φ [°]		
1315W	1315A	ZDAS	4,2	110,98	4,1	-68,46	483	0,87
5536Y	ZDAS	5536A	114,48	-68,74	114,59	111,24	483	23,7
5536X	5536A	MZR	112,35	-68,95	112,62	110,99	483	23,26
5511	MZR	ODV	63,05	-68,57	64,07	111,08	483	13,05
5512	MZR	ODV	63,05	-68,57	64,07	111,08	483	13,05
1311	SL	MZR	241,78	-72,76	308,7	106,92	572	42,27
1309	MIR	SL	284,77	-72,9	347,26	107,05	572	49,78
1310	MIR	MZR	253,76	-72,74	259,02	106,9	572	44,36

Příloha G Upřesnění pro síť 1 v normálním provozu

Tab. 76: Tabulka pro linku 1315 (z uzlu MIR do uzlu ZDAS):

Část vedení	I_{dn}	s	Zatížení [%]			
-	[A]	[mm ²]	současnost	1%	3%	5%
1315W	483	185	30,32	37,30	56,11	86,17
1315X	483	185	30,32	37,30	56,11	86,17
1315Y	572	240	25,60	31,50	47,38	72,76
1315Z	725	350	20,20	24,85	37,38	57,41

Přetížení nastane za dobu 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení 5% u částí vedení 1315W, 1315X a 1315Y. V ostatních případech zatížení nepřesáhne 60% dovoleného proudu.

Tab. 77: Tabulka pro linku 1317 (z uzlu MIR do uzlu BEJ):

Část vedení	I_{dn}	s	Zatížení [%]			
-	[A]	[mm ²]	současnost	1%	3%	5%
1317X	483	185	51,75	63,26	95,14	143,39
1317Y	572	240	43,70	53,41	80,34	121,18
1317Z	725	350	34,48	42,14	63,39	109,9

Přetížení nastane za dobu 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení 1% u částí vedení 1317X. Za předpokladu ročního růstu zatížení 3% dojde k přetížení u částí vedení 1317X, 1317Y a 1317Z. Stejně tak i pro roční zatížení 5%.

Tab. 78: Tabulka pro linku 1315 (z uzlu MIR do uzlu HEO):

Část vedení	I_{dn}	s	Zatížení [%]			
-	[A]	[mm ²]	současnost	1%	3%	5%
1318X	483	185	37,39	45,65	68,64	103,09
1318Y	572	240	31,58	38,55	57,96	87,05
1318Z	725	350	24,91	30,41	45,73	68,68

Přetížení nastane za dobu 20 let za předpokladu ročního růstu zatížení 3% u částí vedení 1318X. Za předpokladu ročního růstu zatížení 5% dojde k přetížení u částí vedení 1318X, 1318Y a 1318Z. Stav při výpadku jednoho z napájecích uzlů