

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**

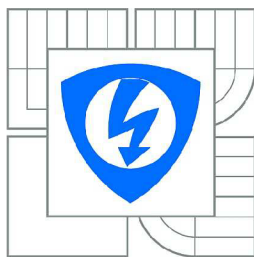
**NÁVRH REKONSTRUKCE DISTRIBUČNÍ SÍTĚ
22KV E.ON V ZADANÉ OBLASTI**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

TOMÁŠ VEPŘEK

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Tomáš Vepřek

ID: 77954

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Návrh rekonstrukce distribuční sítě 22 kV E.ON v zadané oblasti

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

- 1) Klasifikace jednotlivých druhů sítí vn.
- 2) Teorie výpočtu ustáleného chodu sítí vn.
- 3) Výpočet ustáleného chodu stávající sítě 22 kV v zadané oblasti.
- 4) Zhodnocení stávajícího stavu sítě a návrh variant její úpravy.
- 5) Výpočet ustáleného chodu sítě s navrženými úpravami.
- 6) Technické a ekonomické vyhodnocení navržených variant.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 20.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Blažek, CSc.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

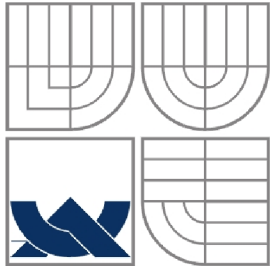
Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných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

Bibliografická citace práce:

VEPŘEK, T. *Návrh rekonstrukce distribuční sítě 22 kV E.ON v zadané oblasti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 85 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladimír Blažek, CSc..

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

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



**Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky**

Diplomová práce

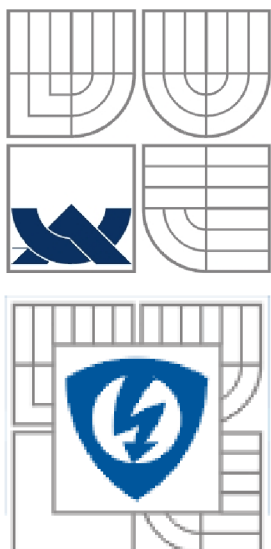
Návrh rekonstrukce distribuční sítě 22 kV E.ON v zadané oblasti

Tomáš Vepřek

vedoucí: Doc. Ing. Vladimír Blažek, CSc.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

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

Master's Thesis

**Conceptual design of the
reconstruction of an E.ON 22 kV
distribution network installed at a
specific area**

by

Tomáš Vepřek

Supervisor: Doc. Ing. Vladimír Blažek, CSc.

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh úpravy distribuční sítě (DS) města Brna pro zajištění dodávky elektrické energie v požadovaném množství a kvalitě koncovým spotřebitelům. Výpočet ustáleného chodu distribuční sítě (DS) města Brna provedeme v programu PAS DAISY Off-Line v.4.00 Bizon. Na základě dostupných podkladů (dispečerské schéma, proudové zatížení kmenových linek a rezervovaný příkon velkoodběratelů) provedeme analýzu ustáleného stavu sítě. Zjistíme, které z transformačních stanic 110/22 kV, kabelových a venkovních vedení jsou přetížená a provedeme úpravy sítě pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu do roku 2015. Dále budeme zjišťovat, v kterém roce bude potřeba vybudovat nový napájecí uzel v severní části města Brna. Závěr práce je zaměřen na technické a ekonomické vyhodnocení navržených variant úprav sítě.

KLÍČOVÁ SLOVA: distribuční síť (DS), transformační stanice, ustálený chod, transformátor, elektrické vedení

ABSTRACT

The aim of this thesis is a modification of the distribution network (DS) of the city of Brno to ensure power supply in the required quantity and quality for end consumers. Calculation of steady - state operation of distribution network (DS) of Brno is performed in the programme PAS DAISY Off-Line v.4.00 Bison. On the basis of available data (dispatching scheme, load current of stem lines and reserved power of wholesale customers) we will analyze the steady-state of network. We will find out which of the 110/22 kV transformer stations, cable and overhead lines are overloaded and perform network adjustments to ensure safe and reliable operation by 2015. We will identify in which year we will need to build a new power node in the northern part of Brno. The conclusion is focused on technical and economic evaluation of proposed alternative network arrangements.

KEY WORDS: distribution network (DS), transformer station, steady operation, transformer, wiring

OBSAH

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 12 |
| SEZNAM TABULEK | 13 |
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 14 |
| 1 ÚVOD..... | 16 |
| 2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA | 16 |
| 2.1 DĚLENÍ ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY PODLE HLADINY NAPĚTÍ..... | 17 |
| 2.1.1 PŘENOSOVÁ SOUSTAVA | 17 |
| 2.1.2 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA..... | 17 |
| 2.2 DRUHY ELEKTRICKÝCH VEDENÍ | 17 |
| 2.2.1 VENKOVNÍ VEDENÍ | 17 |
| 2.2.2 KABELOVÁ VEDENÍ..... | 17 |
| 2.3 KONFIGURACE ELEKTRICKÝCH SÍTÍ VVN A VN | 19 |
| 2.3.1 PAPERKOVÁ SÍŤ..... | 19 |
| 2.3.2 OKRUŽNÍ SÍŤ | 20 |
| 2.3.3 ZAUZLENÁ SÍŤ..... | 20 |
| 2.4 ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH STANIC PODLE ÚČELU..... | 22 |
| 2.4.1 TRANSFORMOVNY | 22 |
| 2.4.2 SPÍNACÍ STANICE | 22 |
| 2.4.3 MĚNÍRNÝ | 23 |
| 2.5 KOLEKTORY | 23 |
| 2.5.1 KOLEKTORY PRIMÁRNÍ (HLUBINNÉ)..... | 23 |
| 2.5.2 KOLEKTORY SEKUNDÁRNÍ (PODPOVRCHOVÉ)..... | 24 |
| 3 ZÁSADY PRO ROZVOJ A VÝSTAVBU SYSTÉMU VN VE MĚSTECH | 25 |
| 3.1 TYPY VEDENÍ POUŽÍVANÉ V MĚSTSKÝCH SÍTÍCH..... | 25 |
| 3.2 OBECNÉ ZÁSADY PRO NÁVRH SÍTÍ VN | 26 |
| 3.2.1 TRANSFORMOVNY VVN/VN A SPÍNACÍ STANICE VN | 27 |
| 3.2.2 ZPŮSOB PROVOZU UZLU TRANSFORMÁTORU VVN/VN | 28 |
| 3.2.3 KABELOVÉ SÍŤE | 28 |
| 3.2.4 VENKOVNÍ SÍŤE..... | 30 |
| 3.3 MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE | 31 |
| 3.3.1 SNÍMAČE PRŮCHODU ZKRATOVÉHO PROUDU | 31 |
| 3.3.2 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ A SIGNALIZACE | 32 |
| 3.3.3 DÁLKOVĚ OVLÁDANÉ VYPÍNAČE..... | 32 |
| 4 ZPŮSOBY VÝPOČTU SÍTÍ NN A VN V USTÁLENÉM STAVU | 33 |
| 4.1 OBECNÁ METODA ŘEŠENÍ UZLOVÝCH SÍTÍ..... | 33 |
| 4.2 NÁVRH PRŮŘEZU UZLOVÉ SÍŤE PODLE DOVOLENÝCH ÚBYTKŮ NAPĚTÍ | 35 |
| 4.3 ZMENŠENÍ POČTU ODBĚRŮ VE SCHÉMATU SÍŤE..... | 36 |
| 4.4 ITERAČNÍ METODY | 38 |
| 4.4.1 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU NEWTONOVOU ITERAČNÍ METODOU | 38 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5 PROGRAM PAS DAISY OFF –LINE V.4.00 BIZON | 42 |
| 5.1 VÝPOČETNÍ METODY | 43 |
| 5.1.1 VÝPOČET TOPOLOGIE | 43 |
| 5.1.2 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ – LFOFF..... | 43 |
| 5.1.3 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ SÍTĚ – ZKOFF | 43 |
| 5.1.4 VÝPOČET ZABEZPEČENOSTI CHODU SÍTĚ – CNOFF | 43 |
| 5.1.5 KONTROLNÍ VÝPOČET NASTAVENÍ POJISTEK – PJOFF | 44 |
| 5.1.6 DOPOČET KAPACITNÍCH PROUDŮ – IKP | 44 |
| 6 CHARAKTERISTIKA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY MĚSTA BRNA | 45 |
| 6.1 ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE..... | 45 |
| 6.2 NAPÁJECÍ SÍŤ 110KV | 45 |
| 6.3 TRANSFORMOVNY 110/22KV | 46 |
| 6.4 SÍŤ 22KV | 49 |
| 6.5 PLÁNOVANÝ ROZVOJ DS MĚSTA BRNA | 49 |
| 7 VÝPOČET AKTUÁLNÍHO USTÁLENÉHO STAVU DS MĚSTA BRNA | 51 |
| 7.1 ZATÍŽENÍ TRANSFORMAČNÍCH STANIC | 51 |
| 7.2 KONTROLA ZATÍŽENÍ KABELOVÉHO A VENKOVNÍHO VEDENÍ..... | 53 |
| 7.3 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU SÍTĚ A NÁVRH VARIANT JEJICH ÚPRAVY | 55 |
| 8 URČENÍ TRENDU SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE..... | 56 |
| 8.1 VÝPOČET TRENDU SPOTŘEBY POMOCÍ EXPONENCIÁLNÍ FUNKCE..... | 56 |
| 8.2 STANOVENÍ PLOŠNÉHO VÝVOJE ZATÍŽENÍ ŘEŠENÉ OBLASTI V LETECH 2012 - 2015..... | 59 |
| 9 PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ DS MĚSTA BRNA | 60 |
| 9.1 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU DS K ROKU 2015 S NAPÁJECÍM UZLEM MORAVANY | 61 |
| 9.1.1 ZATÍŽENÍ TRANSFORMAČNÍCH STANIC | 62 |
| 9.1.2 KONTROLA ZATÍŽENÍ ELEKTRICKÝCH VEDENÍ | 63 |
| 9.2 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU DS K ROKU 2015 S NAPÁJECÍM UZLEM OPUŠTĚNÁ | 64 |
| 9.2.1 ZATÍŽENÍ TRANSFORMAČNÍCH STANIC | 65 |
| 9.2.2 KONTROLA ZATÍŽENÍ ELEKTRICKÝCH VEDENÍ | 67 |
| 9.3 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU DS K ROKU 2020 S NAPÁJECÍM UZLEM KLUSÁČKOVA..... | 68 |
| 9.3.1 ZATÍŽENÍ TRANSFORMAČNÍCH STANIC | 68 |
| 9.3.2 KONTROLA ZATÍŽENÍ ELEKTRICKÝCH VEDENÍ | 69 |
| 10 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT..... | 71 |
| 10.1 TRANSFORMAČNÍ STANICE MORAVANY | 71 |
| 10.1.1 ROZVODNA 110 KV..... | 71 |
| 10.1.2 TRANSFORMÁTORY 110/22 KV..... | 71 |
| 10.1.3 TLUMIVKY | 71 |
| 10.1.4 VLASTNÍ SPOTŘEBA | 72 |
| 10.1.5 ROZVODNA 22 KV..... | 72 |
| POPIS POLÍ ROZVODNY VN..... | 72 |
| 10.1.6 OCHRANY A ŘÍDÍCÍ SYSTÉM..... | 73 |
| 10.1.7 VYVEDENÍ VÝKONU Z ROZVODNY MORAVANY A ÚPRAVA SÍTĚ VN..... | 73 |
| 10.2 TRANSFORMAČNÍ STANICE BOHUNICE..... | 73 |
| 10.2.1 ROZVODNA 22 KV BOHUNICE | 73 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 10.2.2 ROZVODNA 110 KV..... | 74 |
| 10.2.3 ŘÍDÍCÍ TECHNIKA A OCHRANY | 74 |
| 10.3 TRANSFORMAČNÍ STANICE OPUŠTĚNÁ..... | 74 |
| 10.3.1 ROZVODNA 110 KV..... | 75 |
| 10.3.2 ODPORNÍK..... | 76 |
| 10.3.3 VLASTNÍ SPOTŘEBA | 76 |
| 10.3.4 ROZVODNA 22KV | 76 |
| 10.3.5 OCHRANY A ŘÍDÍCÍ SYSTÉM..... | 77 |
| 10.3.6 KABELOVÉ VÝVODY VN..... | 77 |
| 10.4 TRANSFORMAČNÍ STANICE KLUSÁČKOVA | 78 |
| 10.4.1 ROZVODNA 110 KV..... | 78 |
| 10.4.2 ODPORNÍK..... | 78 |
| 10.4.3 VLASTNÍ SPOTŘEBA | 78 |
| 10.4.4 ROZVODNA 22 KV..... | 78 |
| 10.4.5 OCHRANY A ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY..... | 78 |
| 11 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT | 79 |
| 11.1 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ SOUBORU STAVEB R 110/22 KV MORAVANY..... | 79 |
| 11.2 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ SOUBORU STAVEB R 110/22 KV OPUŠTĚNÁ..... | 80 |
| 11.3 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ STAVBY R 110/22 KV KLUSÁČKOVA | 82 |
| 12 ZÁVĚR..... | 83 |
| POUŽITÁ LITERATURA | 85 |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| PŘÍLOHA A | DISPEČERSKÉ SCHÉMA 2011 |
| PŘÍLOHA B | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2011 - TOPOLOGIE SÍTĚ |
| PŘÍLOHA C | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2011 - PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ |
| PŘÍLOHA D | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2015 - MORAVANY (MOB) - TOPOLOGIE SÍTĚ |
| PŘÍLOHA E | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2015 - MORAVANY (MOB) - PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ |
| PŘÍLOHA F | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2015 - OPUŠTĚNÁ (BNO) - TOPOLOGIE SÍTĚ |
| PŘÍLOHA G | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2015 - OPUŠTĚNÁ (BNO) - PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ |
| PŘÍLOHA H | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2020 - KLUSÁČKOVA (BNS) - TOPOLOGIE SÍTĚ |
| PŘÍLOHA I | VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ 2020 - KLUSÁČKOVA (BNS) - PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ |
| PŘÍLOHA J | PŘEHLEDOVÉ SCHÉMA ZAPOUZDŘENÉ ROZVODNY 110 kV MORAVANY |
| PŘÍLOHA K | DISPOZICE R 110/22 kV MORAVANY |
| PŘÍLOHA L | JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA R 22 kV MORAVANY |
| PŘÍLOHA M | TRASA KABELŮ Z ROZVODNY MORAVANY |
| PŘÍLOHA N | ROZVODNA BOHUNICE - PŘEPOJENÍ VN, UZLOVÝ ODPORNÍK |
| PŘÍLOHA O | SITUACE A ROZMÍSTĚNÍ ROZVODNY 110/22 kV OPUŠTĚNÁ |
| PŘÍLOHA P | ZAPOUZDŘENÁ ROZVODNA 110 kV OPUŠTĚNÁ |
| PŘÍLOHA Q | JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA ROZVODNY 22 kV OPUŠTĚNÁ |
| PŘÍLOHA R | KOLEKTOR OPUŠTĚNÁ - UMÍSTĚNÍ VÝVODŮ VN Z ROZVODNY OPUŠTĚNÁ |
| PŘÍLOHA S | TRASA KABELŮ VN Z ROZVODNY OPUŠTĚNÁ |
| PŘÍLOHA T | TRASA NAPÁJENÍ ROZVODNY 110 kV KLUSÁČKOVA |
| PŘÍLOHA U | INVESTIČNÍ NÁKLADY NAVRŽENÝCH VARIANT |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Obr. 2-1 Zjednodušená struktura elektrizační soustavy [11].....</i> | <i>16</i> |
| <i>Obr. 2-2 Kabel A2XS(F)2Y [12]</i> | <i>18</i> |
| <i>Obr. 2-3 Kabel AXCEL-LT [15].....</i> | <i>19</i> |
| <i>Obr. 2-4 Paprsková síť [3].....</i> | <i>19</i> |
| <i>Obr. 2-5 Zauzlená síť [3]</i> | <i>20</i> |
| <i>Obr. 2-6 Zauzlená síť [3]</i> | <i>20</i> |
| <i>Obr. 2-7 Polomřížová síť [3].....</i> | <i>21</i> |
| <i>Obr. 2-8 Klasická mřížová síť [6]</i> | <i>21</i> |
| <i>Obr. 2-9 Primární kolektory města Brna [9]</i> | <i>23</i> |
| <i>Obr. 3-1 Typy vedení používaných v městských sítích VN [19]</i> | <i>25</i> |
| <i>Obr. 3-2 Varianty řešení kabelové VN sítě [2]</i> | <i>29</i> |
| <i>Obr. 3-3 Úseky vedení ve venkovních sítích [2]</i> | <i>31</i> |
| <i>Obr. 4-1 Metoda uzlových napětí [1].....</i> | <i>33</i> |
| <i>Obr. 4-2 Zmenšení počtu odběrů na vedení – původní situace</i> | <i>37</i> |
| <i>Obr. 4-3 Zmenšení počtu odběrů na vedení – situace po redukci odběrů.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Obr. 5-1 Elektrický model sítě [14].....</i> | <i>42</i> |
| <i>Obr. 6-1 Vývoj zatížení v období 2001 - 2011.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Obr. 6-2 Zatížení jednotlivých transformací na přípojnicích VN</i> | <i>49</i> |
| <i>Obr. 6-3 Plánovaný rozvoj DS 110kV [13].....</i> | <i>50</i> |
| <i>Obr. 7-1 Zatížení a instalované výkony jednotlivých transformačních stanic</i> | <i>53</i> |
| <i>Obr. 8-1 Závislost výkonu na čase s exponenciální spojnicí trendu pro rok 2001 - 2011</i> | <i>58</i> |
| <i>Obr. 8-2 Plošný vývoj zatížení do roku 2015</i> | <i>59</i> |
| <i>Obr. 9-1 Zatížení a instalované výkony jednotlivých transformačních stanic v roce 2015 s napájecím uzlem Moravany.....</i> | <i>63</i> |
| <i>Obr. 9-2 Zatížení a instalované výkony jednotlivých transformačních stanic v roce 2015 s napájecím uzlem Moravany a Opuštěná</i> | <i>67</i> |
| <i>Obr. 9-3 Zatížení a instalovaný výkon jednotlivých transformačních stanic do roku 2020.....</i> | <i>69</i> |
| <i>Obr. 10-1 Umístění nové rozvodny Opuštěná v zastavovací studii [17].....</i> | <i>75</i> |
| <i>Obr. 11-1 Peněžní tok v období 40 let.....</i> | <i>80</i> |
| <i>Obr. 11-2 Peněžní tok v období 30 let.....</i> | <i>82</i> |

SEZNAM TABULEK

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Tab. 3-1 Používané průřezy kabelů NA2XS(F)2Y [2]</i> | <i>30</i> |
| <i>Tab. 6-1 Jmenovité výkony transformačních stanic</i> | <i>45</i> |
| <i>Tab. 6-2 Naměřené hodnoty proudového maxima při soudobém zatížení</i> | <i>46</i> |
| <i>Tab. 6-3 Soudobé zatížení jednotlivých transformací</i> | <i>47</i> |
| <i>Tab. 6-4 Instalované výkony jednotlivých transformoven v roce 2011</i> | <i>48</i> |
| <i>Tab. 7-1 Zatížení transformačních stanic v roce 2011.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Tab. 7-2 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2011.....</i> | <i>53</i> |
| <i>Tab. 9-1 Nové odběry v letech 2012 - 2015</i> | <i>60</i> |
| <i>Tab. 9-2 Zatížení transformačních stanic v roce 2015 s TR Moravany</i> | <i>62</i> |
| <i>Tab. 9-3 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2015.....</i> | <i>64</i> |
| <i>Tab. 9-4 Zatížení transformačních stanic v roce 2015 s TR Moravany a TR Opuštěná</i> | <i>65</i> |
| <i>Tab. 9-5 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2015.....</i> | <i>67</i> |
| <i>Tab. 9-6 Zatížení transformačních stanic v roce 2020.....</i> | <i>68</i> |
| <i>Tab. 9-7 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2020.....</i> | <i>69</i> |
| <i>Tab. 11-1 Přehled posuzovaných investičních nákladů</i> | <i>79</i> |
| <i>Tab. 11-2 Předpoklady výpočtu.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Tab. 11-3 Výsledky efektivnosti investice</i> | <i>80</i> |
| <i>Tab. 11-4 Přehled posuzovaných investičních nákladů</i> | <i>81</i> |
| <i>Tab. 11-5 Předpoklady efektivnosti investice</i> | <i>81</i> |
| <i>Tab. 11-6 Výsledky efektivnosti investice</i> | <i>81</i> |
| <i>Tab. 11-7 Přehled posuzovaných investičních nákladů</i> | <i>82</i> |

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|----------------|-----------------------------------------------------|
| a | - parametr rovnice |
| a.s. | - akciová společnost |
| b | - parametr rovnice |
| BNC 9 | - transformační stanice Černovice |
| BNJ 9 | - spínací stanice Jílová |
| BNO 9 | - transformační stanice Opuštěná |
| BNP 9 | - transformační stanice Příkop |
| BNS 9 | - spínací stanice Klusáčkova |
| BNT 9 | - transformační stanice Brno-Teplárna |
| BOB 9 | - transformační stanice Bohunice |
| ČEPS, a.s | - provozovatel české energetické přenosové soustavy |
| ČR | - Česká republika |
| ČSN | - česká technická norma |
| DS | - distribuční soustava |
| ES | - elektrizační soustava |
| F | - funkce |
| HUV 9 | - transformační stanice Husovice |
| HB 9 | - transformační stanice Hrušovany u Brna |
| \bar{i}_i | - fázor proudu v i -tém uzlu soustavy, (A) |
| \bar{I}_i^* | - komplexně sdružený fázor proudu, (A) |
| \bar{I}_{ij} | - fázor proudu mezi uzly i a j , (A) |
| J | - Jacobián |
| k | - pořadí iterace |
| KV 9 | - transformační stanice Komárov |
| LI 9 | - transformační stanice Líšeň |
| MEY 9 | - transformační stanice Medlánky |
| MOB 9 | - transformační stanice Moravany |
| NN | - nízké napětí |
| P_i | - činný výkon v i -tém uzlu soustavy, (W) |
| PS | - přenosová soustava |
| Q_i | - jalový výkon v i -tém uzlu soustavy, (VAr) |

| | |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| \bar{S}_i | - zdánlivý výkon v i -tém uzlu soustavy, (VA) |
| \bar{S}_i^* | - komplexně sdružený fázor zdánlivého výkonu, (VA) |
| TR | - transformační stanice |
| \bar{U}_i | - fázor napětí v uzlu i , (V) |
| \bar{U}_i^* | - komplexně sdružený fázor napětí, (V) |
| U_s | - sdružené napětí, (V) |
| VN | - vysoké napětí |
| VVN | - velmi vysoké napětí |
| X_k | - měrná indukční reaktance vedení (Ω/km) |
| \bar{y} | - komplexní podélná admitance (S) |
| \bar{Y}_{ij} | - podélná admitance mezi uzly i a j , (S) |
| \bar{Z} | - impedance (Ω) |
| α | - fázový posun fázoru proudu vůči reálné ose, ($^\circ$) |
| ΔP_i | - diference činného výkonu v i -tém uzlu soustavy, (W) |
| ΔQ_i | - diference jalového výkonu v i -tém uzlu soustavy, (VA) |
| $\Delta \bar{U}_i$ | - diference fázoru napětí v i -tém uzlu soustavy, (V) |
| $\Delta \delta_i$ | - diference fázového posunu napětí v i -tém uzlu soustavy, ($^\circ$) |
| δ | - fázový posun fázoru napětí vůči reálné ose, ($^\circ$) |
| φ | - fázový posun mezi fázory napětí a proudu, ($^\circ$) |

1 ÚVOD

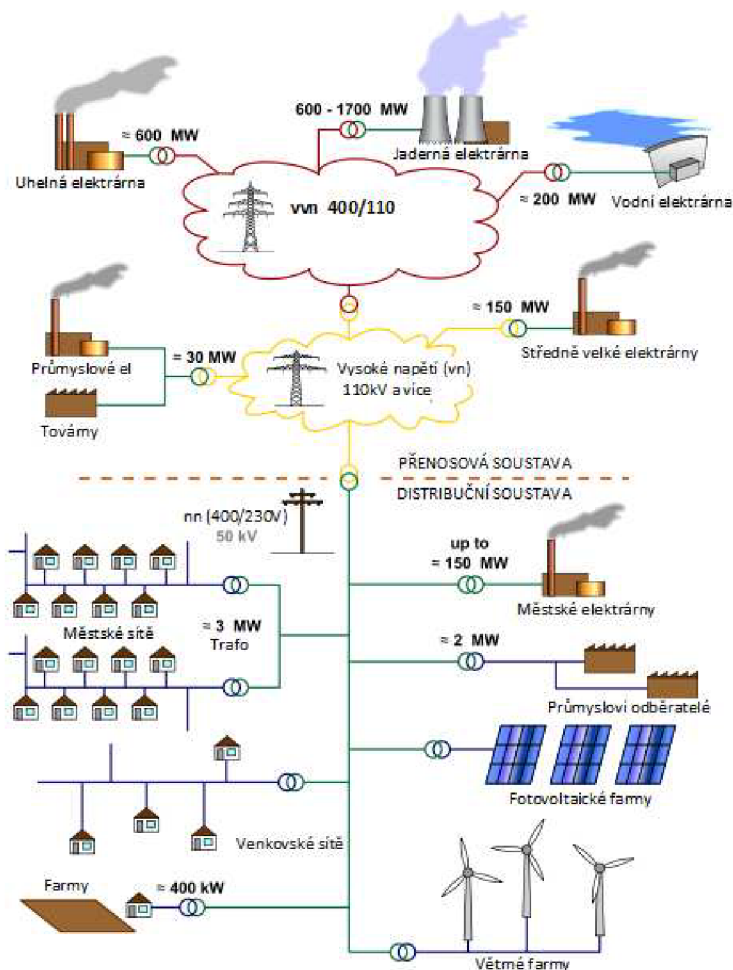
Města svým charakterem koncentrovaného osídlení tvoří z energetického hlediska důležitý a zajímavý útvar. Koncentrovaný odběr ve městech v průmyslu a bytových zástavbách s neustálým zvětšováním spotřeby elektrické energie vyžaduje výstavbu nových složitějších soustav sítí, doplňování stávajících sítí a rekonstrukci jejich dožitých částí.

V souvislosti s rostoucími požadavky na množství, kvalitu a spolehlivost dodávky elektrické energie je nutné průběžně provádět rekonstrukci stávajících elektrických zařízení.

Současný rozvoj průmyslových center a nových bytových zástaveb v městě Brně vyžaduje výstavbu nových napájecích transformačních stanic 110/22 kV, rekonstrukci vedení, spínacích stanic 22 kV, transformačních stanic VN/NN tak, aby byla zajištěna dodávka elektrické energie v předepsané kvalitě.

2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA

Pod pojmem elektrizační soustava (ES) rozumíme vzájemné propojení souboru zařízení zahrnující výroby (elektrárny jaderné, tepelné, vodní, teplárny atp.), přenos, transformaci a distribuci elektrické energie včetně elektrických přípojek, systémy měřicí, řídicí, ochranné, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky, spotřebiče - zařízení pro přeměnu elektrické energie v teplo, světlo, mechanickou práci apod.



Obr. 2-1 Zjednodušená struktura elektrizační soustavy [11]

2.1 Dělení elektrizační soustavy podle hladiny napětí

Elektrizační soustavu se dělí podle hladiny napětí na přenosovou a distribuční (Obr. 2-1).

2.1.1 Přenosová soustava

Přenosovou soustavu České republiky vlastní společnost ČEPS, a.s. a představuje subsystém, který propouje všechny významné subjekty a zajišťuje rozhodující podíl zahraniční spolupráce. Na území ČR řadíme přenosovou síť na hladiny 400kV a 220kV.

2.1.2 Distribuční soustava

Jedná se v podstatě o distribuci elektrické energie ke koncovým odběratelům. V podmínkách České republiky zahrnují distribuční soustavy hladinu velmi vysokého napětí (VVN) 110kV, hladinu vysokého napětí (VN) 22kV, 35kV (ojediněle i napětí 10kV a 6kV) a hladinu nízkého napětí (NN) 230/400V.

2.2 Druhy elektrických vedení

Elektrické vedení je základním prvkem přenosových a distribučních sítí a představuje soubor vodičů, izolačních materiálů a konstrukcí pro přenos elektrické energie mezi dvěma body elektrické sítě. Podle druhu rozeznáváme kabelová vedení, která mohou být uložena v zemi na lávkách nebo zavěšena na stožárech a venkovní vedení, jehož vodiče jsou vedeny nad zemí obvykle pomocí izolátorů a vhodných podpěrných bodů (stožárů).

2.2.1 Venkovní vedení

Vodiče venkovního vedení jsou dráty nebo lana. Při potřebě vyšší mechanické pevnosti se používají lana dvoumateriálová - ocelohliníková. Vnitřní ocelový drát slouží ke zlepšení mechanických vlastností a je opředen hliníkovými dráty. Pro vedení do napětí 22kV se také používají izolované vodiče. Venkovní vedení se používá na místech, kde je dostatek prostoru a kde není nadměrná hustota zatížení. Provozní náklady na provoz a údržbu jsou u venkovního vedení vyšší jak u kabelového, ale pořizovací cena je mnohem nižší, proto se preferuje především výstavba venkovního vedení. Podle napětí dělíme vedení na VVN, VN a NN.

VVN vedení 110kV slouží většinou k propojení vazebního bodu nadřazené soustavy a centrum odběru průmyslových oblastí a měst.

Vedení VN se provozují jako okružní i paprskové. Používají se k rozvodu elektřiny do obcí a velkoodběratelům. Společnost E.ON a.s. používá volné vodiče AlFe, nebo ve vybraných případech jako je kraj lesa, sady atd. izolované vodiče SAX-W.

Pro napětíovou hladinu 0,4kV se používají holé vodiče AlFe, izolované vodiče nebo závěsné kabely. V současné době společnost E.ON a.s. používá v nových sítích pouze izolovaná vedení AES, přípojky AYKY nebo AES.

2.2.2 Kabelová vedení

Kabelová vedení se přednostně budují v městských aglomeracích. Mimo města a obce nacházejí uplatnění jen tam, kde nelze z prostorových, bezpečnostních případně jiných důvodů (silná námrazová oblast, chemicky agresivní ovzduší) použít vedení venkovní. Jejich hlavní nevýhodou jsou pořizovací náklady, které jsou mnohem vyšší oproti venkovnímu vedení. Běžná

jsou kabelová vedení NN a VN. Používají se také kombinace kabelových a venkovních vedení, a to na napěťové úrovni VN i NN.

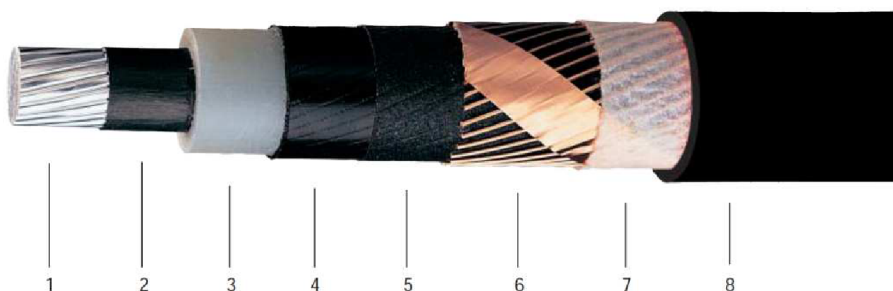
Pro stanovení parametrů je rozhodující konstrukce, materiál dielektrika a vodičů a způsob použití. Z tohoto hlediska lze rozdělit kabelová trojfázová vedení do několika skupin [5]:

1. Troj - a čtyřžilové kabely bez vodivého pláště a pancíře, kabelová trojfázová vedení z obdobných jednožilových kabelů.
2. Trojžilové kabely se společným vodivým (hliníkovým nebo olověným) pláštěm případně s ocelovým pancířem.
3. Trojžilové kabely s vodivým pláštěm na každé žíle.
4. Kabelová trojfázová vedení z jednožilových kabelů s vodivými plášti.
5. Kabelová trojfázová vedení z jednožilových kabelů s vodivými plášti a ocelovými pancíři.

Trojfázová kabelová vedení z jednožilových kabelů mají u největších průřezů výhody, které spočívají ve snazší montáži, větších výrobních délkách a spolehlivějších spojkách a koncovkách. Vícežilové kabely zvětšují svůj činný odpor vzájemným kroucením žil. U jednožilových kabelů s vodivým pláštěm, případně feromagnetickým pancířem, lze do zvětšení činného odporu vlastní žíly zahrnout přídatné ztráty vířivými proudy a hysterezí v obalech u střídavého proudu. Tyto ztráty mohou být značné, několikanásobné proti ztrátám způsobeným ohřevem vodiče stejnosměrným proudem. Snižují se pospojováním plášťů, kladením co nejbliže k sobě.

Vedení s napětím 110kV se používají ojediněle, kvůli vysokým investičním nákladům a technické náročnosti. Většinou se nachází ve velkých městech nebo průmyslových zónách.

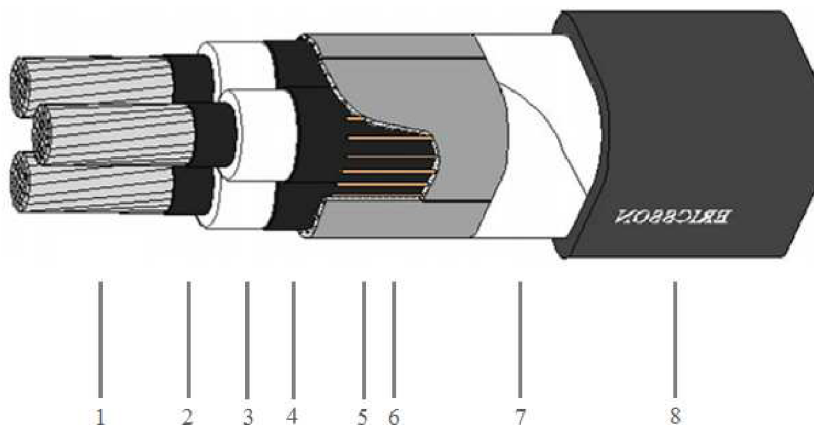
Vedení 22kV jsou zpravidla v kabelových rozvodech ve velkých městech. Konstruuje se převážně jako okružní. Jsou na ně kladeny vysoké nároky co se týče pronikání vlhkosti. Nejčastěji se používají kabely s izolací ze zesíleného polyetylénu jako typy AXEVCY, AXEVCEY, AVXEKVCE, AVXEKVCEY, CXEKVCY, CXEKVCEY. Ve firmě E.ON a.s. se můžeme setkat s kabelovým vedením typu AXEKVCEY a od roku 2007 se instalují v běžné zástavbě kabely typu A2XS(F)2Y viz. Obr. 2-2 kde, 1 - hliníkový vodič, 2 - vnitřní polovodivá vrstva, 3 - izolace XLPE, 4 - vnější polovodivá vrstva, 5 - polovodivá voděodolná páska, 6 - měděná protipožární vrstva, 7 - voděodolná páska, 8 - vnější izolace.



Obr. 2-2 Kabel A2XS(F)2Y [12]

Tento typ kabelů se z požárních důvodů nesmí instalovat do kolektorů a kabelových prostor v budovách, pro tyto účely se používají kabely typu AXEVCEY a ve vybraných případech se od roku 2011 zkouší nový typ kabelu AXCEL-LT (např. pro uložení do multikanálových tras SITEL). Je to třížilový kabel určen pro trvalé uložení v zemi, ve vodě, nebo v kabelových kanálech, kolektorech a na kabelových konstrukcích. Má extra nárazuvzdorný plášť. Jednotlivé části kabelu jsou popsány na Obr. 2-3, kde 1 - vodič (slitina hliníku), 2 - vnitřní polovodivá

vrstva PE, 3 - izolace (zesítněný tvrzený XLPE), 4 - vnitřní ochranná vrstva izolace (polovodivá PE), 5 - stínění (měděné dráty uložené ve vodivé, korozivzdorné vrstvě), 6 - podélná vodotěsnost kabelu (bobtnavý prášek a bobtnavá vlákna), 7 - kolmá vodotěsnost kabelu (hliníková fólie lepená na rub pláště kabelu), 8 - plášť kabelu (černý PE).



Obr. 2-3 Kabel AXCEL-LT [15]

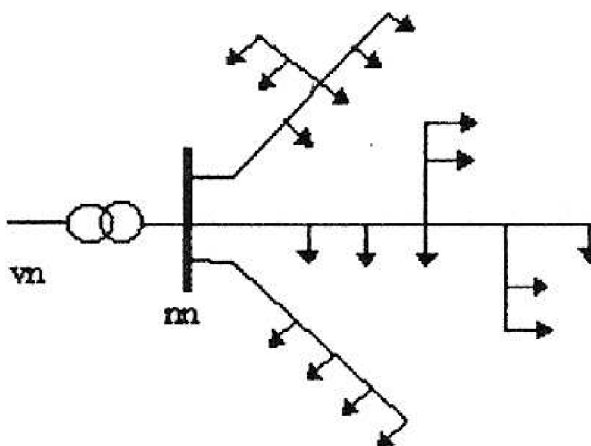
U vedení se jmenovitým napětím 0,4 kV se používají celoplastové kabely s izolací z PVC. Slouží k rozvodu elektrické energie od transformátorů 22/0,4 kV až do rozvodné skříně spotřebitele. Používají se dva základní typy: CYKY a AYKY. Firma E.ON a.s. používá pouze typ kabelu AYKY.

2.3 Konfigurace elektrických sítí VVN a VN

Podle způsobu propojení rozdělujeme sítě paprskové, okružní a zauzlené.

2.3.1 Paprsková síť

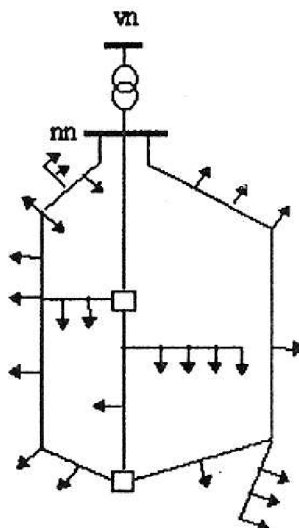
U této sítě vychází vedení (venkovní nebo kabelové) z napájecího místa (rozvodna VN či spínací stanice) a zásobuje jednotlivé odběry. Každý vývod (paprsek) je samostatný a nelze jej vzájemně spojovat. Tento způsob rozvodu je obvykle nejlevnější, avšak jistota zásobování je nejmenší. Používá se v oblastech s běžnými nároky na spolehlivost. Přerušení dodávky může být několik hodin, ale také několik dnů. Obvykle se používá v malých městech a průmyslu.



Obr. 2-4 Paprsková síť [3]

2.3.2 Okružní síť

Okružní síť, neboli smyčkové se provozují jako rozepnuté nebo sepnuté. Jednotlivé paprsky nebo polosmyčky jsou vedeny tak, aby se daly sepnout. Provozují se obvykle jako rozepnuté. Síť okružní jsou dražší než paprskové, protože pro vzájemné spojení je potřeba větších délek. Jejich hlavní výhodou je přirozené rozdělení toků proudu a tím snížení ztrát na vedení a zlepšení úbytku napětí. Provoz těchto sítí je přehledný a nenáročný, proto je tento způsob rozvodu v praxi oblíben, jak pro síť NN, tak i VN a VVN. Síť VN se budují většinou jako síť okružní nebo jako síť napájené ze dvou zdrojů, hodící se pro velké hustoty odběru jako jsou velká města.

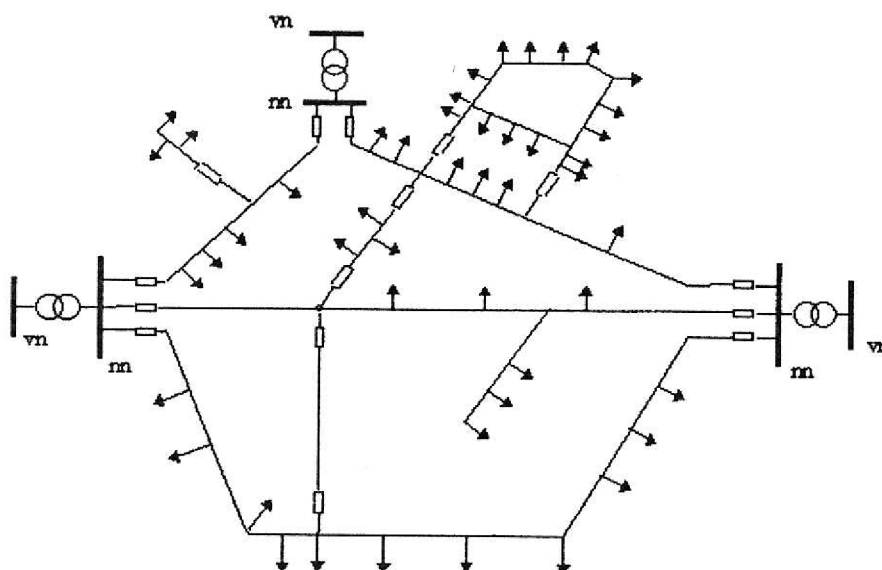


Obr. 2-5 Zauzlená síť [3]

2.3.3 Zauzlená síť

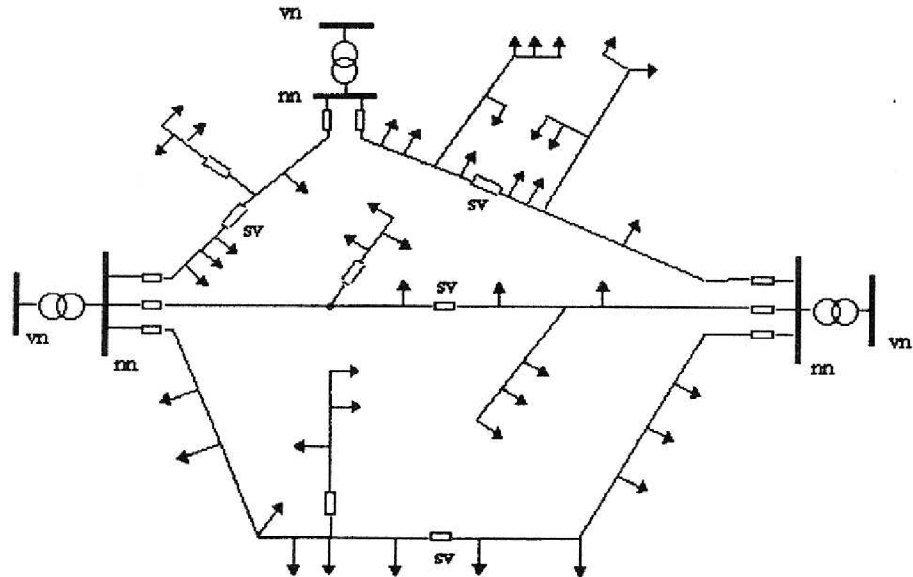
Používají se převážně u sítí nízkého napětí 400/230V. Můžeme je rozdělit na síť zauzlené, polomřížové a síť mřížové klasické.

Zauzlené síť jsou ve zjednodušené formě sítě okružní sepnuté, jištěné pojistkami, které nejsou selektivní.



Obr. 2-6 Zauzlená síť [3]

Polomřížová síť vznikne za předpokladu, že tuto síť napájejí nejméně dva transformátory. Mezi těmito stanicemi je spojení hlavními vedeními obvykle s většími průřezy jištěnými výkonovými pojistkami. V místech tzv. kritického průřezu jsou slabší pojistky, zvané pojistky slabé vazby.

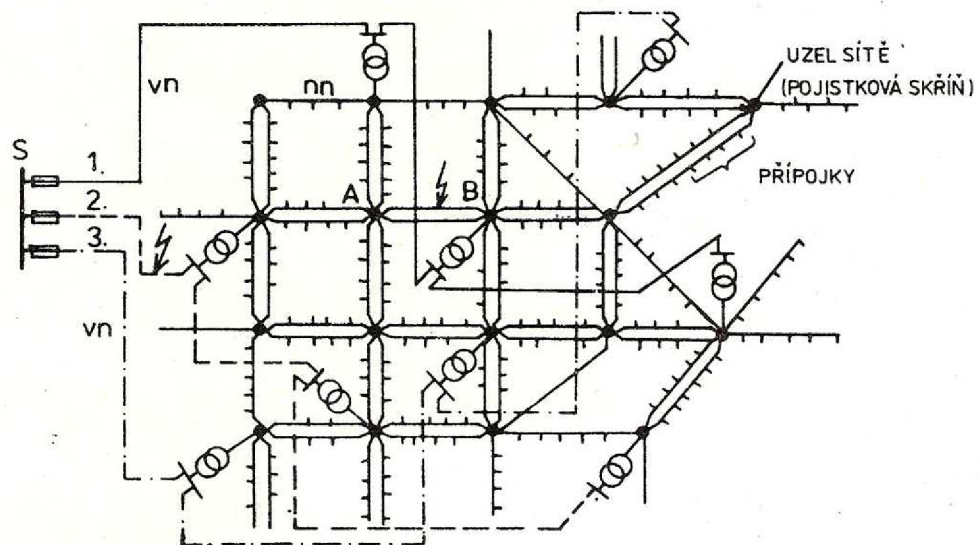


Obr. 2-7 Polomřížová síť [3]

Vyskytne-li se zkrat, reaguje nejprve pojistka slabé vazby a v dalším zlomku vteřiny hlavní pojistka ve stanici T1. Ostatní síť zůstává v provozu.

Mezi jejich výhody patří nižší investiční náklady oproti klasické mřížové síti, kvalita elektrické energie, snadná lokalizace poruchy nebo zkratu, jednoduchá obsluha. Nevýhoda je nižší spolehlivost při poruše sekundární sítě [3].

Klasická mřížová síť se hodí do větších měst s měrnou hustotou 500 - 1000 kW/km² a více, kde je několik transformoven napájených nejméně dvěma, lépe třemi až pěti napáječi VN. Kabelové vedení NN se spojí na křižovatkách ulic do uzlů.



Obr. 2-8 Klasická mřížová síť [6]

Kabelová vedení jsou ve všech uzlech jištěna výkonovými pojistkami. Dojde - li k poruše mezi dvěma uzly, pojistka zapůsobí a daný úsek se vyřadí z provozu.

Při zkratu na straně VN nebo v napájecí, přenesla by se porucha na stranu nízkého napětí a došlo by k přetavení uzlových pojistek. Proto jsou v napájecích uzlech mřížové sítě za transformátorem umístěna zpětná relé, která transformátor při poruše rychle odpojí.

Mezi jejich výhody patří vysoká kvalita elektrické energie, vysoká spolehlivost dodávky, možnost záložního napájení. Nevýhodou jsou vysoké investiční a provozní náklady, vysoká náročnost na kvalifikaci obsluhy a složitost sítě [3].

Tato práce se zabývá rekonstrukcí distribuční sítě města Brna, kde byla vystavěna zauzlená síť jako okružní, případně mřížová.

2.4 Rozdělení elektrických stanic podle účelu

Elektrická stanice je ucelené zařízení uzlu elektrizační soustavy, může sloužit buď k transformaci elektrické energie na jiné napětí (transformovny), nebo k rozvádění elektřiny téhož napětí (spínací stanice) nebo k přeměně střídavého elektrického proudu na proud o jiném kmitočtu (měnírny).

2.4.1 Transformovny

Slouží k transformaci elektrické energie na potřebné napětí a k jejímu rozvodu. Transformovna obsahuje výkonové transformátory propojující dvě nebo více sítí s rozdílným napětím.

Dispoziční uspořádání závisí na řešení jednotlivých rozvodných zařízení (rozvoden) NN, VN, VVN, ZVN, na rozmístění výkonových transformátorů apod.

Rozlišujeme transformátory průmyslové a distribuční.

K elektrické části transformovny patří [6]:

- hlavní transformátory a transformátory vlastní spotřeby,
- rozvodné zařízení a reaktory k omezení zkratových proudů,
- kompenzační zařízení, tj. rotační kompenzátory, statické kondenzátory a tlumivky,
- společná zařízení, tj. dozorná a v ní soustředěná zařízení pro ovládání (z místa nebo dálkové), měření, regulaci, návěstí, dispečerské dorozumívací zařízení, ochrany, HDO. Dále sem patří zařízení pro zajištění a rozvod energie pro vlastní spotřebu.

Do pomocné části transformovny patří zařízení k zabezpečení provozu a údržby (olejové hospodářství, revizní věž, laboratoř apod.).

Ke stavební části patří pozemek, budovy, stavební konstrukce apod..

Při dimenzování vycházíme z jmenovitých parametrů transformátoru a to jak na straně vyššího napětí, tak na straně nižšího napětí.

2.4.2 Spínací stanice

Spínací stanice umožňuje spínání elektrických obvodů stejného jmenovitého napětí a stejné proudové soustavy a tím umožňují potřebný rozvod elektrické energie. Jsou vybaveny spínacími

přístroji a obvykle i přípojnícemi. Mohou zde být instalovány i výkonové transformátory pro vlastní spotřebu.

V dnešní době se vyskytují klasické spínací stanice méně často, protože s ohledem na hospodárnost výstavby a provozu se do uzlů elektrizační soustavy obvykle soustřeďuje též napájení sítí nižšího napětí, což vede k použití transformoven.

2.4.3 Měnírny

Měnírna slouží k přeměně střídavého elektrického proudu na proud jiného kmitočtu nebo na proud stejnosměrný a zajišťuje jeho rozvod. Měničová stanice může též měnit proud stejnosměrný na střídavý tzv. střídač.

Hlavní elektrickou částí měničové stanice je skupina zařízení, sloužící ke změně kmitočtu nebo k usměrnění střídavého proudu tj. frekvenční měniče a usměrňovače. Ostatní skupiny zařízení (spínací přístroje, transformátory) se volí podle účelu a velikosti měničové stanice a uspořádání je podobné jako v transformovně.

S měnírny se můžeme setkat ve velkých městech, kde slouží k napájení trakčního vedení městských dopravních podniků.

2.5 Kolektory

Kolektory jsou liniové podzemní objekty, které umožňují vedení a ukládání inženýrských sítí při zachování jejich přístupnosti. Umožňují opravy, údržby, pozdější rekonstrukci a obměny sítí bez přerušení komunikací na rozdíl od klasické pokládky přímo do země, kde tyto zásahy značně narušují dopravu a život ve městech. Toto jsou hlavní výhody kolektorů.

V kolektorech je soustředěna převážná část technických sítí (kanalizace, parovody, telefonní kabely, optické kabely apod.). Všechny tyto sítě se v kolektorech snadněji instalují a udržují.

Provozovatelem kolektorové sítě je společnost Technické sítě Brno a.s..

2.5.1 Kolektory primární (hlubinné)

Primární kolektory (Obr. 2-8) se umísťují do hloubky 25 až 30 m pod povrchem, kde nedochází ke kontaktu se zástavbou. Jejich hloubka je závislá na geologické skladbě podloží. Pro hlavní trasy se rozměry ustálily na kruhovém profilu o průměru 5,10 m s rovinným dnem o světlé výšce 4,0 m [8]. Primární neboli transportní kolektory převádějí média od zdrojů (rozvodny, vodárny, telefonní ústředny, teplárny) kromě plynovodu a kanalizace.



Obr. 2-9 Primární kolektory města Brna [9]

2.5.2 Kolektory sekundární (podpovrchové)

Sekundární kolektory se umísťují zpravidla v hloubkách kolem 5 m pod povrchem kopírující uliční síť. Příčný profil je závislý na obsazení inženýrskými sítěmi. V hlavních trasách jsou rozměry kolektorů 3,0 m x 3,3 m. Jsou zde uloženy všechny inženýrské sítě kromě plynovodu.

Kolektory jsou prováděny hornickým způsobem, tj. ražbou, železobetonová konstrukce je tvořena důlní výztuží a stříkaným vodostavebním betonem s výztužnou ocelovou sítí, dno je z litého betonu. Součástí stavby kolektoru je jednotná kanalizace uložená pod podlahou, přístupná z kolektoru revizními šachtami, vodovodní řad uložený na podlaze kolektoru na betonových blocích, ocelové konstrukce k uložení kabelů a vlastní vybavení kolektoru – napájení, měření a regulace, vzduchotechnika, spojovací systém.

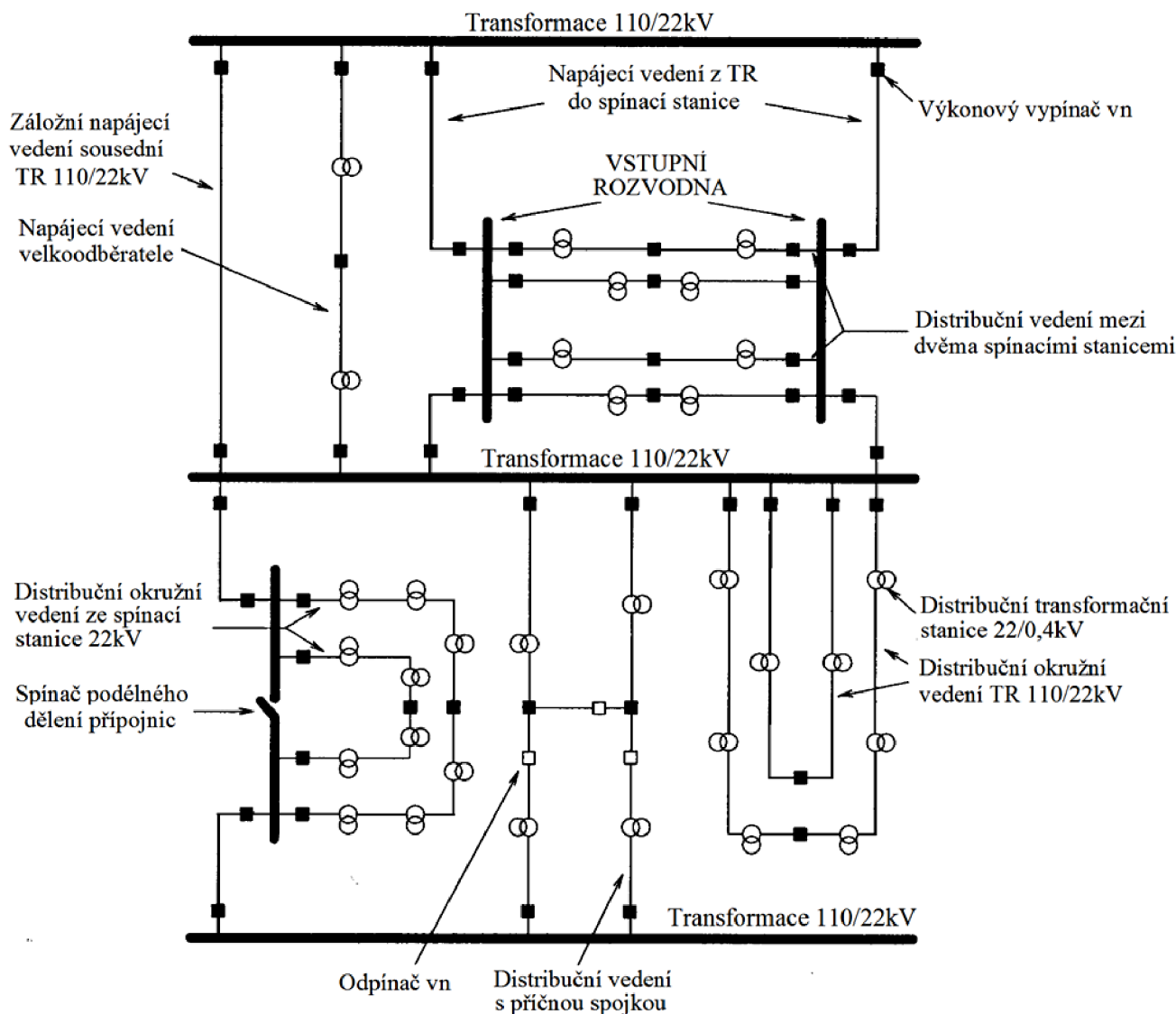
Na povrch se kolektory promítají montážními poklopy v technických komorách situovaných v křižovatkách ulic, poklopy na prostupech pro čištění kanalizace tlakovou vodou a vzduchotechnickými výstěmi ve formě plakátovacích sloupů či kamenných lavic. Statutární město Brno má zpracován systém sekundárních kolektorů v historickém jádru města. Předpokládá se uložení kabelů do kolektoru doposud uložených v zemi po uplynutí jejich životnosti a veškeré nově zřizovaných kabelových rozvodů v historické části města Brna [10].

3 ZÁSADY PRO ROZVOJ A VÝSTAVBU SYSTÉMU VN VE MĚSTECH

3.1 Typy vedení používané v městských sítích

Na Obr. 3-1 jsou znázorněny jednotlivé typy elektrického vedení VN, které jsou charakteristické pro městský rozvod. Tato vedení můžeme rozdělit na [19]:

- a) napájecí vedení
 - z transformovny 110/22 kV do spínací stanice
 - záložní z transformátoru 110/22 kV do sousedního transformátoru 110/22 kV
 - pro velkoodběratele
- b) distribuční
 - okružní, vycházející z transformátoru 110/22 kV
 - okružní, vycházející ze spínací stanice 22 kV
 - zaústěná mezi dvě spínací stanice 22 kV



Obr. 3-1 Typy vedení používaných v městských sítích VN [19]

3.2 Obecné zásady pro návrh sítí VN

Sítě VN jsou zásadně navrhovány jako co nejjednodušší a nejpřehlednější s minimem redundantních propojení. Tato zásada je uplatňována s cílem [2]:

- 1) přehlednosti pro řízení provozu a lokalizaci poruch,
- 2) úspory investičních nákladů.

Obecným trendem při výstavbě a obnově sítí vysokého napětí ve městech a pozemcích přilehlých k zastavěným oblastem je příklon ke kabelovým sítím. Tento trend je podporován s ohledem na:

- 1) zvýšení spolehlivosti provozu sítí, tj. snížení poruchových i plánovaných přerušení dodávky,
- 2) respektování ustanovení stavebního zákona a jeho prováděcích vyhlášek o řešení sítí v zastavěném území,
- 3) snížení provozních nákladů - zde je nutné zvažovat vždy varianty tak, aby byly zvýšené investiční náklady na kabelové sítě vyváženy odpovídající úsporou provozních nákladů.

Tento trend (příklon ke kabelovým sítím) nelze v současné době chápat jako upuštění od výstavby nových venkovních sítí, ani jako signál k plošné kabelizaci stávajících venkovních sítí.

Z hlediska obecných zásad pro zajištění dodávky je síť VN navrhována tak, aby jen manipulacemi na stávajícím zařízení bylo možno v plném rozsahu obnovit dodávku při poruchovém výpadku i v případě maximálního zatížení:

- jednoho transformátoru v napájecí transformovně,
- jednoho vývodu z transformovny nebo spínací stanice,
- uvolnění jedné přípojnice (části přípojnice) VN v transformovně nebo spínací stanici.

V případě, že do uzlové oblasti je vyveden výkon zdrojů, jejichž provoz není trvalý např. z tepláren, alternativních zdrojů - fotovoltaických výroben (FVE), větrných elektráren apod., tak pro náhradní napájení, není tento výkon započítáván a je zohledněn požadavkem na zajištění vlastní spotřeby teplárny nebo výroby.

Dále tak, aby pro plánované práce bylo v době nižšího zatížení možné krátkodobě uvolnit:

- dva transformáty v transformovně,
- celou rozvodnu/spínací stanici 22 kV (v krajním případě za použití provizorních propojení transformátorů a vypraných vývodů),
- oba potahy dvojnásobného vedení VN,
- jeden přímý kabel mezi napájecí rozvodnou a spínací stanicí.

Pokud jsou v transformovně osazeny 3 a více transformátorů, tak se úplné uvolnění neuvažuje.

Transformátory jsou zpravidla budovány v první fázi pouze s jedním transformátorem 25 MVA. K instalaci druhého transformátoru je přistupováno na základě nárůstu zatížení v souladu s platnou *Koncepcí rozvoje distribuční soustavy VVN* s přihlédnutím k možnosti náhradního napájení po síti 22kV při výpadku transformátoru.

Obecně je přípustné považovat jediný transformátor v transformovně za konečný stav. Pak je toto ale třeba vždy zohledňovat při návrhu dalšího rozvoje sítě 22 kV. Ve firmě E.ON - oblast Východ (dříve JME) bývají v rozvodnách 110/22 kV obvykle instalovány dva transformátory VVN/VN.

Druhy stanic a úsekových spínačů v sítích VN

V sítích VN jsou používány následující kategorie stanic [2]:

- Transformovny 110/22 kV - Jsou vždy vybaveny vypínači, ochranami a dálkovým přenosem informací a ovládáním. U distribučních transformoven (110/22 kV) se předpokládá v cílovém stavu použití max. dvou transformátorů o výkonu max. 40 MVA. Ve výjimečných případech může být osazena třetím transformátorem.
- Spínací stanice VN (vstupní rozvodny) - Vývodová pole jsou vybaveny vypínači a ochranami, v případě venkovních linek je použita automatika OZ.
- Rozpadové body - jedná se o trafostanici VN/NN nebo spínací stanici VN v kabelových sítích velkých měst, kde přívodní pole 22 kV jsou vybavena vypínači a ochranami. Stanice vždy musí být vybavena signalizací stavu vypínače o působení ochrany na dispečink. Tyto rozpadové body jsou zřizovány pouze v zdůvodněných případech v rozsáhlých sítích městských aglomerací tak, aby byly omezeny dopady poruchových vypínání na zákazníky.
- Dálkově ovládané trafostanice VN/NN - jedná se o trafostanici v kabelových sítích měst, kde jsou přívodní pole vybavena odpínači s motorovým pohonem s možností dálkového ovládání z dispečinku. Stanice jsou zpravidla vybaveny indikátory průchodu zkratového proudu.
- Trafostanice VN/NN (distribuční nebo velkoodběratelské) - v kabelových sítích jsou přívodní pole vybavena odpínači, pole distribučních transformátorů vybavena odpínači s pojistkami, vše s ručním pohonem. Ve venkovní síti sloupová nebo kiosková trafostanice s jedním kabelovým přívodem. Před trafostanicí ve venkovní síti je vždy vřazen úsekový odpínač.

Ve venkovních sítích VN jsou používány následující typy úsekových spínačů (úsečníků):

- Úsekový odpínač se zhášecími komorami - používají se v kmenových linkách, významných propojkách a na začátku rozsáhlých odboček.
- Úsekový odpínač růžkový nebo pružinový - používá se na méně exponovaných místech v odbočkách a na přechodech krátkých kabelů.
- Úsekový odpínač před trafostanicí - typicky málo proudově nadimenzovaný růžkový úsekový odpínač.

Prvky pro automatizaci provozu venkovních sítí

- Úsekový vypínač (recloser) – dálkově ovládaný vypínač s místní řídicí automatikou.
- Inteligentní úsekový odpínač – dálkově ovládaný odpínač s místní řídicí automatikou.

3.2.1 Transformovny VVN/VN a spínací stanice VN

Rozvodny 22 kV napájecích transformoven VVN/VN jsou přednostně provedeny s jednoduchým systémem přípojnic s podélným dělením, s vypínačem v podélném dělení.

Dvojitý systém přípojnic je používán pouze v případě:

- Městských sítí, kde se předpokládá provoz jednoho transformátoru s tlumivkou a jednoho s odporem v uzlu.
- Velkých průmyslových zón, kde je to nutné z hlediska potřeby operativní změny rozložení odběru mezi transformátory.
- V případě, že je v transformovně využíváno vyhřívání vedení a je tedy nutné jeden transformátor pro toto vyhřívání vyčlenit.
- Vyvedení výkonů z velkých zdrojů.

Rozvodny 22 kV spínacích stanic jsou v případě menšího zatížení a jednoho směru trvalého napájení zpravidla provedeny jako jednopřípojnicové bez podélného dělení. V případě vyššího zatížení a dvou a více směrů trvale využívaného napájení je možné použít dvojitý systém přípojnic tak, aby bylo možné rozdělit zatížení napájecích vedení dle potřeby a přenosových možností.

3.2.2 Způsob provozu uzlu transformátoru VVN/VN

Sítě 22 kV jsou provozovány jako nepřímo uzemněné, kdy uzel transformátoru na straně 22 kV je spojen se zemí přes tlumivku nebo přes odpor.

Transformovny je možné z hlediska provozu uzlu transformátoru rozdělit do tří kategorií:

- Transformovny vybavené pouze tlumivkami - nejběžnější uspořádání, nové tlumivky se používají o výkonu min. 2 500 kVAr. Tlumivka je přiřazena konkrétnímu transformátoru a je přímo spojena s uzlem transformátoru na straně 22 kV- napájení smíšené sítě s převahou volných vedení.
- Transformovny vybaveny tlumivkami a odporem - transformovny pro napájení velkých měst, kde je možné trvale vyčlenit úsek sítě (převážně kabelové) pro provoz s odporem. V transformovnách, kde je plánován provoz části sítě s odporem, je nutno rozvodnu 22 kV vybavit dvojitým systémem přípojnic tak, aby bylo možné operativně měnit přiřazení vývodů k transformátoru s tlumivkou nebo odporem. Pro zajištění spolehlivého provozu je vhodné, aby danou kabelovou sítí 22 kV bylo možné napájet ze dvou různých transformátorů s možností provozu s odporem (nejlépe ze dvou různých transformoven).
- Transformovny pouze s odporem - použití v centrech měst k napájení čistě kabelové sítě

3.2.3 Kabelové sítě

Úseky kabelových sítí můžeme v principu rozdělit na běžnou distribuční síť sloužící k napájení běžných distribučních a velkoodběratelských trafostanic a na přímé (páteřní) kabely, jejich použití je omezeno na městské aglomerace, kde slouží ke spolehlivému napájení spínacích stanic nebo k rychlému obnovení napájení při rozsáhlých výpadcích.

Kabelové sítě VN jsou navrhovány jako průběžné s napájením ze dvou stran nebo kruhové. Trafostanice v těchto sítích jsou připojovány zasmyčkováním průběžného kabelu (tj. 2 přívody). Každý napájecí kruh začíná odbočením od přípojnice napájecí transformovny a je ukončen buď:

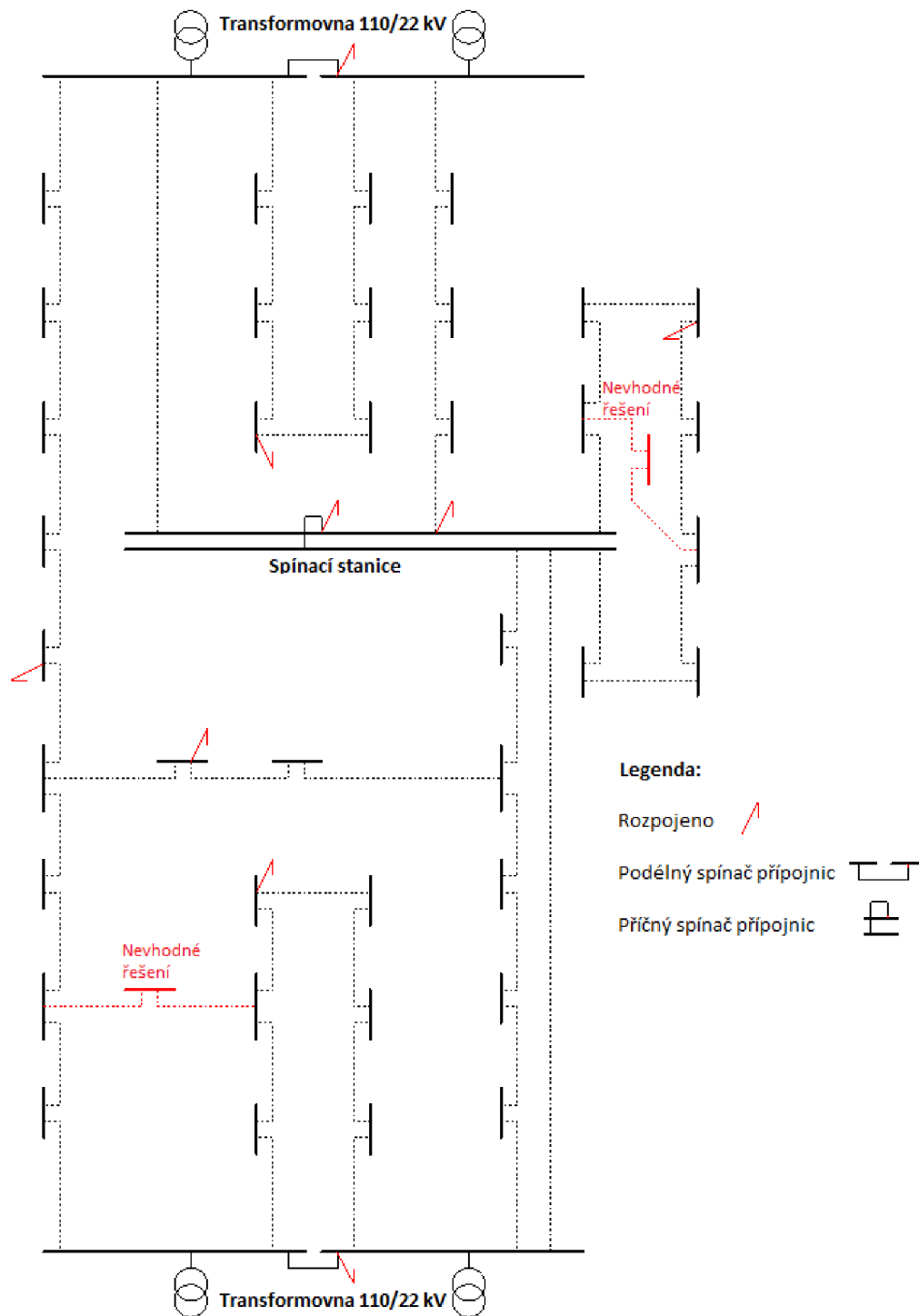
1. na jiné přípojnici téže napájené transformovny - (kruhové vedení VN),
2. ve spínací stanici,
3. na přípojnici jiné transformovny.

Tyto kabely VN (kruhy) jsou provozovány jako otevřené – tj. ve zvolené trafostanici je kabel (kruh) rozpojen, tj. jedná se o dva paprsky, které je možno propojit sepnutím spínače. Ve výhledovém stavu je navrhováno maximálně 20 stanic na jednom okruhu.

Propoje mezi dvěma okruhy jsou zřizovány pouze v případě, že to vyžaduje:

- Zajištění spolehlivosti dodávky,
- konfigurace sítě v daném místě – úsek sítě s více trafostanicemi by nebylo možné (efektivně zpruhovat na přípojnici v rozvodně,
- minimalizace nároků na dimenzování tlumivek

Názorně jsou varianty řešení kabelové VN sítě uvedeny na Obr. 3-2. S používáním „T – odboček“ v úseku mezi dvěma stanicemi se v kabelové VN síti nepočítá.



Obr. 3-2 Varianty řešení kabelové VN sítě [2]

Používané průřezy kabelů

V sítích 22 kV se volí průřez kabelů dle následujících kritérií:

- předpokládané zatížení při n-1 provozu,
- požadovaná zkratová odolnost – uvažuje se o napájecím transformátoru 110/22 kV o výkonu 40 MVA a všechny významné zdroje pracující v dané oblasti do sítě 22 kV a maximální

hodnotu příspěvku ze sítě 110 kV. O Trvalém paralelním chodu transformátorů 110/22 kV se neuvažuje.

Standardně se využívá průřez 150 mm², který v běžných podmínkách vyhoví jak z hlediska zkratové odolnosti, tak z hlediska přenosových schopností.

Průřez 240 mm² se používá pouze ve zdůvodněných případech (vývody z transformoven, přímé (páteřní) kabely nebo případy, kdy se výpočtem prokáže, že průřez nevyhoví z hlediska přenosových nebo zkratových).

Tab. 3-1 Používané průřezy kabelů NA2XS(F)2Y [2]

| Hodnoty pro kabely A2XS(F)2Y | Zatížení svazkových kabelů v zemi (nejméně příznivý stav) | Ekvivalentní zkratový proud |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|
| 1 x 150/25 | 319 A | 14,1 kA |
| 1 x 240/25 | 417 A | 22,6 kA |

3.2.4 Venkovní síť

Za venkovní síť jsou považovány síť provedené převážně jako nadzemní vedení:

- s holými vodiči,
- s izolovanými vodiči,
- se závěsnými kabely.

Za venkovní síť považujeme i takové síť, kde se vyskytují kabelové úseky, ale převažující částí a zejména kmenová vedení jsou provedena jako nadzemní.

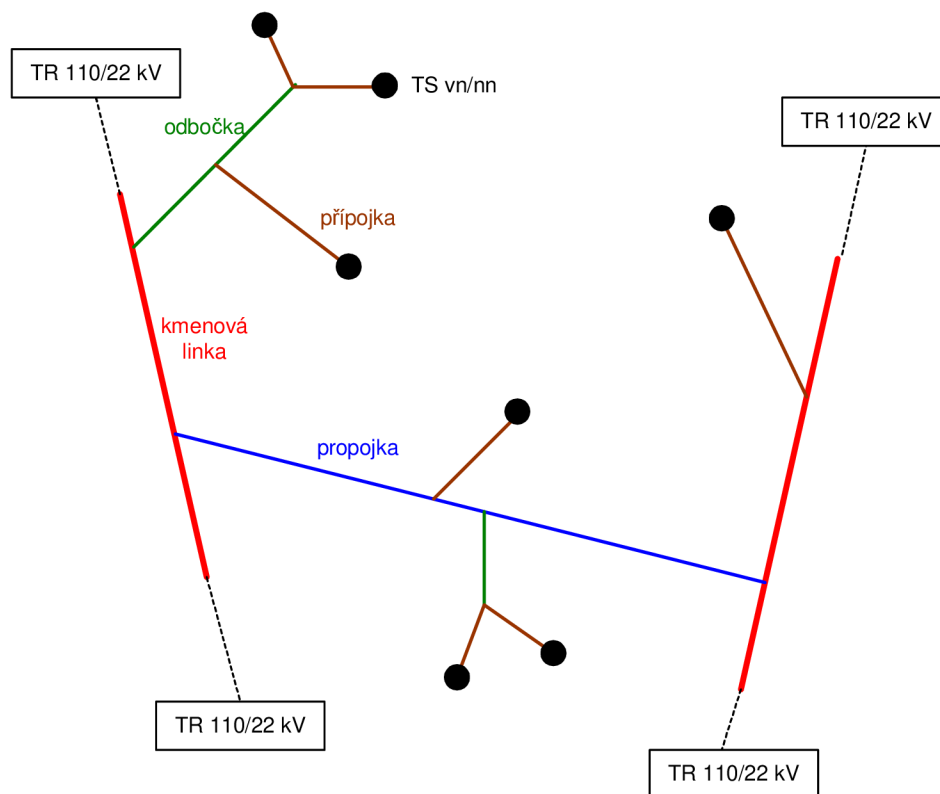
Venkovní síť jsou navrhovány a provozovány jako paprskové, kmenové linky je vždy možné napájet z (minimálně) dvou různých směrů.

Standardně jsou venkovní síť budovány s holými vodiči. Izolované vodiče jsou používány tam, kde je potřeba dosáhnout zúžení ochranného pásma, zejména s ohledem na okolní porost.

Závěsné kabely se používají pouze ve výjimečných případech, zpravidla jako náhradní nebo provizorní řešení v případech, kdy není možné uložit kabel do země (např. zahuštění trafostanice v obci).

Úseky vedení ve venkovních sítí dělíme na:

- kmenové linky,
- propojky,
- odbočky,
- přípojky k trafostanicím.



Obr. 3-3 Úseky vedení ve venkovních sítích [2]

Používané průřezy:

- kmenové linky - 110 AlFe, 120 SAX-W / ADX-K
- propojky - 70 AlFe, 120 nebo 70 SAX-W / ADX-K
- odbočky, přípojky k trafostanicím - 42 AlFe, 35 SAX-W / ADX-K (kde je nutné z hlediska zkratové odolnosti tak 70 AlFe či 70 SAX-W / ADX-K).

3.3 Možnosti zvýšení spolehlivosti dodávky elektrické energie

Spolehlivost dodávky elektrické energie můžeme zvýšit buď kvalitativním řízením sítě (dálkové ovládání ovladačů z dispečinku, signalizace poruchy na dispečink) a nebo technickým opatřením (instalací snímačů průchodu zkratového proudu).

3.3.1 Snímače průchodu zkratového proudu

Signalizace v transformačních stanicích pomocí snímače zkratového proudu (IZP) registrují průchod zkratového proudu fázovým vodičem čímž usnadňuje a urychluje identifikaci přerušného úseku vedení včetně fáze.

U Signalizace pomocí vysílače krátkého dosahu lze kontrolu provést například z jedoucího auta, čímž se podstatně sníží doba vyhledávání poruchy.

U Dálková signalizace na dispečink zná dispečer okamžitě místo poruchy bez jakékoliv časové prodlevy.

3.3.2 Dálkové ovládání a signalizace

Před použitím dálkového ovládání je nutné technickoekonomické posouzení. Nasazení dálkového ovládání je vhodné především tam, kde by odběratelé mohli po distribuční společnosti požadovat vysokou platbu za nedodanou elektrickou energii.

V současné době se používají tři způsoby přenosu signálu: prostřednictvím radiové sítě nebo pomocí sdělovací kabelové sítě. Poslední a zároveň nejvíce perspektivní variant pro budoucnost je přenos signálu přes vysokofrekvenční vazební modemy na stínění VN kabelů [17].

3.3.3 Dálkově ovládané vypínače

Při vhodném použití výrazně zkrátí dobu výpadku dodávky elektrické energie.

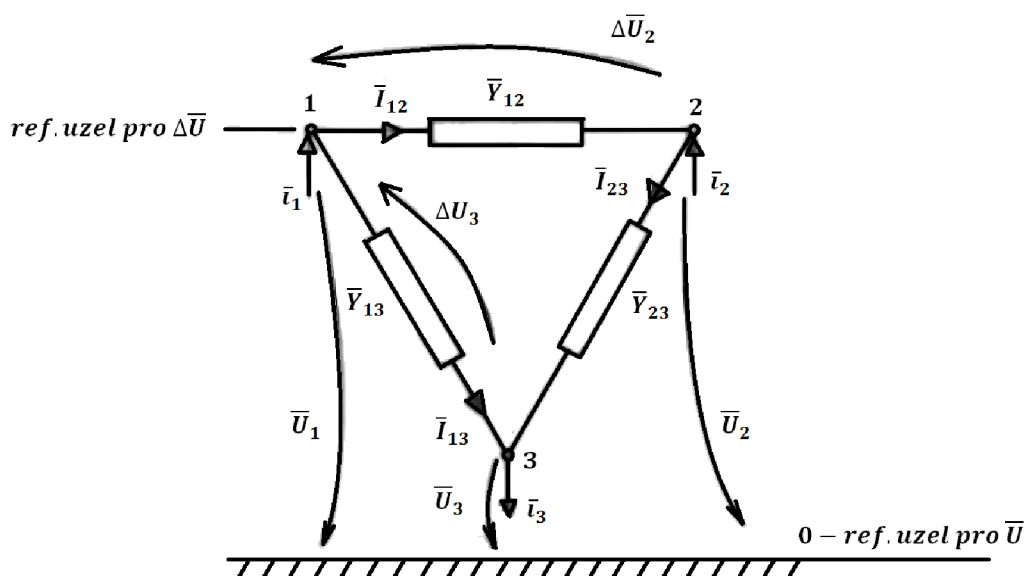
4 ZPŮSOBY VÝPOČTU SÍTÍ NN A VN V USTÁLENÉM STAVU

Ustáleným stavem rozumíme, takové provozní stavy, při kterých na zařízení neprobíhají krátkodobé přechodné děje související s poruchami, jejichž příčinou mohou být zkraty, údery blesku do vedení nebo do jejich blízkosti, připojování nebo odpojování vedení, zdrojů, kompenzačních prostředků (tlumivky a kondenzátory), přepínání odboček za provozu apod. Ve skutečnosti ustálený stav, měřeno časovou změnou U a I v elektrizační soustavě nenastane nikdy, příčinou je neustále se měnící zatížení spotřebičů a zdrojů připojených v soustavě. Tyto změny bývají obvykle malé, proto je při výpočtu zanedbáváme. Obvykle nás zajímají rozdělení napětí a proudu v sítích v mezních podmínkách ustáleného stavu tj. v ročním maximu a minimu. Výpočet napětí a proudu u všech prvků dané sítě v mezních stavech je základním výpočtem, který umožňuje kontrolu správnosti chodu nebo návrhu sítě.

Způsob výpočtu, rozdělení napětí a proudu, případně ztrát výkonu se liší podle jmenovitého napětí sítě. Ustálený chod do jmenovitého napětí 35 kV obvykle řešíme s těmito zjednodušujícími předpoklady [1]:

1. Neuvažuje se příčná admitance.
2. Parametry vedení transformátoru a ostatních prvků jsou konstanty nezávislé na napětí a proudech.
3. Napětí zdrojů a proudy odběrů jsou harmonickými funkcemi času s frekvencí 50Hz.
4. U trojfázových soustav předpokládáme symetrii prvků v parametrech a u odběrů a zdrojů napětí U a proudů I .
5. odběry jsou zadány pomocí proudů nezávislých na napětí, které je na jejich svorkách.

4.1 Obecná metoda řešení uzlových sítí



Obr. 4-1 Metoda uzlových napětí [1]

Řešením sítě rozumíme stanovení proudů ve všech úsecích a prvcích sítě, napětí v uzlech a ztrát výkonu ΔP v ustáleném provozním stavu. Z výše uvedených předpokladů jsou k výpočtu použitelné všechny metody řešení lineárních obvodů, tj. metoda smyčkových proudů, metoda uzlových napětí, superpozice, Théveninova věta a transfigurace. Vhodnost použití těchto metod se posuzuje podle počtu neznámých, které je v daném obvodu třeba vyčíslit a podle zadání zdrojů a spotřebičů.

Podrobnou analýzou náhradních schémat rozvodných soustav lze prokázat, výhodnost metody uzlových napětí, protože [1]:

- Kostra schématu sítě má téměř vždy více paralelních větví, než je počet nezávislých smyček. Uzlových napětí je proto méně než smyčkových proudů, z toho plyne méně neznámých.
- Zdroje jsou častěji zadávány jako ideální zdroje proudu a odběry pomocí napětí nezávislých proudů nebo výkonů, což je pro metodu uzlových napětí vhodné.
- Případné křížení větví schématu nekomplikuje u této metody jeho popis.

Vzhledem ke zmíněnému zadání odběrů a zdrojů a k zanedbání příčných admitancí všech prvků sítě nelze použít metodu uzlových napětí bez úprav. Úprava spočívá v nahrazení neznámých uzlových napětí fázory úbytku napětí v uzlech.

Proudy v podélných admitancích \bar{Y}_{ij} vyjádříme pomocí uzlových napětí.

$$\bar{I}_{ij} = (\bar{U}_i - \bar{U}_j)\bar{Y}_{ij}. \quad (4.1)$$

Podle I. Kirchhoffova zákona proud v uzlu 1 je

$$\bar{i}_1 = (\bar{U}_1 - \bar{U}_2)\bar{Y}_{12} - (\bar{U}_1 - \bar{U}_3)\bar{Y}_{13} = \bar{U}_1(\bar{Y}_{12} + \bar{Y}_{13}) - \bar{U}_2\bar{Y}_{12} - \bar{U}_3\bar{Y}_{13}. \quad (4.2)$$

Tímto způsobem vyjádříme i zbývající dva proudy \bar{i}_2 a \bar{i}_3

$$\begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_2 \\ -\bar{i}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & -\bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} \\ -\bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{22} & -\bar{Y}_{23} \\ -\bar{Y}_{31} & -\bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \\ \bar{U}_3 \end{bmatrix}, \quad (4.3)$$

Pro síť s n uzly obdržíme soustavu n lineárních komplexních rovnic, ve které jsou neznámé veličiny uzlová napětí.

$$[i] = [Y] \cdot [U] \quad (4.4)$$

kde $[i]$ - je vektor uzlových proudů. Jeho prvky jsou kladné u zdrojů a záporné u odběrů.

$[U]$ - vektor neznámých uzlových napětí

$[Y]$ - admitanční uzlová matice

Admitanční uzlová matice má tyto vlastnosti:

- je souměrná podle hlavní diagonály, platí:

$$\bar{Y}_{ij} = \bar{Y}_{ji} \text{ pro } i \neq j \quad (4.5)$$

- prvky hlavní diagonály Y_{ii} jsou kladné a jsou to součty admitancí všech větví, které vychází z i -tého uzlu a platí

$$\bar{Y}_{ii} = \sum_{k=1}^m \bar{Y}_{ik} \quad (4.6)$$

kde m je počet větví, které jsou spojeny v i -tém uzlu.

- Mimo diagonální prvky \bar{Y}_{ij} jsou záporně uvažované admitance větví spojujících v náhradním schématu uzly i a j .

- Protože náhradní schéma neobsahuje ani jedno vodivé spojení, platí pro každý řádek nebo sloupec matice $[\bar{Y}]$

$$\bar{Y}_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n \bar{Y}_{ij} = 0 \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.7)$$

tj. součet prvků v každém řádku nebo sloupci je 0. Matice je tedy singulární - její determinant je roven 0 a soustava rovnic (4.4) nemá řešení pro neznámá uzlová napětí U .

Abychom odstranili tuto vlastnost soustavy rovnic, vyjádříme uzlová napětí pomocí fázorů úbytků napětí měřených k jednomu z uzlů sítě (např. k uzlu 1) a napětí tohoto uzlu (referenčního uzlu fázorů úbytků napětí).

$$\bar{U}_i = \bar{U}_1 + \Delta\bar{U}_i \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n; \quad \Delta\bar{U}_1 = 0. \quad (4.8)$$

Dosazením rovnice (4.8) do rovnice (4.2) dostaneme

$$\begin{aligned} \bar{i}_1 &= (\bar{U}_1 + \Delta\bar{U}_1)\bar{Y}_{11} - (\bar{U}_1 + \Delta\bar{U}_2)\bar{Y}_{12} - (\bar{U}_1 + \Delta\bar{U}_3)\bar{Y}_{13} = \bar{U}_1 \underbrace{(\bar{Y}_{11} - \bar{Y}_{12} - \bar{Y}_{13})}_{=0} + \Delta\bar{U}_1\bar{Y}_{11} - \\ &\Delta\bar{U}_2\bar{Y}_{12} - \Delta\bar{U}_3\bar{Y}_{13} = -\Delta\bar{U}_2\bar{Y}_{12} - \Delta\bar{U}_3\bar{Y}_{13} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Po této substituci bude mít soustava rovnic (4.4) tvar

$$[\bar{i}] = [\bar{Y}] \cdot [\Delta\bar{U}]. \quad (4.10)$$

Protože úbytek napětí v referenčním uzlu pro fázory úbytků napětí je roven nule, sníží se počet neznámých $[\Delta\bar{U}]$ v soustavě rovnic (4.10) o jednu. Soustavu rovnic pro náhradní schéma (4.10) se třemi uzly lze přepsat na tvar

$$\begin{bmatrix} \bar{i}_2 \\ -\bar{i}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{22} & -\bar{Y}_{23} \\ -\bar{Y}_{23} & \bar{Y}_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\bar{U}_2 \\ \Delta\bar{U}_3 \end{bmatrix}, \quad (4.11)$$

V případě sítě s n uzly, ve které byl jeden uzel zvolen za referenční uzel pro fázory úbytků napětí, řeší se neznámé fázory úbytků napětí ze soustavy $n-1$ rovnic

$$[\bar{i}] = [\bar{Y}]' \cdot [\Delta\bar{U}]. \quad (4.12)$$

Matice admitancí $[\bar{Y}]'$ má oproti matici $[\bar{Y}]$ nenulový determinant, protože součet prvků této matice alespoň v jednom řádku a sloupci není nulový. Ze soustavy rovnic (4.12) lze vypočítat úbytky napětí

$$[\Delta\bar{U}] = [\bar{Y}]'^{-1} \cdot [\bar{i}] \quad (4.13)$$

a v případě známého referenčního napětí uzlu \bar{U}_1 lze určit fázory zbylých uzlových napětí pomocí rovnice (4.8). Proudové rozdělení v elektrické síti pak stanovíme podle rovnice (4.1) [4].

4.2 Návrh průřezu uzlové sítě podle dovolených úbytků napětí

Navrhnout průřez tak, aby nebyla překročena určitá hodnota úbytku napětí v libovolném uzlu, lze pouze v případě, že dovedeme nezávisle na průřezu stanovit proudy v úsecích. Zavedeme předpoklady, že podélné impedance úseků vedení na jednotku délky budou stejné $\bar{Z}_k = R_k + jX_k = konst. [\Omega/km]$. Potom můžeme uzlové proudy vyjádřit rovnicemi.

$$\begin{bmatrix} \bar{l}_1 \\ \vdots \\ \bar{l}_n \end{bmatrix} = \bar{y}_k \begin{bmatrix} \frac{1}{l_{11}} & \dots & -\frac{1}{l_{11}} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{1}{l_{1n}} & \dots & -\frac{1}{l_{1n}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \bar{U}_1 \\ \vdots \\ \Delta \bar{U}_n \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

Zkráceně lze soustavu rovnic (4.14) psát

$$[\bar{l}] = \bar{y}_k \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ l \end{bmatrix} \cdot [\Delta \bar{U}] \quad (4.15)$$

Z těchto rovnic si můžeme vyjádřit úbytek napětí

$$[\Delta \bar{U}] = \bar{z}_k \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ l \end{bmatrix}^{-1} \cdot [\bar{l}] = \bar{z}_k \cdot [L] \cdot [\bar{l}], \quad (4.16)$$

kde $\begin{bmatrix} 1 \\ l \end{bmatrix}^{-1} = L$ je inverzní matice k $\begin{bmatrix} 1 \\ l \end{bmatrix}$.

Pro fázor úbytku napětí v *i* tém uzlu platí

$$\Delta \bar{U}_i = z_k \sum_{p=1}^n L_{ip} \cdot \bar{i}_p = (r_k + jx_k) \sum_{p=1}^n L_{ip} (i_{\check{c}p} - j i_{j p}) \quad (4.17)$$

Protože u vedení vn a nn se úbytek napětí uvažuje zjednodušeně, pouze reálná část fázoru $\Delta \bar{U}$ platí.

$$\Delta \bar{U}_i \cong r_k \sum_{p=1}^n L_{ip} \cdot i_{\check{c}p} + x_k \sum_{p=1}^n L_{ip} \cdot i_{j p} = \Delta U_{1i} + \Delta U_{2i} \quad (4.18)$$

Prvky matice $\begin{bmatrix} 1 \\ l \end{bmatrix}$ se sestaví podle schématu sítě. Po její inverzi lze stanovit složku úbytku napětí od jalového proudu $\Delta \bar{U}_{ji}$ pro všechny uzly sítě

$$\Delta U_{2i} = r_k \sum_{p=1}^n L_{ip} \cdot i_{j p}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.19)$$

kde x_k – je odhadnutá hodnota podélné reaktance. Složka úbytku od činného proudu může být nejvýše

$$\Delta U_{1i} = \Delta \bar{U}_d + \Delta U_{2i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.20)$$

kde $\Delta \bar{U}_d$ - je dovolená hodnota úbytku napětí.

Vyjádříme-li v (4.19) odpor r_k ve složce úbytku od činného proudu pomocí průřezu

$$\Delta U_{1i} = \frac{\rho}{s_i} \sum_{p=1}^n L_{ip} \cdot i_{\check{c}p}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.21)$$

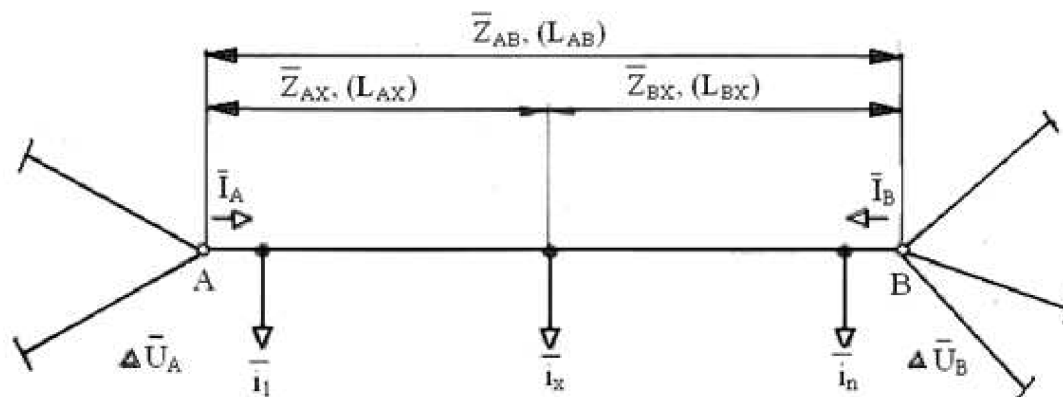
pak pro průřez platí:

$$s_i = \frac{\rho \sum_{p=1}^n L_{ip} i_{\check{c}p}}{\Delta U_d - x_k \sum_{p=1}^n L_{ip} i_{\check{c}p}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.22)$$

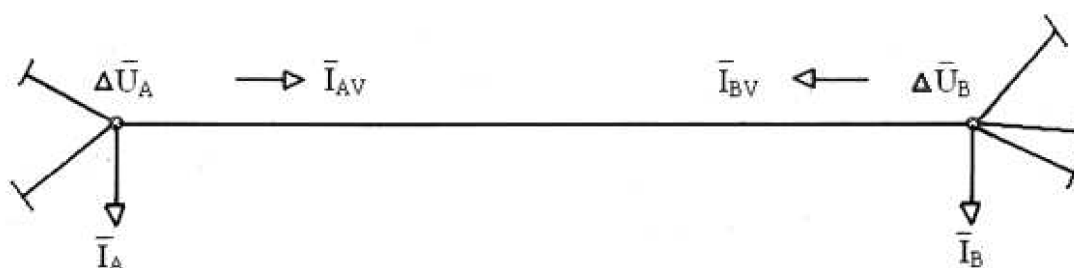
Navrheme-li průřez všech úseků stejný, a to největší z s_1, s_2, \dots, s_n , pak je zaručeno, že úbytek v síti nebude větší než ΔU_d .

4.3 Zmenšení počtu odběrů ve schématu sítě

Pro zjednodušení řešení je výhodné přemístění odběrů z vedení do uzlu, ve kterých tato vedení začínají a končí. Podmínkou přemístění je zachování úbytků napětí v uzlech, kde dochází k větvení.



Obr. 4-2 Zmenšení počtu odběrů na vedení – původní situace



Obr. 4-3 Zmenšení počtu odběrů na vedení – situace po redukci odběrů

Proud tekoucí z uzlu A do vedení A-B má dvě složky, a to vyrovnávací a k zásobování odběru. Stejně tak proud tekoucí z vedení do uzlu B.

$$\begin{aligned}\bar{I}_A &= \frac{\Delta\bar{U}_B - \Delta\bar{U}_A}{\bar{Z}_{AB}} + \frac{\sum_{x=1}^n \bar{i}_x \bar{Z}_{XB}}{\bar{Z}_{AB}} = \bar{I}_{VA} + \bar{I}'_A \\ \bar{I}_B &= \frac{\Delta\bar{U}_B - \Delta\bar{U}_A}{\bar{Z}_{AB}} + \frac{\sum_{x=1}^n \bar{i}_x \bar{Z}_{XA}}{\bar{Z}_{AB}} = \bar{I}_{VB} + \bar{I}'_B\end{aligned}\quad (4.23)$$

Aby se fázory úbytků napětí v uzlech A, B po redukci vedení od odběrů nezměnily, musí z nich vytékat do vedení tytéž proudy jako při uvažování odběrů. Uzly je proto třeba zatížit náhradními odběry, pro které platí:

$$\begin{aligned}\bar{I}'_A &= \frac{\sum_{x=1}^n \bar{i}_x \bar{Z}_{XB}}{\bar{Z}_{AB}}, \quad \bar{I}'_B = \frac{\sum_{x=1}^n \bar{i}_x \bar{Z}_{XA}}{\bar{Z}_{AB}} \\ \bar{I}'_A + \bar{I}'_B &= \sum_{x=1}^n \bar{i}_x\end{aligned}\quad (4.24)$$

V případě, že ve všech úsecích vedení je stejná impedance $\bar{Z}_k [\Omega/km]$, zjednoduší se vztahy na tvar

$$\bar{I}'_A = \frac{\sum_{x=1}^n \bar{i}_x L_{XB}}{L_{AB}}, \quad \bar{I}'_B = \frac{\sum_{x=1}^n \bar{i}_x L_{XA}}{L_{AB}}.\quad (4.25)$$

Síť s redukovaným počtem odběrů (uzlů) na místo rozvětvení sítě je ekvivalentní s původní sítí pouze ve fázorech úbytků napětí v místech větvení. Rozdělení proudů a fázorů úbytků napětí na větvích jsou rozdílné. Rozdílné jsou i ztráty výkonu ve zjednodušené a původní síti. Proto je nutné po výpočtu $\Delta\bar{U}, \bar{I}_V$ dopočítat konečné rozdělení proudů v původní síti a pak určit výsledné $\Delta\bar{U}$ a ΔP .

4.4 Iterační metody

Přesný výpočet nezávisle proměnných veličin chodu sítě je obtížný. Řeší se proto přibližně pomocí iteračních metod, kterých je několik. Jednotlivé metody se liší počtem operací nutných k dosažení téže přesnosti výsledku a dále veličinou, která je v průběhu výpočtu testována požadovanou přesností [4].

Zde se budeme zabývat Newtonovou iterační metodou, protože na této metodě je založen výpočet v programu PAS DAISY Off –Line v.4.00 Bizon.

4.4.1 Výpočet ustáleného chodu Newtonovou iterační metodou

Máme řešit soustavu nelineárních rovnic ve tvaru

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_1 \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_2 \\ &\vdots \\ f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) &= y_n \end{aligned} \quad (4.26)$$

Nejdříve provedeme odhad kořenů v nulté iteraci $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$. Odhady kořenů se liší od jejich přesné hodnoty o $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$. Přesná hodnota kořenů je tedy $x_1 = x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2 = x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n = x_n^{(0)} + \Delta x_n$.

Původní soustavu rovnic (4.26) můžeme přepsat do tvaru

$$\begin{aligned} f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_1 \\ f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_2 \\ &\vdots \\ f_n(x_1^{(0)} + \Delta x_1, x_2^{(0)} + \Delta x_2, \dots, x_n^{(0)} + \Delta x_n) &= y_n \end{aligned} \quad (4.27)$$

Každou rovnici soustavy (4.27) můžeme rozepsat na Taylorovu řadu funkce více proměnných v bodě $x_i^{(0)}$. Například první rovnici soustavy (4.27) můžeme přepsat na tvar

$$f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \Delta x_n = y_1, \quad (4.28)$$

kde $\left. \frac{\partial f_1}{\partial x_i} \right|_0$ je hodnota parciální derivace v bodě $x_i^{(0)}$ atd. a \emptyset_1 zahrnuje členy s vyššími mocninami $\Delta x_1, \dots, \Delta x_n$ a druhé a vyšší derivace funkce f_1 .

Jsou-li odhady kořenů blízké přesné hodnotě, jsou pak difference Δx_i malé a všechny členy s vyššími mocninami Δx_i můžeme zanedbat neboť $\emptyset_1 \rightarrow 0$.

Označíme-li výraz $f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) = y_1^{(0)}$, pak rovnici (4.28) můžeme přepsat na tvar

$$\left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \Delta x_n = y_1 - y_1^{(0)} = \Delta y_1^{(0)}, \quad (4.29)$$

kde $\Delta y_1^{(0)}$ je rozdíl zadané hodnoty pravé strany y_1 a hodnoty $y_1^{(0)}$ určené dosazením odhadu kořenů do rovnice (4.28).

Analogickým postupem můžeme upravit takto i zbývající rovnice soustavy (4.27), čímž obdržíme soustavu lineárních rovnic pro výpočet neznámých diferencí $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$.

Soustavu můžeme napsat v maticovém tvaru následovně

$$\begin{bmatrix} \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \right|_0 \\ \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \right|_0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_1} \right|_0 & \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_2} \right|_0 & \dots & \left. \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \right|_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta y_1^{(0)} \\ \Delta y_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta y_n^{(0)} \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

Tuto rovnici lze zkráceně přepsat na tvar

$$[J] \cdot [\Delta x] = [\Delta y], \quad (4.31)$$

kde $[J]$ je matice parciálních derivací často označovaná jako Jacobián. Ze soustavy rovnic (4.30) vypočítáme vektor hledaných diferencí $[\Delta x]$ a určíme nové, opravené odhady kořenů

$$x_i^{(1)} = x_i^{(0)} + \Delta x_i \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.32)$$

kteřé použijeme pro výpočet další iterace.

Iterační proces postupného zpřesňování kořenů soustavy rovnic (4.26) můžeme zapsat úpravou rovnic (4.31) a (4.32) do iteračního tvaru

$$\begin{aligned} [\Delta x^{(k)}] &= [J^{(k)}]^{-1} \cdot [\Delta y^{(k)}] \\ x_i^{(k+1)} &= x_i^{(k)} + \Delta x_i^{(k)} \end{aligned} \quad (4.33)$$

kde horní index k určuje k -tou iteraci.

Přitom předpokládáme, že existují spojité derivace $\frac{\partial f_i}{\partial x_j}$ pro $i, j = 1, 2, \dots, n$. Pak je zajištěna jednoznačnost řešení soustavy rovnic (4.30) a konvergence iteračního postupu, což bývá v praktických úlohách výpočtu ustáleného chodu sítí obvykle splněno.

Aplikujeme nyní tuto iterační metodu na rovnice (4.34) popisující ustálený chod sítě.

$$\bar{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^*} = \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j, \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (4.34)$$

Rovnici (4.26) přepíšeme do tvaru

$$P_i - jQ_i = \bar{U}_i^* \sum_{j=1}^n \bar{Y}_{ij} \cdot \bar{U}_j \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n. \quad (4.35)$$

Pravou stranu rovnice (4.35) rozepíšeme na reálnou a imaginární část. To můžeme provést buď ve složkovém, nebo polárním tvaru. Pro náš případ použijeme polární tvar.

$$\begin{aligned} \bar{U}_i &= U_i \angle \delta_i, \\ \bar{U}_i^* &= U_i \angle -\delta_i, \\ \bar{Y}_{ij} &= Y_{ij} \angle \alpha_{ij}. \end{aligned} \quad (4.36)$$

Dosazením polárního tvaru napětí a admitance do rovnice (4.35) dostáváme po úpravě s použitím vztahů pro $\cos(-x) = \cos(x)$ a $\sin(-x) = -\sin(x)$

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \sum_{j=1}^n U_i \cdot U_j \cdot Y_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \\ Q_i &= \sum_{j=1}^n U_i \cdot U_j \cdot Y_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \end{aligned} \right\} \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, n, \quad (4.37)$$

To je soustava $2(n-1)$ rovnic pro $(n-1)$ neznámých napětí a jejich úhlů. Ve všech uzlech máme zadané dodávané či odebírané činné a jalové výkony kromě bilančního uzlu, kde je zadáno napětí U a jeho úhel δ . Pro iterační výpočet diferencí ΔU_i a $\Delta \delta_i$ po dosažení rovnic (4.37) do soustavy (4.33) dostáváme soustavu

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial U_2}, & \frac{\partial P_2}{\partial U_3}, & \dots, & \frac{\partial P_2}{\partial U_n}, & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2}, & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3}, & \dots, & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial P_3}{\partial U_2}, & \frac{\partial P_3}{\partial U_3}, & \dots, & \frac{\partial P_3}{\partial U_n}, & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2}, & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3}, & \dots, & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial U_2}, & \frac{\partial P_n}{\partial U_3}, & \dots, & \frac{\partial P_n}{\partial U_n}, & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2}, & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_3}, & \dots, & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial U_2}, & \frac{\partial Q_2}{\partial U_3}, & \dots, & \frac{\partial Q_2}{\partial U_n}, & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2}, & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_3}, & \dots, & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_3}{\partial U_2}, & \frac{\partial Q_3}{\partial U_3}, & \dots, & \frac{\partial Q_3}{\partial U_n}, & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_2}, & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_3}, & \dots, & \frac{\partial Q_3}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial U_2}, & \frac{\partial Q_n}{\partial U_3}, & \dots, & \frac{\partial Q_n}{\partial U_n}, & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2}, & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_3}, & \dots, & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta U_2 \\ \Delta U_3 \\ \vdots \\ \Delta U_n \\ \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

Všimněme si, že ΔU_i v této rovnici neznamená úbytek napětí, ale diferencii odhadu uzlového napětí od přesné hodnoty kořenů rovnice (4.37). Soustavu rovnic (4.38) můžeme zkráceně zapsat pomocí matic rozdělením na pole ve tvaru

$$\begin{bmatrix} [\Delta P] \\ [\Delta Q] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left[\frac{\partial P}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \\ \left[\frac{\partial Q}{\partial U} \right] & \left[\frac{\partial Q}{\partial \delta} \right] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} [\Delta U] \\ [\Delta \delta] \end{bmatrix} \quad (4.39)$$

Vypočítáme prvky Jacobiánu v rovnici (4.38) derivováním rovnic (4.37) podle jednotlivých proměnných

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

- diagonální prvky

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_i} = 2 \cdot U_i \cdot Y_{ii} \cdot \cos \alpha_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n U_j \cdot Y_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.40)$$

- mimodiagonální prvky pro $i \neq j$

$$\frac{\partial P_i}{\partial U_j} = U_i \cdot Y_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.41)$$

b) výpočet prvků matice $\left[\frac{\partial P}{\partial \delta} \right]$

- diagonální prvky

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = - \sum_{j=1, j \neq i}^n U_i \cdot U_j \cdot Y_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.42)$$

- mimodiagonální prvky pro $i \neq j$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = U_i \cdot U_j \cdot Y_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.43)$$

c) výpočet prvků matice $\left[\frac{\partial Q}{\partial U}\right]$
 - diagonální prvky

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_i} = -2 \cdot U_i \cdot Y_{ii} \cdot \sin \alpha_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_j \cdot Y_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.44)$$

- mimodiagonální prvky pro $i \neq j$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial U_j} = U_i \cdot Y_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.45)$$

d) výpočet prvků matice $\left[\frac{\partial Q}{\partial \delta}\right]$

- diagonální prvky

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n U_i \cdot U_j \cdot Y_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.46)$$

- mimodiagonální prvky pro $i \neq j$

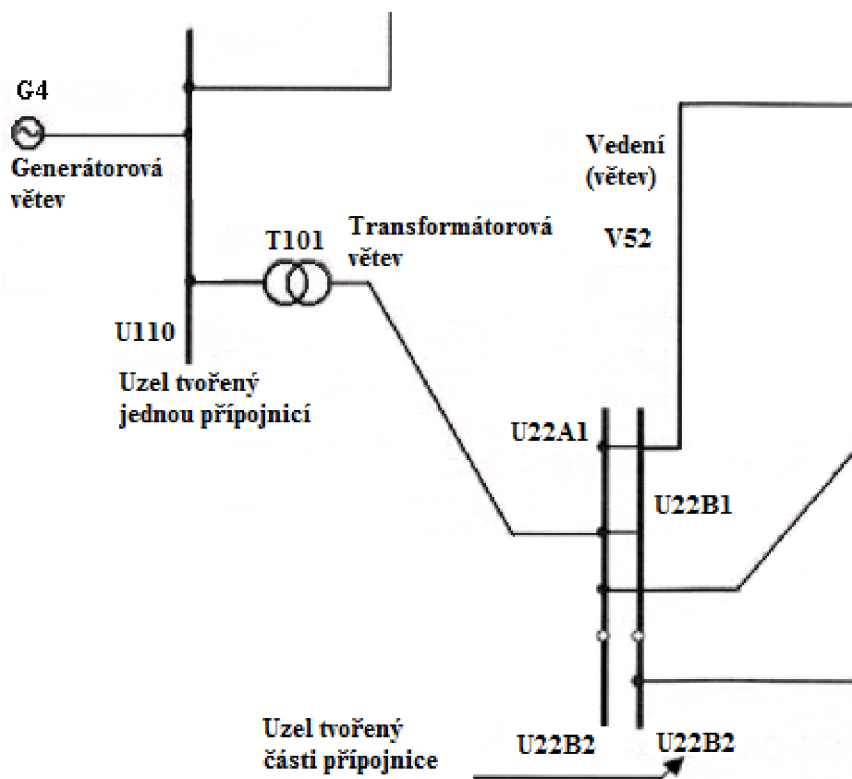
$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -U_i \cdot U_j \cdot Y_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j - \alpha_{ij}) \quad (4.47)$$

5 PROGRAM PAS DAISY OFF –LINE V.4.00 BIZON

Společnost E.ON a.s. používá uvedený program od firmy DAISY, s.r.o. pro řešení provozních stavů elektrické sítě (ustálený chod, zkraty a jiné). Rekonstrukci distribuční sítě města Brna budeme rovněž provádět ve zmiňovaném programu. Program lze spustit pod operačním systémem Microsoft Windows. Protože systém PAS Off - Line je víceuživatelský, každému definovanému uživateli je možné povolit různé funkce systému a oprávnění, proto je potřeba, aby každý uživatel byl přihlášen pod svým uživatelským jménem a heslem.

Program se může nacházet celkem ve dvou režimech činnosti. Základní režim, který je iniciován po startu, je režim „Výpočty“. V tomto režimu může uživatel provádět jednotlivé výpočty na již zadané studii. Nelze však provádět zásahy do obrázků a přidávat nebo rušit elektrické objekty. K modifikaci databáze a obrázků studie slouží druhý režim – „Editor“. Ten uživateli poskytuje sadu pomůcek pro úpravu studií.

Pro úspěšné provedení jednotlivých výpočtů elektroenergetických sítí je nezbytné v první řadě tuto síť převést do tzv. elektrického modelu. Rozumí se tím definice veškerých dat potřebných pro daný výpočet (parametry jednotlivých elektrických objektů, topologické a elektrické propojení apod.). Na Obr. 5-1 vidíme, že elektrický model je složen z uzlů a větví. Rozlišujeme uzly napájecí a odběrové. Zvláštním případem napájecího uzlu je vztažný uzel. Je to napájecí uzel, zvolený jako referenční uzel pro výpočet celé uzlové soustavy. Větev je základním objektem elektrické sítě, elektricky spojuje dva sousední uzly (např. vedení, kabel, transformátor) nebo uzel se zemí (injekce, např. generátor, kompenzátor, hraniční vedení, odběrové transformátory). Místo napájení větve na uzel je označováno jako vývod.



Obr. 5-1 Elektrický model sítě [14]

5.1 Výpočetní metody

5.1.1 Výpočet topologie

Topologie sítě je výpočetní metoda, která v síti vyhledává a označuje galvanické spojené souvislé části nebo ostrovy. Každé takové topologicky souvislé jinak nepřipojené části celé sítě říkáme topologická komponenta sítě nebo jen komponenta sítě. Barva komponentu je převzata z barvy zdroje, který komponentu napájí. Tento způsob barvení topologie lze využívat v sítích VN, kde jednotlivé oblasti jsou napájené transformátory VVN/VN. Pokud bychom nezapnuli Výpočet topologie zvlášť pro každou napěťovou hladinu, byla by celá síť barvena jednou barvou, a to barvou v síti VVN, což je nežádoucí. Při použití tohoto způsobu výpočtu topologie bude síť VVN barvena červeně a síť VN budou barveny dle svých napájecích transformátorů.

5.1.2 Výpočet ustáleného chodu sítě – LFOFF

Výpočet LFOFF je určen pro výpočet ustáleného chodu elektrické sítě. Jeho základním cílem je poskytnout provozním pracovníkům přehled o současném stavu sítě a nástroj umožňující ověřovat přípustnost plánovaných rozsahů do provozu sítě. Rovněž umožňuje porovnávat jednotlivé provozní varianty s ohledem např. na minimalizaci ztrát v síti nebo na napěťový profil atp.[14].

Výpočet probíhá modifikovanou metodou Newton-Raphson, iterační metodou, čímž je zaručena rychlá a spolehlivá konvergence výpočtu. V použité metodě není nutné provádět sestavení a triangularizace Jakobiánu v každé iteraci, čímž se urychluje výpočet. 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 [14].

5.1.3 Výpočet zkratových poměrů sítě – ZKOFF

Výpočet ZKOFF je určen pro výpočty zkratových poměrů v elektrických sítích. Jeho základním cílem je poskytnout provozním pracovníkům přehled o současném stavu sítě a nástroj umožňující ověřovat přípustnost plánovaných zásahu do provozu sítě. Rovněž umožňuje porovnávat jednotlivé provozní varianty s ohledem například na nastavení ochran atd. [14].

Výpočet probíhá metodou souměrných složek. Pro jednotlivé složkové soustavy se sestaví impedanční matice, které se triangularizují a připraví se transformační vektory pro zpětný chod. S pomocí těchto matic se pro každý požadovaný uzel sítě provede pouze zpětný chod a určí se složková napětí v soustavě a z nich zkratové poměry v požadovaném rozsahu sítě. Veškeré vytvářené matice jsou komplexní, to znamená, že se uvažují u všech síťových prvků reálné a imaginární složky vodivosti. Vždy je možné počítat kterýkoliv druh zkratu (třífázový, jednofázový, dvoufázový, nebo dvoufázový zemní zkrat) [14].

5.1.4 Výpočet zabezpečení chodu sítě – CNOFF

Výpočet CNOFF je určen pro kontrolní výpočty zabezpečení chodu elektrické sítě VVN/VN. Jeho základním cílem je poskytnout provozním pracovníkům přehled o současném stavu zajištění bezpečnosti chodu sítě a nástroj umožňující ověřovat přípustnost plánovaných zásahů do provozu sítě.

Základní metodou výpočtu je cyklické využití výpočtu ustáleného chodu sítě pro všechny kontrolované poruchy. Vzhledem k časové náročnosti tohoto postupu je v daném případě volen následující, poněkud zjednodušený postup.

Kontroly se provádí pouze pro výpadky vedení a transformátorů.

Za určující měřítko bezpečnosti chodu soustavy se bere součet činných odběrů odpadlých při poruše sledované větve (větvi se míní vedení nebo transformátor) [14].

5.1.5 Kontrolní výpočet nastavení pojistek – PJOFF

Výpočet PJOFF je určen pro kontrolní výpočty nastavení pojistek v elektrické síti NN. Jeho základním cílem je poskytnout pracovníkům přehled o stavu zajištění dodávek elektrické energie z hlediska nastavení pojistek a jističů v sítích NN.

Použité metody základního výpočtu jsou popsány v kapitolách „Výpočet zkratových poměrů sítě – ZKOFF“ a v kapitole „Výpočet ustáleného chodu sítě“ – LFOFF. Výpočet se spouští na začátku poruchy, poté po každém vypnutí pojistky, dokud neskončí odepnutím poruchového místa [14].

5.1.6 Dopočet kapacitních proudů – IKP

Dopočet kapacitních proudů se týká výhradně vedení a transformátorů. Dopočet vychází z jednotlivých odběrových transformátorů, k jejichž sekundárům nebo terciárům jsou připojeny části sítí s odběry [14].

6 CHARAKTERISTIKA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY MĚSTA BRNA

6.1 Zdroje elektrické energie

Město Brno má v současné době zabezpečenou dodávku elektrické energie systémem 110kV ze dvou napájecích transformačních stanic PS/110 kV TR Čebín a TR Sokolnice. V uzlu Čebín jsou instalovány 3 transformátory 400/110 kV o celkovém instalovaném výkonu 950 MVA a v uzlu Sokolnice jsou instalovány 4 transformátory, z nichž mají 3 transformátory PS/110kV s celkovým transformačním výkonem 750 MVA a jeden transformátor PS/220 kV s transformačním výkonem 400 MVA.

Tab. 6-1 Jmenovité výkony transformačních stanic

| Transformační stanice | Sokolnice | Čebín |
|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Jmenovitý výkon TR PS/110kV | 1x350 MVA 2x200MVA | 2x350 MVA 1x250 MVA |
| Jmenovitý výkon TR 400/220kV | 1x400 MVA | |
| Celkový instalovaný výkon | 1150 MVA | 950MVA |

Významnými zdroji elektrické energie města Brna jsou teplárny. Teplárna Červený mlýn s celkovým instalovaným elektrickým výkonem 94 MVA (dodávka cca 80 MW). Vyvedení elektrické energie do sítě E.ON Distribuce je realizována kabelovým vedením 110 kV do rozvodny R110kV Medlánky.

Mezi další zdroje elektrické energie patří teplárna Brno - Špitálka s celkovým instalovaným elektrickým výkonem 80 MVA (dodávka do sítě E.ON cca 40 MW).

K ostatním zdrojům na území města Brna náleží méně významné zdroje energetiky a průmyslových závodů, jejichž podíl nepřesahuje více jak 20 MW [13].

6.2 Napájecí síť 110kV

Napájecí síť 110kV je tvořena dvojitým okružním vedením 110 kV, které vychází z rozvodu 110 kV napájecích transformací PS/110 kV Čebín a Sokolnice. Soustava 110 kV je provozována ve dvou samostatně oddělených soustav.

Z rozvodny Čebín jsou v základním provozním stavu napájeny distribuční transformátory 110/22 kV Medlánky, Bohunice, Komárov, Lišeň a Husovice.

Rozvodna Sokolnice napájí průmyslové odběry Cementárna Maloměřice, Maloměřice výtopna, Zetor, KPO Modřice ČD a distribuční transformovnu Teplárna a Černovice.

Rozvodny 110 kV Lišeň, Husovice, Komárov a Příkop jsou napájeny dvojitým systémem přípojníc 110 kV, kde jedna přípojnice je napájena z uzlu Sokolnice a druhá z uzlu Čebín [13].

6.3 Transformovny 110/22kV

Distribuční transformovny jsou rozmístěny převážně v okrajových částech města Brna mimo transformaci Brno Teplárna (BTN) a Příkop (BNP). Toto rozmístění je výhodné především pro napájení sídlišť města a okolí. Nevýhodu to však má v napájení vnitřní části města Brna. Z okrajových transformoven 110/22 kV jsou napájeny spínací stanice 22 kV ve vnitřní části (např. Klusáčkova (BNS), Jílova (BNJ)). Zatížení těchto spínacích stanic přesahuje 20 MW, což z hlediska provozu sítě 22 kV představuje zvýšené nároky na krytí provozních nákladů a také snížení spolehlivosti dodávky elektrické energie.

K řešení tohoto stavu je plánováno posílení vnitřní části města vybudováním transformací 110/22 kV a s tím související rozšíření sítě 110 kV.

Napájení města Brna je v současné době provedeno z následujících transformačních stanic 110/22 kV: Medlánky (MEY), Bohunice (BOB), Komárov (KV), Lišen (LI), Husovice (HUV), Příkop (BNP), Hrušovany u Brna (HB), Černovice (BNC), Sokolnice (SO) a Teplárna (BNT). Zmiňované napájecí transformovny jsou řešeny dvojitým systémem přípojníc s podélným dělením mimo Teplárnu, která je řešena jako troj-přípojnicová s podélným dělením. Transformovny BNT, BOB a HUV jsou vybaveny navíc pomocnou přípojnící, která je schopná v případě poruchy převzít zatížení. Transformační stanice 110/22 kV Sokolnice (SO) a Hrušovany u Brna (HB) zásobují převážně okolní venkovské oblasti. Pouze v menší míře zásobují volná vedení, která napájejí jižní část města Brna.

V Tab. 6-2 jsou zobrazeny výsledky zimního měření proudového maxima na kmenových linkách.

Tab. 6-2 Naměřené hodnoty proudového maxima při soudobém zatížení

| Rok | BNT | BOB | HB | HUV | KV | LI | MEY | SO | BNP | BNC | Σ |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] | I [A] |
| 2001 | 1187 | 1218 | 107 | 947 | 744 | 354 | 776 | 569 | - | - | 5902 |
| 2002 | 2296 | 829 | 127 | 903 | 764 | 348 | 740 | 707 | - | - | 6714 |
| 2003 | 1624 | 1079 | 194 | 1124 | 668 | 372 | 759 | 642 | - | - | 6462 |
| 2004 | 1879 | 1123 | 209 | 904 | 602 | 407 | 893 | 734 | - | - | 6751 |
| 2005 | 1880 | 957 | 267 | 876 | 757 | 396 | 833 | 667 | - | - | 6633 |
| 2006 | 2071 | 929 | 164 | 928 | 786 | 425 | 910 | 717 | - | - | 6930 |
| 2007 | 2064 | 975 | 242 | 971 | 918 | 368 | 977 | 783 | - | 169 | 7470 |
| 2008 | 2177 | 1065 | 240 | 1005 | 977 | 392 | 1000 | 806 | - | 181 | 7840 |
| 2009 | 2094 | 1070 | 312 | 988 | 957 | 364 | 1012 | 757 | - | 181 | 7735 |
| 2010 | 2011 | 1123 | 162 | 1087 | 880 | 515 | 955 | 794 | - | 144 | 7671 |
| 2011 | 1435 | 1166 | 315 | 1007 | 1063 | 551 | 960 | 622 | 599 | 193 | 7911 |

Na základě naměřeného proudového maxima si můžeme vypočítat maximální odebíraný výkon u jednotlivých transformací. Při výpočtu předpokládáme, že účinník $\cos \varphi \approx 1$. Tato skutečnost je dána především tím, že síť města Brna tvoří převážně kabelová vedení. Napětí si zvolíme jednotně pro celou síť 22,9 kV.

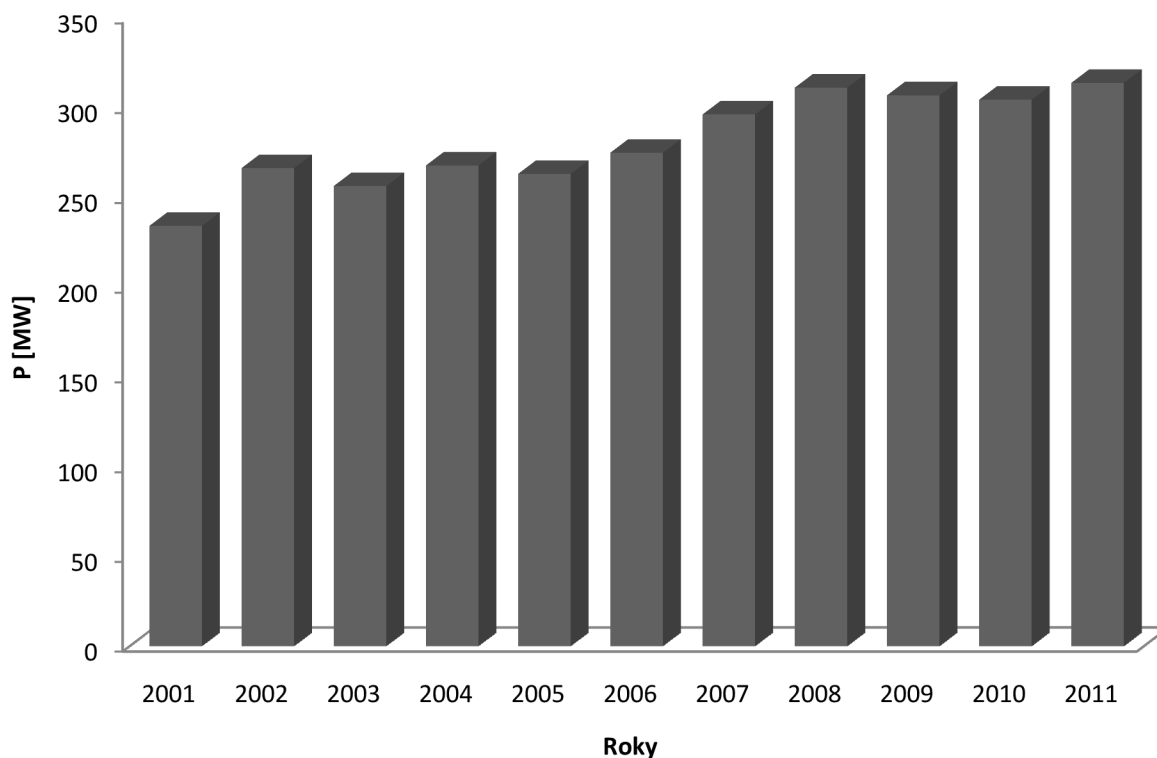
Tab. 6-3 Soudobé zatížení jednotlivých transformací

| Rok | BNT | BOB | HB | HUV | KV | LI | MEY | SO | BNP | BNC | Σ P [MW] |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| | P [MW] | P [MW] | P [MW] | P [MW] | P [MW] | P [MW] | P [MW] | P [MW] | P [MW] | P [MW] | |
| 2001 | 47,1 | 48,3 | 4,2 | 37,6 | 29,5 | 14,0 | 30,8 | 22,6 | - | - | 234,1 |
| 2002 | 91,1 | 32,9 | 5,0 | 35,8 | 30,3 | 13,8 | 29,4 | 28,0 | - | - | 266,3 |
| 2003 | 64,4 | 42,8 | 7,7 | 44,6 | 26,5 | 14,8 | 30,1 | 25,5 | - | - | 256,3 |
| 2004 | 74,5 | 44,5 | 8,3 | 35,9 | 23,9 | 16,1 | 35,4 | 29,1 | - | - | 267,8 |
| 2005 | 74,6 | 38,0 | 10,6 | 34,7 | 30,0 | 15,7 | 33,0 | 26,5 | - | - | 263,1 |
| 2006 | 82,1 | 36,8 | 6,5 | 36,8 | 31,2 | 16,9 | 36,1 | 28,4 | - | - | 274,9 |
| 2007 | 81,9 | 38,7 | 9,6 | 38,5 | 36,4 | 14,6 | 38,8 | 31,1 | - | 6,7 | 296,3 |
| 2008 | 86,3 | 42,2 | 9,5 | 39,9 | 38,8 | 15,5 | 39,7 | 32,0 | - | 7,2 | 311,0 |
| 2009 | 83,1 | 42,4 | 12,4 | 39,2 | 38,0 | 14,4 | 40,1 | 30,0 | - | 7,2 | 306,8 |
| 2010 | 79,8 | 44,5 | 6,4 | 43,1 | 34,9 | 20,4 | 37,9 | 31,5 | - | 5,7 | 304,3 |
| 2011 | 56,9 | 46,2 | 12,5 | 39,9 | 42,2 | 21,9 | 38,1 | 24,7 | 23,8 | 7,7 | 313,8 |

Příklad výpočtu pro první řádek v Tab. 6-3 Σ výkonů se počítá:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 22900 \cdot 5902 \cdot 1 = 234,1 \text{ MW}.$$

Na Obr. 6-1 je grafické zobrazení výsledků vývoje zatížení za období 2001 až 2011. Z obrázku je patrné, že vývoj zatížení se do roku 2008 zvyšoval, poté docházelo k poklesu, který byl způsoben zejména ekonomickou krizí, což pozdrželo plánované projekty. Nyní se dá očekávat návrat k odloženým projektům a nárůst zatížení v dalších letech.



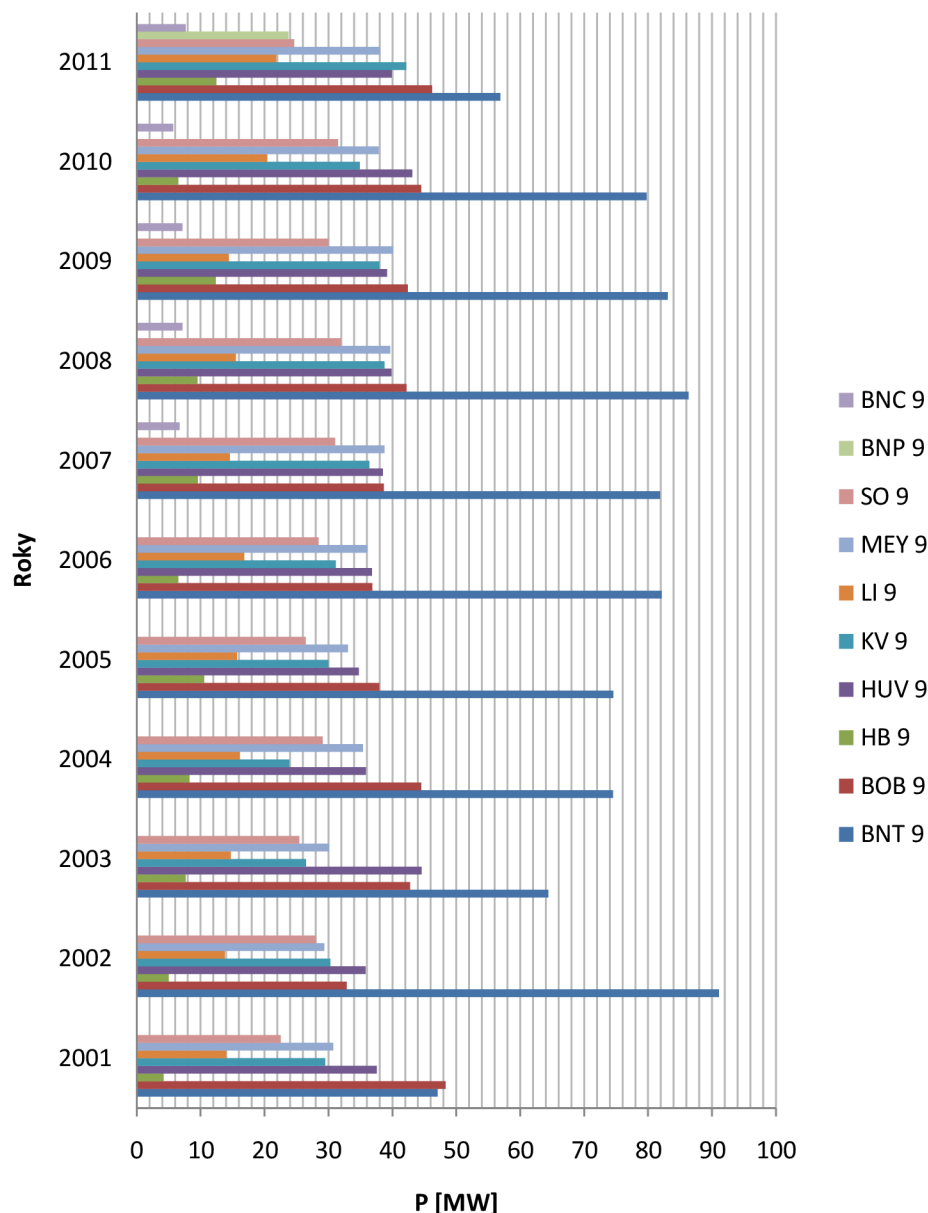
Obr. 6-1 Vývoj zatížení v období 2001 - 2011

Transformační stanice jsou převážně vybaveny dvěma transformátory, ve většině případů s instalovaným výkonem 40 MVA. V Tab. 6-4 můžeme vidět instalované výkony jednotlivých transformačních stanic a jejich uzemnění nulového bodu transformátoru. K uzemnění se používá buď zhášecí Petersonova tlumivka, u transformátorů, které napájí venkovní vedení s malým podílem kabelů VN (sít' smíšená), nebo uzlový odporník u transformátorů, které slouží k napájení kabelových vedení VN. Občas se také vyskytuje paralelní kombinace tlumivky a odporu sloužící k napájení smíšených sítí.

Tab. 6-4 Instalované výkony jednotlivých transformoven v roce 2011

| Název transformace | Trafo | Instalovaný výkon [MVA] | Uzemnění nulového bodu TR na straně VN |
|--------------------|-------|-------------------------|----------------------------------------|
| Medlánky (MEY) | T101 | 40 | Tlumivka |
| | T102 | 40 | Tlumivka |
| Bohunice (BOB) | T101 | 40 | Odporník |
| | T102 | 40 | Odporník |
| Komárov (KV) | T101 | 40 | Tlumivka |
| | T102 | 40 | Tlumivka |
| Lišeň (LI) | T101 | 25 | Tlumivka |
| | T102 | 40 | Tlumivka |
| Husovice (HUV) | T101 | 40 | Odporník |
| | T102 | 40 | Odporník / Tlumivka |
| Černovice (BNC) | T101 | 25 | Odporník |
| (HB 9) | T101 | 40 | Tlumivka |
| Sokolnice (SO 9) | T101 | 40 | Odporník / Tlumivka |
| | T102 | 25 | Odporník / Tlumivka |
| | T103 | 40 | Odporník / Tlumivka |
| Příkop (BNP 9) | T101 | 40 | Odporník |
| Teplárna (BNT) | T101 | 40 | Odporník |
| | T102 | 40 | Odporník |
| | T103 | 40 | Odporník |

Na Obr. 6-2 je graficky znázorněné výkonové zatížení jednotlivých transformačních stanic v letech 2001 - 2011. Zatížení jednotlivých transformačních stanic v období 2001 - 2011 je různé, je to dáno zejména charakterem počasí v daném období zimního měření a rozdílnou transfigurací sítě. Také si zde můžeme všimnout, že v roce 2007 byla postavena transformační stanice Černovice (BNC) a v roce 2010 byla dobudována transformace 110/22 kV v rozvodně stanice Příkop (BNP).



Obr. 6-2 Zatížení jednotlivých transformací na přípojnících VN

6.4 Síť 22kV

Napájecí vedení o napěťové hladině 22 kV je propojeno s distribučními stanicemi nebo přímo s odběrateli na hladině VN. V centru města jsou výhradně kabelové sítě, na periférii města jsou většinou venkovní vedení (paprsková síť), které se postupně nahrazují kabelovými vedeními VN - síť smíšená. Typy vedení používaných v městských sítích jsou podrobně probrány v kapitole 3.

6.5 Plánovaný rozvoj DS města Brna

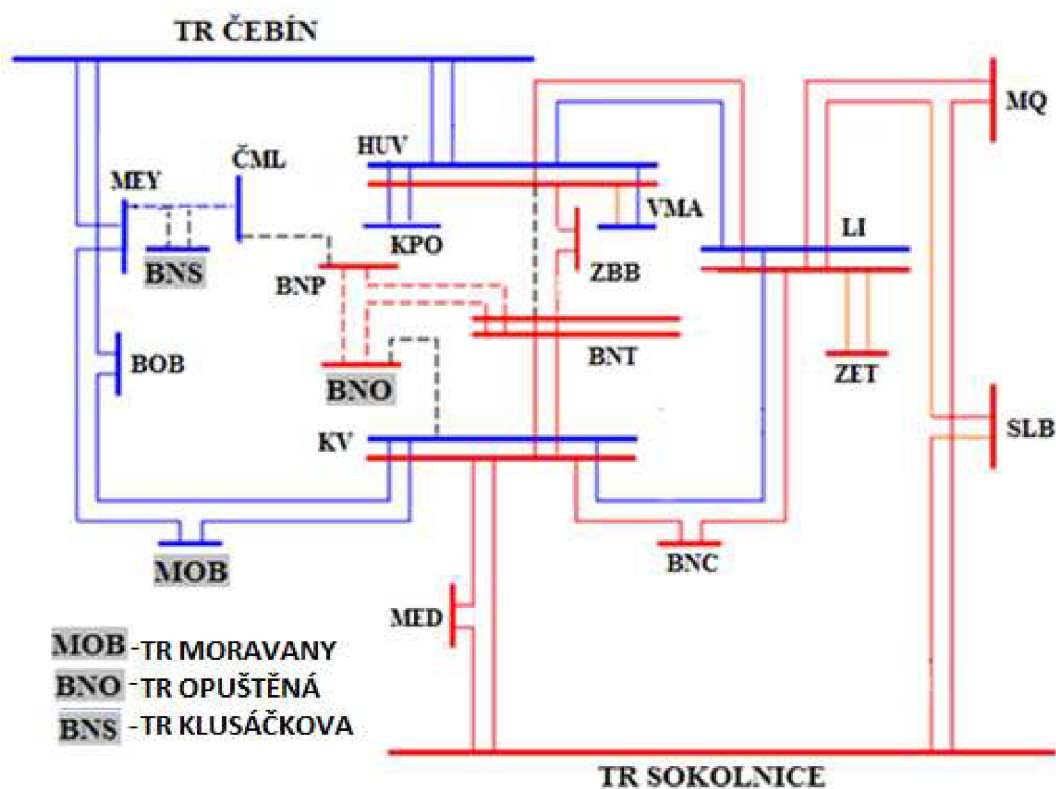
K posílení zásobování elektrickou energií centrální části města Brna byla vypracována společností E.ON, Distribuce a.s. v roce 2007 Koncepce rozvoje distribuční soustavy VVN. Na základě výsledků ustáleného chodu sítě a s ohledem na stávající konfigurace budou v distribuční síti realizovány výstavby, které jsou zobrazeny na Obr. 6-4. Ve zmiňovaném obrázku jsou

uvedeny plánované transformační stanice 110/22 kV, mezi které patří TR Opuštěná, TR Moravany, TR Klusáčkova.

Vybudováním transformační stanice Moravany bude zajištěno napájení jižní části města Brna a současně odlehčí zatížení stávajících transformoven Bohunice, Medlánky, popřípadě Komárov. Předpokládaný termín výstavby je v roce 2011.

S výstavbou transformační stanice Opuštěná se počítá koncem roku 2011. Souvisí to s termínem přemístění železničního uzlu města Brna. Z napájecího uzlu bude zajištěna dodávka elektrické energie pro jižní část města.

Transformační stanice Klusáčkova bude mít za úkol odlehčit transformační stanice v severní části města (TR Husovice, TR Medlánky). Termín realizace těchto projektů se předpokládá v letech 2015 - 2020. Cílem této práce je ověřit tyto záměry z hlediska stávajícího vývoje zatížení ve městě Brně.



Obr. 6-3 Plánovaný rozvoj DS 110kV [13]

7 VÝPOČET AKTUÁLNÍHO USTÁLENÉHO STAVU DS MĚSTA BRNA

Výpočet ustáleného stavu jsme provedli v programu PAS Off - Line Bizon V 4.0, kde jsme zadávali hodnoty proudu kmenových linek ze zimního měření pro rok 2011. Konfigurace sítě města Brna byla volena tak, aby odpovídala dispečerskému schématu (příloha A) pro stav za normálních provozních podmínek provozována společností E.ON Distribuce, a.s..

Při výpočtu jsme se zaměřili především na to, zda jsou přetíženy některé prvky DS (transformační stanice, elektrická vedení). Napěťové poměry vyhověly požadavkům dovolených odchylek napětí v celé síti.

Výsledky výpočtu ustáleného chodu budou přiloženy k diplomové práci na CD. Topologie sítě města Brna pro rok 2011 je uvedena v příloze B.

7.1 Zatížení transformačních stanic

V Tab. 7-1 jsou zaznamenány hodnoty instalovaného výkonu jednotlivých transformačních stanic, jejich zatížení na jednotlivých přípojnicích a využití v procentech.

Z tabulky je zřejmé, že největší zatížení transformátoru je v transformovně Bohunice (BOB) T101, kde tento transformátor napájí kabelovou síť v oblasti Bohunice, Kamenný vrch, Pisárky atd. K významným odběrům patří např.: Veletrhy Brno BVV, které v době mezinárodních veletrhů (Strojírenský, Autosalon) odebírají až 13 MW, Kampus a další. Nejproblematictější odběratelem jsou právě Veletrhy, neboť ty v době měření zimního maxima odebírají méně než polovinu rezervovaného příkonu. V období Strojírenského veletrhu, nebo autosalonu vzroste jejich spotřeba na hodnotu rezervovaného výkonu a blíží se 13 MW. Proto nesmíme toto zatížení zanedbávat a musíme uvažovat o nejhorší variantě.

Jako další problém se jeví transformační stanice v Husovicích (HUV), kterou by bylo vhodné odlehčit převedením zatížení na transformaci Teplárna Brno (BNT), popřípadě transformovnu v Medlánkách (MEY), či Líšni (LI).

Je zřejmé, že do budoucna je potřeba počítat s dalšími transformacemi 110/22 kV v centrální části města Brna. Výhledově počítá společnost E.ON a.s. s výstavbou transformací TR Moravany, TR Opuštěná a TR Klusáčkova.

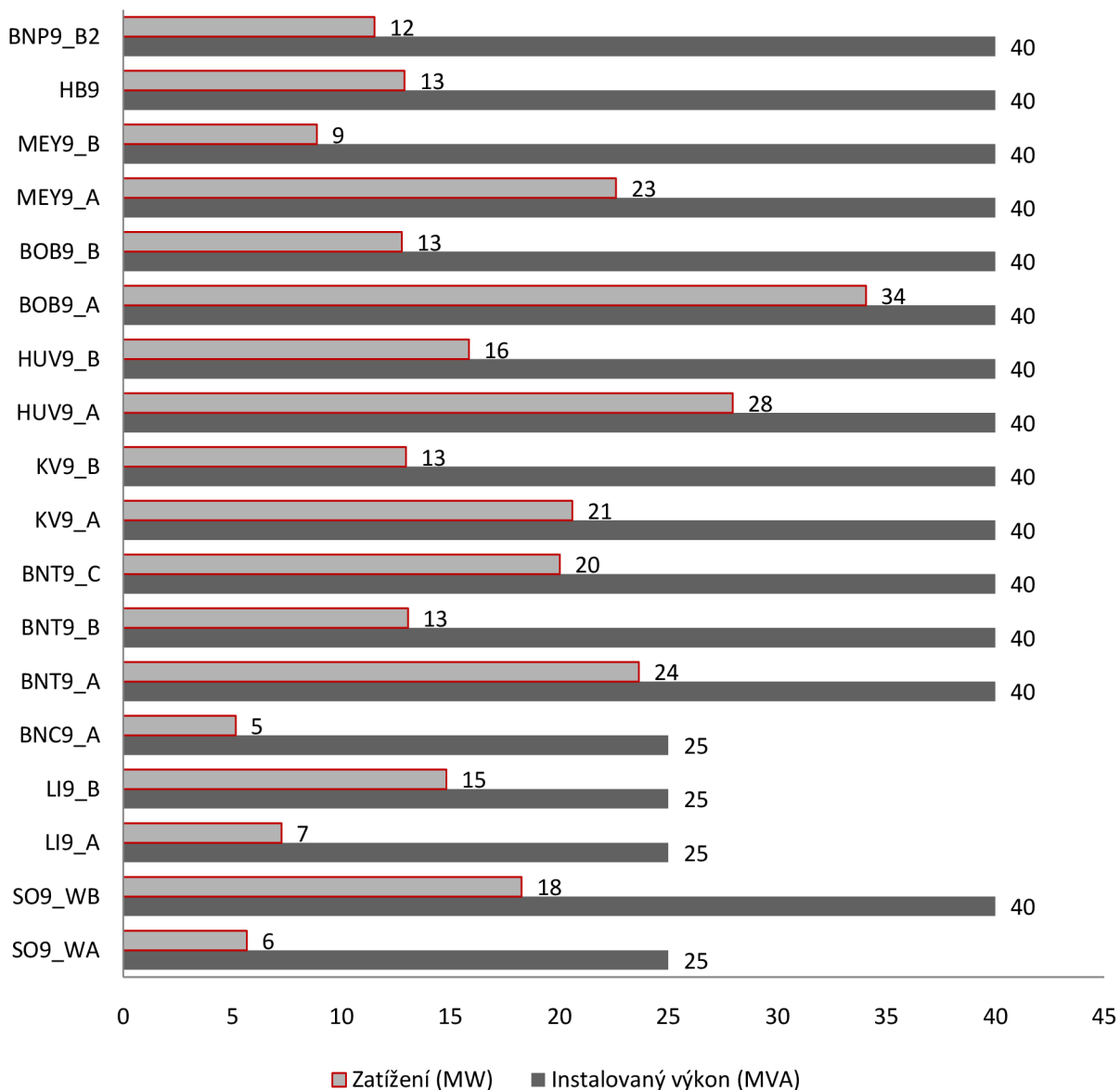
Tab. 7-1 Zatížení transformačních stanic v roce 2011

| Stanice_přípojnice | Instalovaný výkon [MVA] | Zatížení [MW] | Využití [%] |
|---------------------|-------------------------|---------------|-------------|
| SO9_WA | 25 | 5,668 | 22,7 |
| SO9_WB | 40 | 18,268 | 45,7 |
| SO9_WC | 25 | 0 | 0 |
| SO9_WA+WB+WC | 90 | 23,936 | - |
| LI9_A | 40 | 7,253 | 29,0 |
| LI9_B | 25 | 14,824 | 59,3 |
| LI9_A+B | 50 | 22,077 | - |
| BNC9_A | 25 | 5,151 | 20,6 |
| BNC9_B | 0 | 0,306 | 0 |
| BNC9_A+B | 25 | 5,457 | - |

| Stanice_přípojnice | Instalovaný výkon [MVA] | Zatížení [MW] | Využití [%] |
|--------------------|----------------------------|------------------|----------------|
| BNT9_A | 40 | 23,653 | 59 |
| BNT9_B | 40 | 13,057 | 33 |
| BNT9_C | 40 | 20,021 | 50 |
| BNT9_A+B+C | 120 | 56,731 | - |
| KV9_A | 40 | 20,589 | 52 |
| KV9_B | 40 | 12,96 | 32 |
| KV9_A+B | 80 | 33,549 | - |
| HUV9_A | 40 | 27,952 | 70 |
| HUV9_B | 40 | 15,85 | 40 |
| HUV9_A+B | 80 | 43,802 | - |
| BOB9_A | 40 | 34,07 | 85 |
| BOB9_B | 40 | 12,767 | 32 |
| BOB9_A+B | 80 | 46,837 | - |
| MEY9_A | 40 | 22,6 | 57 |
| MEY9_B | 40 | 8,883 | 22 |
| MEY9_A+B | 80 | 31,483 | - |
| HB9 | 40 | 12,902 | 32 |
| BNP9_A1 | 0 | 0 | 0 |
| BNP9_B2 | 40 | 11,515 | 29 |
| BNP9_A+B | 40 | 11,515 | - |
| SUMA | 685 | 288,289 | |

Je nutné podotknout, že transformační stanice Teplárna Brno má instalované čtyři transformátory o jmenovitém výkonu 40 MVA, kde při normálním provozu jsou v chodu pouze tři. Do jedné z přípojnic 22 kV Teplárny Brno dodává výkon generátor, který při výpočtu ustáleného chodu zanedbáváme.

Na Obr. 7-1 vidíme grafické zobrazení, jak jsou zatížena jednotlivé transformační stanice v porovnání s jejich instalovaným výkonem.



Obr. 7-1 Zatížení a instalované výkony jednotlivých transformačních stanic

7.2 Kontrola zatížení kabelového a venkovního vedení

Při výpočtu aktuálního ustáleného chodu jsme zjistili, že při současné konfiguraci proudové zatížení jednotlivých vedení nepřesahuje více jak 70%. Tato vedení, nepřesahující nominální hodnotu 70%, považujeme za bezpečné a spolehlivé z hlediska provozu distribuční sítě. Můžeme tedy konstatovat, že zatížení vedení je v současné době vyhovující.

V programu Bizon jsme si nastavili horní hranici nominální hodnoty zatížení 50%, abychom zjistili, která vedení mohou být v budoucnu přetížená. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v Tab. 7-2.

Tab. 7-2 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2011

| Vedení | Úsek vedení | Typ | S [mm] | I [%] | I _{max} [A] |
|------------|-------------|----------|--------|-------|----------------------|
| 1_VN162_04 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 51 | 417 |
| 1_VN162_07 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 51 | 417 |

| Vedení | Úsek vedení | Typ | S [mm] | I [%] | I_{max} [A] |
|-------------|-------------|----------|--------|-------|---------------|
| 1_VN162_08 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 51 | 417 |
| 1_VN162_11 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 51 | 417 |
| 1_VN162_30 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 53 | 417 |
| 1_VN162_31 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 53 | 417 |
| 1_VN162_34 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 54 | 417 |
| 1_VN162_37 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 54 | 417 |
| 1_VN162_38 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 54 | 417 |
| 1_VN162_39 | VN162 | AXEKVCEY | 240 | 54 | 417 |
| KABEL16303 | VN280 | AXEKVCEY | 240 | 56 | 417 |
| KABEL16304 | VN280 | AXEKVCEY | 240 | 56 | 417 |
| KABEL16722 | VN236 | AXEKVCEY | 240 | 57 | 417 |
| KABEL19331 | VN280 | ANKTOYPV | 240 | 57 | 413 |
| KABEL19515 | VN277 | ANKTOYPV | 240 | 62 | 413 |
| KABEL19541 | VN280 | ANKTOYPV | 240 | 56 | 413 |
| SLOUCENI212 | VN236 | ANKTOYPV | 240 | 58 | 413 |
| SLOUCENI569 | VN345 | AXEKCEY | 240 | 68 | 417 |
| SLOUCENI678 | VN280 | AXEKVCEY | 240 | 56 | 417 |
| VEDK51996 | VN162 | AlFe | 110 | 50 | 409 |

(S – průřez vedení, I - proudové zatížení vedení v procentech, I_{max} - maximální dovolený proud pro daný typ vedení)

Popis jednotlivých úseků z Tab. 7-2:

Úsek vedení VN162 se nachází v jižní části města mezi transformačními stanicemi Bohunice a Hrušovany, tento úsek se do budoucna jeví jako bezproblémový z hlediska změny transfigurace v síti.

Úsek vedení VN280 je v dispečerském schématu přejmenován na úsek VN1303 a nachází se mezi spínací stanicí Klusáčkova a transformační stanicí Příkop. V tomto úseku neočekáváme do budoucna žádné nové výrazné odběry, proto se nemusíme obávat přetížení vedení.

Úsek vedení VN277 je umístěn v severní části města Brna a napájí například IBM, Technologický park atd. V této části Brna předpokládáme do budoucna výstavbu nových bytových jednotek a administrativních budov, proto můžeme očekávat, že tento úsek bude přetížený.

Úsek vedení VN345 je napájen z transformační stanice Husovice a vede směrem na Adamov. Zatížení tohoto úseku se bude muset řešit v budoucnu buď jinou transfigurací sítě VN, nebo postavením paralelního vedení.

Úsek vedení VN236 je napájen z transformační stanice Bohunice a vede směrem na vodárnu Pisárky. V tomto úseku neočekáváme do budoucna žádné nové významné odběry, a proto se jeví v dalších letech jako bezproblémový.

Grafické zobrazení proudového zatížení sítě města Brna je uvedeno v příloze C.

7.3 Zhodnocení stávajícího stavu sítě a návrh variant jejich úpravy

Z výpočtu aktuálního ustáleného stavu distribuční sítě města Brna jsme zjistili, že dochází u některých transformátorů 110/22 kV k přetížení (např. Bohunice BOB). Zatížení vedení ale vyhověla požadavkům bezpečného a spolehlivého provozu distribuční sítě.

S přibývajícím lety bude růst zatížení stoupat a bude potřeba zajistit spolehlivost dodávky elektrické energie v centrální části města Brna. Při návrhu úprav budeme vycházet z koncepce firmy E.ON Distribuce a.s. [13].

Jednotlivé úpravy sítě budeme provádět v programu Bizon a to v této posloupnosti:

- Namodelujeme transformační stanici Moravany (MOB). S touto stavbou souvisí úpravy v rozvodně Bohunice, která umožní vyčlenit oba transformátory 110/22 kV k napájení kabelové sítě VN. Tlumivka u transformátoru T102 bude nahrazena odporníkem. Obě přípojnice v rozvodně VN budou rozděleny dalším podélným dělením rozvodny a volné vedené budou přepojeny do této části rozvodny VN. V základním provozním stavu budou napájeny po stávajícím volném vedení 1375 z nové rozvodny Moravany. Aby bylo možné spočítat ustálený chod sítě této varianty pro rok 2015, je nutné si vypočítat trend vzrůstu zatížení z hodnot uvedených v Tab. 6-3. K aktuálnímu trendu přidáme jednotlivé požadované velkoodběry na základě uzavřených smluv firmou E.ON a.s..
- Dále budeme uvažovat s plánovaným přesunem železničního uzlu města Brna (ŽUB) a s rozvojem nové městské infrastruktury v k.ú. Trnitá (dříve nazývané Jižní centrum). K předchozí variantě modelu doplníme transformační stanici Opuštěná, zadáme požadované odběry související s touto stavbou na základě podkladů firmy E.ON a.s. a spočítáme ustálený chod sítě.
- Na závěr budeme zjišťovat, kdy bude potřeba postavit transformační stanici Klusáčkova. K předešlé variantě s transformační stanicí Opuštěná provedeme pouze navýšení trendu do roku 2020. K tomuto období nejsou dosud známé žádné nové požadavky investorů, a proto uvažujeme pouze meziroční nárůst zatížení (trendování).

Těmito opatřeními bychom měli odstranit možné budoucí problémy v provozu DS.

8 URČENÍ TRENDU SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE

Podkladem pro stanovení výhledových hodnot spotřeby jsou výsledky získané ze zimního měření, přičemž samotné měření je prováděno třetí středu měsíce ledna příslušného roku.

Metody stanovující vývoj spotřeby elektrické energie nám umožňují určit trend až na 10 let dopředu. K určení co nejpřesnějšího odhadu je třeba vycházet ze studií rozvoje energetiky (nové bytové zástavby, průmyslové zóny atd.).

Ke stanovení vývoje zatížení se používá matematická metoda rozpočtová a metoda extrapoláční.

Metoda rozpočtová určuje spotřebu elektrické energie součtem potřeb v jednotlivých odvětvích hospodářství, kde tyto potřeby stanovíme podle předpokládané výroby. Jedná se o krátkodobou metodu vhodnou v případě, kdy dynamika výroby a měrných potřeb je známa s dostatečnou přesností.

Metoda extrapoláční vychází z vyrovnávání dosavadního vývoje a extrapoluje vývoj do budoucnosti za předpokladu, že okolnosti působící na vývoj v budoucnosti se nebudou podstatně lišit od vlivů působících v minulosti. Z matematických funkcí se nejčastěji používá exponenciální funkce $y = a \cdot e^{bx}$. K určení funkce vývoje spotřeby, tedy určení koeficientů a a b se používá metoda nejmenších čtverců, která prokládá body získané měřeními.

Pro výpočet trendu vzrůstu zatížení si zvolíme metodu extrapoláční.

8.1 Výpočet trendu spotřeby pomocí exponenciální funkce

Pro výpočet použijeme data v Tab. 8-1 z naměřených hodnot soudobého zatížení z rozvodu 22 kV: BNT9, BOB9, HB9, HUV9, KV9, LI9, MEY9, SO9, BNJ9, BNP9, BNS9 a BNC9 z let 2001- 2011.

Tab. 8-1 Zatížení v období 2001 - 2011

| Rok | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| I [A] | 5902 | 6714 | 6462 | 6751 | 6633 | 6930 | 7470 | 7840 | 7735 | 7671 | 7911 |
| P[MW] | 234,1 | 266,3 | 256,3 | 267,7 | 263,0 | 274,8 | 296,3 | 311 | 306,8 | 304,2 | 313,8 |

Příklad výpočtu pro rok 2011 za předpokladu, že $\cos \varphi = 1$ a napětí $U_s = 22,9kV$.

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 22900 \cdot 7911 \cdot 1 = 313,8MW$$

K naměřeným hodnotám z Tab. 8-1 budeme hledat pomocí nejmenších čtverců exponenciální funkci, která bude nejlépe charakterizovat rozložení v souřadném systému x, y .

Rovnice exponenciály:

$$y = a \cdot e^{bx} \tag{8.1}$$

Převedeme rovnici na logaritmický tvar pomocí přirozeného logaritmu:

$$\ln y = \ln a + bx_i \tag{8.2}$$

Pro výpočet minima funkce f použijeme metodu nejmenších čtverců, pro kterou platí:

$$f = \sum_{i=1}^n (\ln y - \ln y_i)^2 = \min \quad (8.3)$$

Po dosazení můžeme psát:

$$f = \sum_{i=1}^n (\ln a + bx_i - \ln y_i)^2 \quad (8.4)$$

Z podmínky $\frac{\partial f}{\partial a} = 0$ plyne:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\ln a + bx_i - \ln y_i)^2}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (\ln a + bx_i - \ln y_i) \cdot \frac{1}{a}, \quad (8.5)$$

kde $a \neq 0$

Tento výraz položíme roven nule:

$$\sum_{i=1}^n 2 \cdot (\ln a + bx_i - \ln y_i) \cdot \frac{1}{a} = 0 \quad (8.6)$$

Rovnice bude platit když výraz v závorce bude roven nule:

$$\sum_{i=1}^n \ln a + b \cdot \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n \ln y_i = 0 \quad (8.7)$$

Po úpravě:

$$n \cdot \ln a + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \ln y_i. \quad (8.8)$$

Obdobně počítáme pro podmínku $\frac{\partial f}{\partial b} = 0$:

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n (\ln a + bx_i - \ln y_i)^2}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (x_i \cdot \ln a + bx_i^2 - x \ln y_i). \quad (8.9)$$

Položíme rovno nule:

$$\sum_{i=1}^n 2 \cdot (x_i \cdot \ln a + bx_i^2 - x \ln y_i) = 0. \quad (8.10)$$

Po úpravách:

$$\ln a \sum_{i=1}^n x_i + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \ln y_i. \quad (8.11)$$

Vyřešením je soustava dvou rovnic (11.8) a (11.11) o dvou neznámých a a b .

$$\begin{aligned} n \cdot \ln a + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i &= \sum_{i=1}^n \ln y_i \\ \ln a \sum_{i=1}^n x_i + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n x \cdot \ln y_i \end{aligned} \quad (8.12)$$

Tab. 8-2 Tabulka hodnot pro výpočet parametrů a , b exponenciální funkce

| Rok | x_i | y_i | x_i^2 | $\ln y_i$ | $x_i \cdot \ln y_i$ |
|------|-------|--------|---------|-----------|---------------------|
| 2001 | 0 | 234,05 | 0 | 5,456 | 0 |
| 2002 | 1 | 266,25 | 1 | 5,584 | 5,58 |
| 2003 | 2 | 256,25 | 4 | 5,546 | 11,09 |
| 2004 | 3 | 267,71 | 9 | 5,59 | 16,77 |
| 2005 | 4 | 263,03 | 16 | 5,572 | 22,29 |
| 2006 | 5 | 274,81 | 25 | 5,616 | 28,08 |
| 2007 | 6 | 296,3 | 36 | 5,706 | 34,23 |
| 2008 | 7 | 310,97 | 49 | 5,729 | 40,1 |
| 2009 | 8 | 306,73 | 64 | 5,726 | 45,81 |
| 2010 | 9 | 304,2 | 81 | 5,718 | 51,46 |

| Rok | x_i | y_i | x_i^2 | $\ln y_i$ | $x_i \cdot \ln y_i$ |
|----------|-------|---------|---------|-----------|---------------------|
| 2011 | 10 | 313,71 | 100 | 5,748 | 57,48 |
| Σ | 55 | 3095,06 | 385 | 61,994 | 312,91 |

Nyní dosadíme do rovnice (8.12) z Tab. 8-2

$$\begin{aligned} 11 \cdot \ln a + 55 \cdot b &= 61,994 \\ 55 \cdot \ln a + 385 \cdot b &= 312,92 \end{aligned}$$

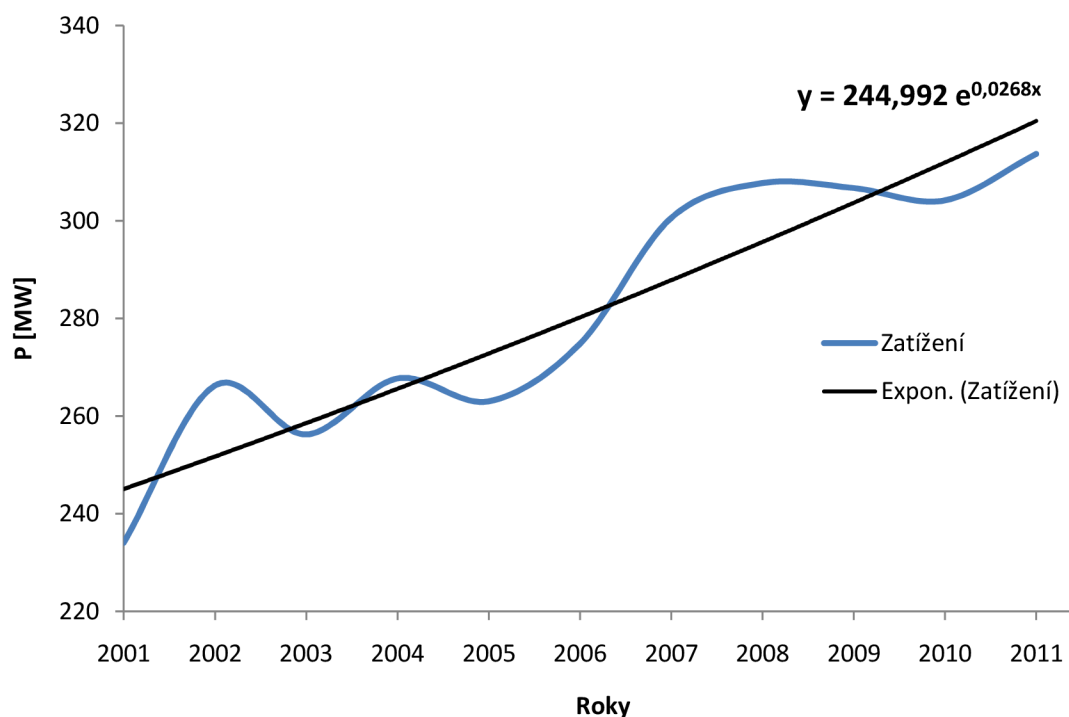
Po úpravách bude neznámá a a b rovna

$$\begin{aligned} \ln a = 5,502 &\rightarrow a = 245,182 \\ b &= 0,02682 \end{aligned}$$

Hledaná funkce má potom tvar

$$y = 244,992 \cdot e^{0,0268x} \quad (8.13)$$

Závislost výkonu na čase s exponenciální spojnicí trendu



Obr. 8-1 Závislost výkonu na čase s exponenciální spojnicí trendu pro rok 2001 - 2011

Trend růstu spotřeby je směrnice této křivky, kterou získáme derivací této funkce podle proměnné x v bodě pro rok 2011 ($x_0; y_0$) = (10; 313,71)

$$dy = a \cdot b \cdot e^{bx} = 244,992 \cdot 0,02686 \cdot e^{0,02686 \cdot 10} = 8,61$$

$$trend = \frac{dy}{y_0} \cdot 100 = \frac{8,61}{313,71} \cdot 100 = \underline{\underline{2,74\%}}$$

Při simulaci ustáleného chodu DS pro rok 2011 v programu Bizon budeme zadávat jako trend růstu plošného zatížení kmenových linek 2,74 % z aktuálního zatížení ročně.

8.2 Stanovení plošného vývoje zatížení řešené oblasti v letech 2012 - 2015

Ke stanovení plošného vývoje zatížení použijeme rovnici exponenciální funkce (8.13). V Tab. 8-3 jsou vypočteny hodnoty zatížení dle zmiňované funkce.

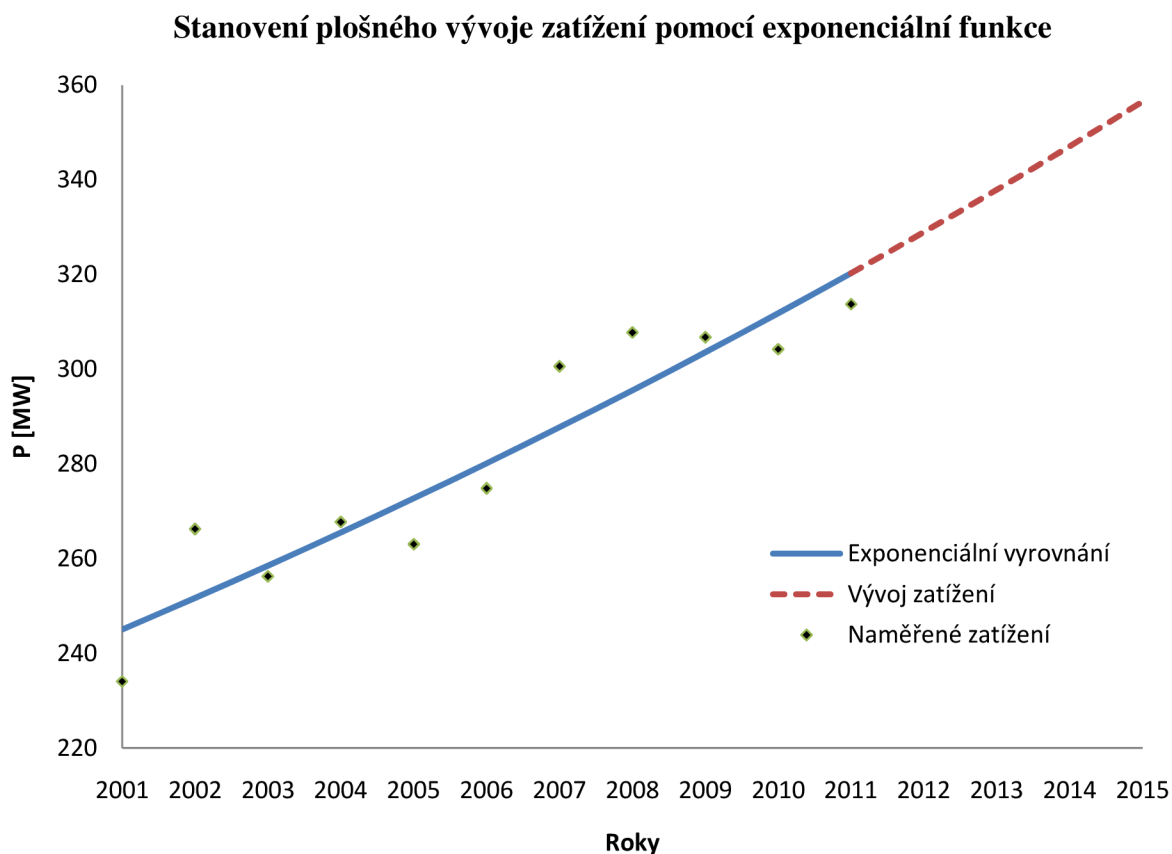
Příklad výpočtu z Tab. 8-3 pro rok 2012:

$$y = 244,992 \cdot e^{0,0268 \cdot 11} = 328,99$$

Tab. 8-3 Plošný vývoj zatížení

| Rok | x_i | $y_i = P$ [MW] |
|------|-------|----------------|
| 2012 | 11 | 328,99 |
| 2013 | 12 | 337,93 |
| 2014 | 13 | 347,1 |
| 2015 | 14 | 356,53 |

Na Obr. 8-2 jsou graficky zobrazeny hodnoty zatížení podle zvolené vyrovnávací funkce.



Obr. 8-2 Plošný vývoj zatížení do roku 2015

Tento vývoj zatížení je pouze orientační, nezahrnuje prudký nárůst zatížení způsobený výstavbou velkých administrativních komplexů, univerzitního městečka, rozvoj obchodních center a logistických center.

9 PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ DS MĚSTA BRNA

V důsledku finanční krize se zpomalil zájem zejména zahraničních investorů o realizaci nových projektů ve městě Brně, které se tímto pozastavily. Do budoucna můžeme očekávat vlivem pomnutí krize prudký rozvoj. Meziroční trend zatížení v letech 2001 - 2011 činí 2,7%. Je zřejmé, že se tato hodnota bude zvyšovat. Společnost E.ON a.s. má v současné době seznam velkoodběratelů, kteří mají zájem o výstavbu nových zařízení či rekonstrukci v letech 2012 - 2015, které jsou zaznamenány v Tab. 9-1 a Tab. 9-2.

Tab. 9-1 Nové odběry v letech 2012 - 2015

| Žadatel | Dosavadní odběr [kW] | Rezervovaný příkon [kW] | Očekávaný odběr [kW] | Termín připojení |
|----------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------|
| Kamechy I. etapa – byty | 0 | 1500 | 1200 | 2012 |
| Kamechy II. etapa – byty | 0 | 1000 | 800 | 2012 |
| Kamechy III. Etapa – byty | 0 | 800 | 700 | 2012 |
| Kamechy 14 RD | 0 | 200 | 160 | 2012 |
| Kampus Office Park COP IV | 0 | 1350 | 1100 | 2012 |
| Tunel Dobrovského | 0 | 1200 | 1000 | 2012 |
| AUPARK Brno, spol. s.r.o. | 0 | 7000 | 5600 | 2012 |
| Jeneweinova Čerpací stanice, retenční nádrž | 0 | 400 | 300 | 2012 |
| CTP Černovice | 0 | 3000 | 2000 | 2012 |
| Master Internet,Cejl 21 | 0 | 800 | 480 | 2012 |
| BVV, a.s. | 11000 | 13500 | 13500 | 2012 |
| Areál Slatina (Tuřanka) | 3500 | 5100 | 4000 | 2012 |
| KAMPUS Bohunice – COP III | 0 | 800 | 600 | 2013 |
| Letiště Tuřany kargo – II. etapa | 1000 | 3600 | 1200 | 2013 |
| TITANIUM – Nové Sady | 0 | 1000 | 800 | 2013 |
| AZ PROPERITY, s.r.o. | 0 | 2000 | 1400 | 2013 |
| Masarykův onkologický ústav | 1000 | 2800 | 2000 | 2013 |
| Bytové domy – Jaselská kasárna | 0 | 4000 | 2000 | 2013 |
| Byty Vlněna Dornych | 0 | 4000 | 2000 | 2013 |
| Byty – Studentská | 0 | 2500 | 800 | 2013 |
| Internát sester | 0 | 130 | 100 | 2013 |
| ZONER Nové Sady | 0 | 800 | 640 | 2013 |
| CTPu D2 Modřice | 0 | 6000 | 4800 | 2013 |
| CTP-hotel | 0 | 4700 | 3750 | 2013 |
| Galerie Vaňkovka Brno(Parkovací dům Trnitá) | 0 | 800 | 500 | 2013 |
| CD XXI, a.s.(Multifunkční aréna Brno-Bohunice) | 0 | 3000 | 1700 | 2014 |
| Tesco Stores ČR a.s.(Dostavba TESCO) | 0 | 4000 | 3000 | 2014 |
| RLRE Carina Property, s.r.o.(H-PARK) | 0 | 2500 | 2000 | 2014 |
| APOLO | 0 | 3000 | 2000 | 2015 |
| Statutární město Brno (Fotbalový stadion Lužánky) | 0 | 4076 | 3000 | 2015 |
| AREAL SLATINA, a.s.(Technologické centrum Švédské šance) | 3000 | 0 | 2000 | 2015 |
| KAMPUS Lískovec (sportovní areál-výhled) | 0 | 5000 | 4000 | 2015 |

| | | | | |
|--------------------------------------|---|--------------|--------------|------|
| kasárna Slatina | 0 | 0 | 2000 | 2015 |
| Areál Slatina (Tuřanka) | 0 | 5000 | 4000 | 2015 |
| SUMA 2012 | | 35580 | 30840 | |
| SUMA 2013 | | 33130 | 20590 | |
| SUMA 2014 | | 9500 | 6700 | |
| SUMA 2015 | | 17076 | 17000 | |
| Celkové navýšení do roku 2015 | | 95556 | 75130 | |

Tab. 9-1 Nové odběry v roce 2013 související s přesunem železničního uzlu-ŽUB a rozvojem k.ú.Trnitá (výstavba TR Opuštěná)

| Žadatel | Dosavadní odběr [kW] | Rezervovaný příkon [kW] | Očekávaný odběr [kW] | Termín připojení |
|-------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|------------------|
| MĚNÍRNA M2 Vodařská | 0 | 2000 | 1200 | 2013 |
| MĚNÍRNA M1 Trnitá | 0 | 4000 | 2500 | 2013 |
| DTS ZVONÁŘKA-RAMPY nap. Diametru | 0 | 800 | 600 | 2013 |
| DTS OPUŠTĚNÁ - UHELNÁ + čerpací stanice splašková Pražákova | 0 | 500 | 400 | 2013 |
| Čerpací stanice hradilová komora 1 | 0 | 900 | 700 | 2013 |
| Čerpací stanice hradilová komora 2 | 0 | 700 | 500 | 2013 |
| Povodňová čerpací stanice retenční nádrž | 0 | 1000 | 600 | 2013 |
| Povodňová čerpací stanice pro zastřešení | 0 | 1000 | 600 | 2013 |
| Předávací stanice SŽDC (TS Poliklinika) | 0 | 450 | 400 | 2013 |
| Komerční objekt TS 1 | 0 | 5000 | 3000 | 2013 |
| Komerční objekt TS 2 | 0 | 5000 | 3000 | 2013 |
| Komerční objekt TS 3 | 0 | 5000 | 3000 | 2013 |
| Komerční objekt TS 4 | 0 | 5000 | 3000 | 2013 |
| SUMA 2013 | | 31350 | 19500 | |
| Celkové navýšení do roku 2015 | | 31350 | 19500 | |

9.1 Výpočet ustáleného chodu DS k roku 2015 s napájecím uzlem

Moravany

Při výpočtu ustáleného chodu jsme vycházeli z požadavku velkoodběratelů do roku 2015 (Tab. 9-1). Navýšili jsme proudové zatížení kmenových linek na základě vypočítaného trendu spotřeby a následně provedli jejich dopočet. Dále jsme dokreslili do aktuálního modelu transformační stanici Moravany, která bude osazena transformátorem s instalovaným výkonem 40 MVA. S dokreslením TR Moravany souvisí přepojení vedení VN v rozvodně Bohunice tak, aby veškerá venkovní a smíšená síť VN napájená v současné době z rozvodny Bohunice byla převedena na rozvodnu Moravany. Tato problematika je podrobně probrána v kapitole 10 Technické vyhodnocení navržených variant.

Výsledky výpočtu ustáleného chodu pro rok 2015 s napájecím uzlem Moravany budou přiloženy k diplomové práci na CD.

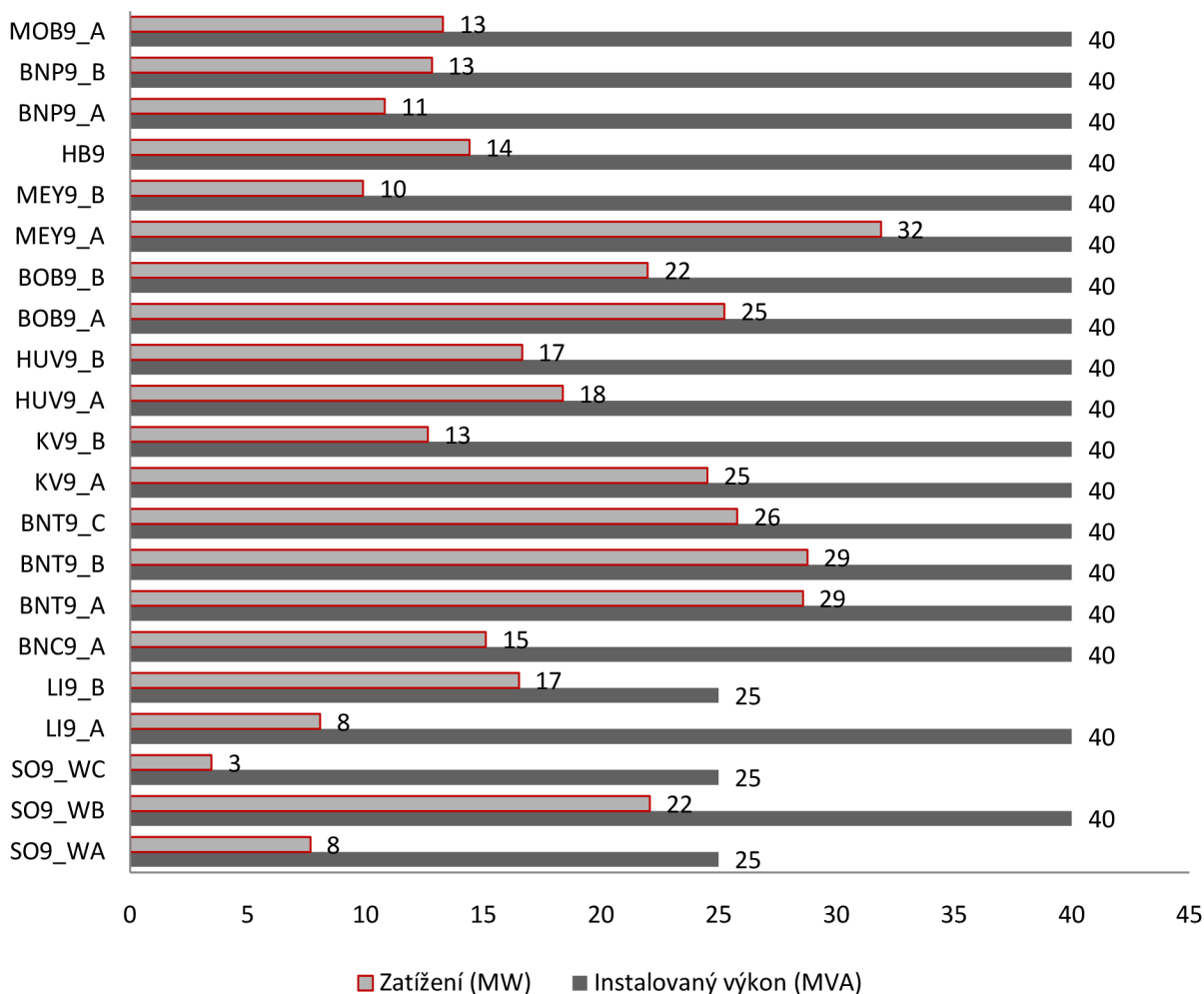
9.1.1 Zatížení transformačních stanic

Při tomto výpočtu jsme se snažili navrhnout optimální konfiguraci modelu (příloha D) tak, aby zatížení transformátorů pracujících do kabelových sítí bylo co nejrovnoměrněji zatíženo a aby bylo pokud možno zajištěno hospodárné zatížení vedení. Zatížení jednotlivých transformoven je uveden v Tab. 9-2.

Tab. 9-2 Zatížení transformačních stanic v roce 2015 s TR Moravany

| Stanice_přípojnice | Instalovaný výkon [MVA] | Zatížení [MW] | Využití [%] |
|---------------------|----------------------------|------------------|----------------|
| SO9_WA | 25 | 7,666 | 31 |
| SO9_WB | 40 | 22,075 | 55 |
| SO9_WC | 25 | 3,458 | 14 |
| SO9_WA+WB+WC | 90 | 33,199 | - |
| LI9_A | 40 | 8,078 | 20 |
| LI9_B | 25 | 16,521 | 66 |
| LI9_A+B | 50 | 24,599 | - |
| BNC9_A | 40 | 15,117 | 38 |
| BNC9_A+B | 40 | 15,117 | - |
| BNT9_A | 40 | 28,584 | 71 |
| BNT9_B | 40 | 28,772 | 72 |
| BNT9_C | 40 | 25,794 | 64 |
| BNT9_A+B+C | 120 | 83,15 | - |
| KV9_A | 40 | 24,519 | 61 |
| KV9_B | 40 | 12,656 | 32 |
| KV9_A+B | 80 | 37,175 | - |
| HUV9_A | 40 | 18,38 | 46 |
| HUV9_B | 40 | 16,659 | 42 |
| HUV9_A+B | 80 | 35,039 | - |
| BOB9_A | 40 | 25,248 | 63 |
| BOB9_B | 40 | 21,986 | 55 |
| BOB9_A+B | 80 | 47,234 | - |
| MEY9_A | 40 | 31,898 | 80 |
| MEY9_B | 40 | 9,897 | 25 |
| MEY9_A+B | 80 | 41,795 | - |
| HB9 | 40 | 14,417 | 36 |
| BNP9_A | 40 | 10,82 | 27 |
| BNP9_B | 40 | 12,824 | 32 |
| BNP9_A+B | 40 | 23,644 | - |
| MOB9_A | 40 | 13,293 | 33 |
| MOB9_B | 0 | 0 | 0 |
| MOB9_A+B | 40 | 13,293 | - |
| SUMA | 740 | 368,662 | |

Z Tab. 9-2 a Obr. 9-1 je zřejmé, že vybudováním transformační stanice 110/22 kV Moravany zabezpečí napájení jižní části města Brna. Odlehčí se tím zejména transformační stanice v Bohunicích, která napájí kabelovou síť, popřípadě může snížit zatížení Teplárny Brno. Dále zde vidíme, že dochází k přetěžování transformátoru v Medláncích, kde by bylo vhodné přerozdělit zatížení na transformační stanici Husovice.



Obr. 9-1 Zatížení a instalované výkony jednotlivých transformačních stanic v roce 2015 s napájecím uzlem Moravany

9.1.2 Kontrola zatížení elektrických vedení

Při výpočtu aktuálního ustáleného chodu jsme zjistili, že při naší zvolené konfiguraci, proudové zatížení nepřesahuje 70% nominální hodnoty, považujeme ho tedy za bezpečné a spolehlivé z hlediska provozu distribuční sítě.

V programu Bizon jsme si nastavili horní hranici nominální hodnoty zatížení 60%, abychom zjistili, která vedení se blíží k hranici 70% svého jmenovitého proudového zatížení. V Tab. 9-3 jsou jednotlivá vedení zatížená nad nominální hodnotu 60%.

Tab. 9-3 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2015

| Vedení | Úsek vedení | Typ | S [mm] | I [%] | I _{max} [A] |
|-------------|-------------|----------|-----------|----------|-------------------------|
| 1_VN1241_1 | VN1241 | AXEKVCEY | 240 | 66 | 417 |
| 1_VN162_XX | VN162 | AlFe | 110 | 60 | 409 |
| KABEL11975 | VN166 | AXEKVCEY | 240 | 64 | 417 |
| KABEL16722 | VN236 | AXEKVCEY | 240 | 64 | 417 |
| SLOUCENI166 | VN1241 | AXEKVCEY | 240 | 65 | 417 |
| SLOUCENI212 | VN236 | ANKTOYPV | 240 | 64 | 413 |
| SLOUCENI569 | VN345 | AXEKCEY | 240 | 68 | 417 |
| VEDK52137 | VN162 | AlFe | 95 | 61 | 309 |
| VEDK52286 | VN1375 | AlFe | 120 | 64 | 362 |
| VEDK52307 | VN1375 | AlFe | 120 | 63 | 362 |
| VEDK52412 | VN1375 | AlFe | 120 | 64 | 362 |
| VEDK52440 | VN162 | AlFe | 95 | 60 | 309 |
| VEDK52449 | VN162 | AlFe | 110 | 61 | 409 |
| VEDK52451 | VN162 | AlFe | 95 | 61 | 309 |
| VEDK52463 | VN1375 | AlFe | 120 | 63 | 362 |
| VEDK52943 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |
| VEDK53099 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |
| VEDK86793 | VN166 | AlFe | 110 | 61 | 409 |
| VEDK86794 | VN166 | AlFe | 110 | 61 | 409 |
| VEDK86799 | VN166 | AlFe | 110 | 62 | 409 |
| VEDK86802 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |
| VEDK86807 | VN166 | AlFe | 95 | 64 | 309 |
| VEDK87524 | VN162 | AlFe | 95 | 61 | 309 |
| VEDK89497 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |

Jako problematická oblast se jeví napájecí kabely VN z Teplárny Brno zásobující elektrickou energii Uhelnu. V případě, že by nedošlo k výstavbě rozvodny Opuštěná, bude potřeba do budoucna počítat s posílením těchto vedení, a to výstavbou nového paralelního kabelu VN a s rozšířením rozvodny Uhelna, což je s ohledem na rozsah této vstupní rozvodny a s ohledem na přeplněnost hlubinného kolektoru v této oblasti prakticky nereálné. Ostatní úseky se jeví z hlediska transfigurace sítě za bezproblémové. Proudové zatížení sítě města Brna pro rok 2015 s napájecím uzlem Moravany je uvedeno v příloze E.

9.2 Výpočet ustáleného chodu DS k roku 2015 s napájecím uzlem Opuštěná

K předešlé variantě modelu s napájecím uzlem Moravany domodelujeme napájecí uzel Opuštěná a veškerá vedení související s touto stavbou. TR Opuštěná bude osazena transformátory s instalovaným výkonem 2 x 40 MVA. Výstavbou nového napájecího uzlu vzniknou nové odběry související s přesunem železničního nádraží. Tyto nové odběry (Tab. 9-2) vycházejí z požadavků velkoodběratelů, které má k dispozici firma E.ON Distribuce a.s.. Podrobný popis výstavby TR Opuštěná je probrán v kapitole 10 Technické vyhodnocení navržených variant.

Výsledky výpočtu ustáleného chodu pro rok 2015 s napájecím uzlem Opuštěná budou přiloženy k diplomové práci na CD.

9.2.1 Zatížení transformačních stanic

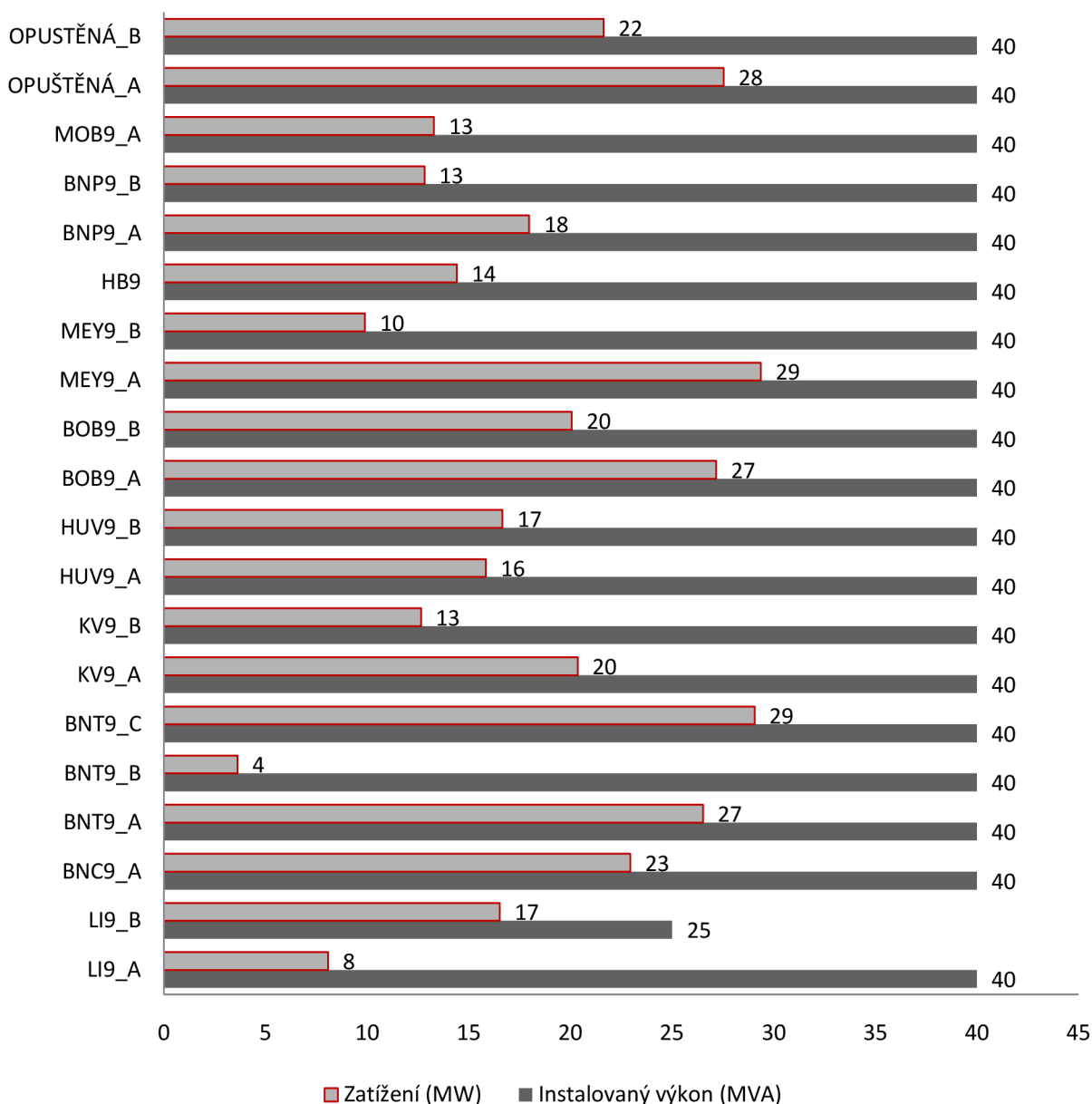
Jako u předešlého modelu jsme se snažili navrhnout optimální konfiguraci sítě (příloha F) tak, aby bylo zatížení transformátorů pokud možno rovnoměrné s ohledem na zatížení vedení. Zatížení jednotlivých transformátorů je uvedeno v Tab. 9-4.

Tab. 9-4 Zatížení transformačních stanic v roce 2015 s TR Moravany a TR Opuštěná

| Stanice_přípojnice | Instalovaný výkon | Zatížení | Využití |
|---------------------|-------------------|----------|---------|
| | [MVA] | [MW] | [%] |
| SO9_WA | 25 | 7,666 | 30 |
| SO9_WB | 40 | 22,075 | 55 |
| SO9_WC | 25 | 3,458 | 14 |
| SO9_WA+WB+WC | 90 | 33,199 | - |
| LI9_A | 40 | 8,078 | 20 |
| LI9_B | 25 | 16,521 | 66 |
| LI9_A+B | 50 | 24,599 | - |
| BNC9_A | 40 | 22,952 | 57 |
| BNC9_B | 0 | 0 | 0 |
| BNC9_A+B | 40 | 22,952 | - |
| BNT9_A | 40 | 26,527 | 66 |
| BNT9_B | 40 | 13,629 | 34 |
| BNT9_C | 40 | 29,068 | 73 |
| BNT9_A+B+C | 120 | 59,224 | - |
| KV9_A | 40 | 20,36 | 51 |
| KV9_B | 40 | 12,656 | 32 |
| KV9_A+B | 80 | 33,016 | - |
| HUV9_A | 40 | 15,847 | 40 |
| HUV9_B | 40 | 16,659 | 42 |
| HUV9_A+B | 80 | 32,506 | - |
| BOB9_A | 40 | 27,169 | 68 |
| BOB9_B | 40 | 20,065 | 50 |
| BOB9_A+B | 80 | 47,234 | - |
| MEY9_A | 40 | 29,376 | 73 |
| MEY9_B | 40 | 9,897 | 25 |
| MEY9_A+B | 80 | 39,273 | - |
| HB9 | 40 | 14,417 | 36 |
| BNP9_A | 40 | 17,97 | 45 |
| BNP9_B | 40 | 12,824 | 32 |
| BNP9_A+B | 40 | 30,794 | - |
| MOB9_A | 40 | 13,293 | 33 |
| MOB9_B | 0 | 0 | 0 |

| Stanice_přípojnice | Instalovaný výkon [MVA] | Zatížení [MW] | Využití [%] |
|--------------------|-------------------------|---------------|-------------|
| MOB9_A+B | 40 | 13,293 | |
| BNO_A | 40 | 27,539 | 69 |
| BNO_B | 40 | 21,63 | 54 |
| BNO_A+B | 80 | 49,169 | |
| SUMA | 835 | 409,676 | |

Vybudováním transformační stanice 110/22 kV Opuštěná (BNO) nám zajistí požadavky napájení nových odběrů v tomto území a odlehčí transformační stanici Teplárna Brno. Na základě výsledků ustáleného chodu uvedených v Tab. 9-4 a zobrazených na Obr. 9-2 je zřejmé, že výstavba nového napájecího uzlu spolehlivě zajistí napájení "Jižního centra" města Brna.



Obr. 9-2 Zatížení a instalované výkony jednotlivých transformačních stanic v roce 2015 s napájecím uzlem Moravany a Opuštěná

9.2.2 Kontrola zatížení elektrických vedení

Při výpočtu ustáleného chodu pro námi zvolenou konfiguraci jsme zjistili, že se vyskytly úseky, které jsou buď přetížené, nebo jsou na hranici přetížení 70% jeho nominální hodnoty. Proudové zatížení sítě města Brna pro rok 2015 s napájecím uzlem Opuštěná je uvedeno v příloze G.

Tab. 9-5 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2015

| Vedení | Úsek vedení | Typ | S [mm] | I [%] | I _{max} [A] |
|-------------|-------------|----------|-----------|----------|-------------------------|
| 1_VN162_34 | VN162 | AlFe | 95 | 60 | 309 |
| 1_VN162_37 | VN162 | AlFe | 95 | 60 | 309 |
| 1_VN162_38 | VN162 | AlFe | 95 | 60 | 309 |
| 1_VN162_39 | VN162 | SAX-izol | 110 | 60 | 409 |
| KABEL11975 | VN166 | AXEKVCEY | 240 | 64 | 417 |
| KABEL16722 | VN236 | AXEKVCEY | 240 | 64 | 417 |
| SLOUCENI212 | VN236 | ANKTOYPV | 240 | 64 | 413 |
| SLOUCENI569 | VN345 | AXEKCEY | 240 | 68 | 413 |
| VEDK52137 | VN162 | AlFe | 95 | 61 | 309 |
| VEDK52286 | VN1375 | AlFe | 120 | 64 | 362 |
| VEDK52307 | VN1375 | AlFe | 120 | 63 | 362 |
| VEDK52412 | VN1375 | AlFe | 120 | 64 | 362 |
| VEDK52440 | VN162 | AlFe | 95 | 60 | 309 |
| VEDK52449 | VN162 | AlFe | 110 | 61 | 409 |
| VEDK52451 | VN162 | AlFe | 95 | 61 | 309 |
| VEDK52463 | VN1375 | AlFe | 120 | 63 | 362 |
| VEDK52943 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |
| VEDK53099 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |
| VEDK85748 | VN320 | AlFe | 120 | 60 | 362 |
| VEDK86793 | VN166 | AlFe | 110 | 61 | 409 |
| VEDK86794 | VN166 | AlFe | 110 | 61 | 409 |
| VEDK86799 | VN166 | AlFe | 110 | 62 | 409 |
| VEDK86802 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |
| VEDK86807 | VN166 | AlFe | 95 | 66 | 309 |
| VEDK87524 | VN162 | AlFe | 95 | 61 | 309 |
| VEDK89497 | VN166 | AlFe | 110 | 65 | 409 |
| VEDO86796 | Modřice ČOV | AlFe | 50 | 60 | 204 |
| VEDO86806 | Modřice ČOV | AlFe | 50 | 60 | 204 |
| VN1361_OP3 | VN1361 | AXEKCEY | 240 | 62 | 413 |
| VN1361_OP4 | VN1362 | AXEKCEY | 240 | 73 | 413 |

V tab. 9-5 jsou zobrazena všechna vedení zatížená nad nominální hodnotu 60%. Z hlediska bezpečného a spolehlivého provozu je přetížen úsek vedení VN1362, který se nachází mezi TR

Opuštěná a TR Teplárna Brno, kde hodnota zatížení přesáhla 70% jeho jmenovité hodnoty. Jako další problematickou oblastí jsou např. napáječe zásobující elektrickou energii Veletrhy Brno BVV, dále úsek vedení mezi TR Bohunice a TR Opuštěná.

Z tabulky je zřejmé, že v budoucnu lze očekávat přetížení dalších úseků vedení DS. Tyto problémy v první řadě budou řešit dispečeri vhodnou konfigurací sítě VN, popřípadě vybudováním nových vedení. Nahrazení starých úseků vedením větším průřezem není možné. Většina kabelových sítí v Brně je vybudována s průřezem 240 mm², proto nezbývá nic jiného, než postavit paralelní vedení.

9.3 Výpočet ustáleného chodu DS k roku 2020 s napájecím uzlem

Klusáčkova

Při výpočtu ustáleného chodu jsme vycházeli z předešlého modelu s napájecím uzlem Opuštěná. V tomto modelu jsme pouze změnili typ stanice Klusáčkova, a to z odběrové na napájecí a provedli změnu konfigurace DS sítě. Dále jsme navýšili proudové zatížení kmenových linek na základě vypočítaného trendu spotřeby a následně provedli jejich dopočet. Nová transformační stanice Klusáčkova by měla být v budoucnu osazena dvěma transformátory o instalovaném výkonu 40 MW. Výsledky výpočtu ustáleného chodu pro rok 2020 s napájecím uzlem Klusáčkova budou přiloženy k diplomové práci na CD.

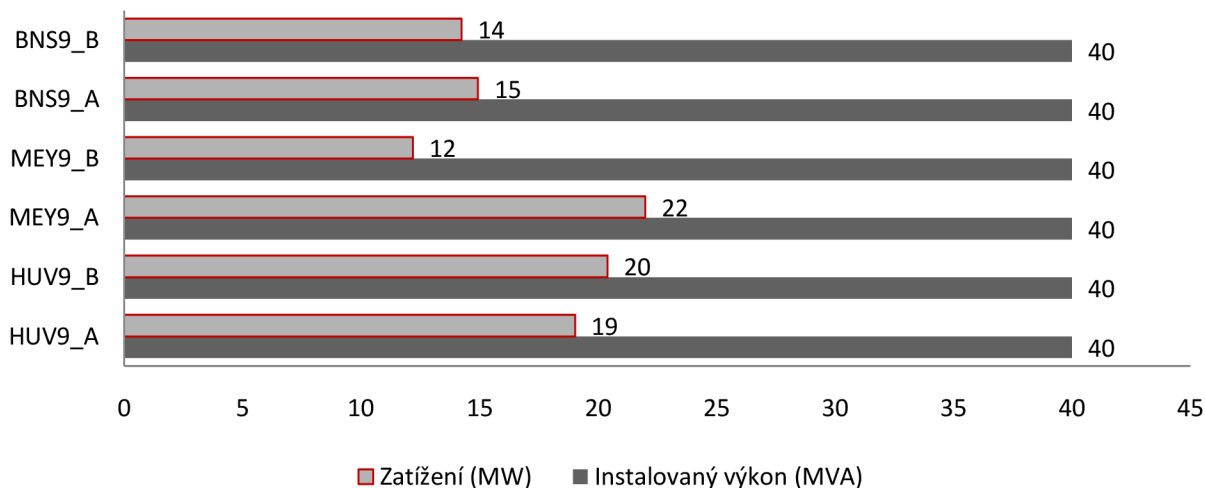
9.3.1 Zatížení transformačních stanic

V tomto modelu jsme se snažili navrhnout optimální konfiguraci sítě (příloha H) tak, aby jsem odlehčili transformační stanice TR Husovice a TR Medlánky. Zatížení transformační stanice TR Husovice, TR Medlánky a TR Klusáčkova je uvedeno v Tab. 9-6.

Tab. 9-6 Zatížení transformačních stanic v roce 2020

| Stanice_přípojnice | Instalovaný výkon [MVA] | Zatížení [MW] | Využití [%] |
|--------------------|-------------------------|---------------|-------------|
| HUV9_A | 40 | 19,037 | 48 |
| HUV9_B | 40 | 20,4 | 51 |
| HUV9_A+B | 80 | 39,437 | |
| MEY9_A | 40 | 21,989 | 55 |
| MEY9_B | 40 | 12,19 | 30 |
| MEY9_A+B | 80 | 39,273 | |
| BNS9_A | 40 | 14,935 | 37 |
| BNS9_B | 40 | 14,246 | 36 |
| BNS9_A+B | 80 | 29,181 | |

Z výsledků uvedených v Tab. 9-6 a graficky zobrazených v Obr. 9-3 plyne, že výstavba nové transformační stanice Klusáčkova zajistí do budoucna spolehlivé napájení severní části města Brna a zároveň odlehčí námi zmiňované trafostanice.



Obr. 9-3 Zatížení a instalovaný výkon jednotlivých transformačních stanic do roku 2020

Výstavba nové transformační stanice Klusáčkova by měla být realizována po roce 2015. Tento závěr plyne z hodnot zatížení transformačních stanic uvedených v Tab. 9-4, kde zatížení transformační stanice Medlánky (MEY) je pro rok 2015 na hranici přetížení.

9.3.2 Kontrola zatížení elektrických vedení

Z výpočtu ustáleného chodu DS sítě pro rok 2020 vyplývá, že do budoucna budeme muset počítat s přetěžováním jednotlivých úseků uvedených v Tab. 9-7. Tyto hodnoty lze brát pouze orientačně, jelikož navýšení kmenových linek vypočítaných na základě trendu vzrůstu zatížení v takovém časovém rozpětí je zpravidla nereálné.

Proudové zatížení sítě města Brna pro rok 2020 s napájecím uzlem Klusáčkova je uvedeno v příloze I.

Tab. 9-7 Zatížení jednotlivých vedení v roce 2020

| Vedení | Úsek vedení | Typ | Průřez [mm] | I [%] | I _{max} [A] |
|-------------|-------------|--------------|-------------|-------|----------------------|
| 1_VN162_XX | VN162 | AlFe | 110 | 74 | 409 |
| KABEL11975 | VN166 | AXEKVCEY | 240 | 79 | 417 |
| KABEL13893 | VN259 | AXEKVCEY | 240 | 82 | 417 |
| KABEL16722 | VN236 | AXEKVCEY | 240 | 78 | 417 |
| KABEL17890 | VN1341 | AXEVCEY | 240 | 94 | 413 |
| KABEL20409 | VN1341 | AXEVCEY | 240 | 92 | 413 |
| KABEL20410 | VN1341 | AXEVCEY | 240 | 92 | 413 |
| KABEL817X | VN259 | AXEKVCEY | 240 | 90 | 417 |
| KABEL872X | VN259 | ANKTOYPV | 240 | 90 | 413 |
| KABEL8749 | VN259 | AXEKCY | 240 | 89 | 413 |
| SLOUCENI212 | VN236 | ANKTOYPV | 240 | 79 | 413 |
| SLOUCENI330 | VN259 | ANKTOYPV | 240 | 94 | 413 |
| SLOUCENI334 | VN259 | ANKTOYPV | 240 | 89 | 413 |
| SLOUCENI383 | VN259 | ANKTOYPV | 240 | 88 | 413 |
| SLOUCENI390 | VN259 | K_NA2XS(F)2Y | 240 | 105 | 417 |

| Vedení | Úsek vedení | Typ | Průřez [mm] | I [%] | I _{max} [A] |
|------------|-------------|------------|----------------|----------|-------------------------|
| VEDK52137 | VN162 | AlFe | 95 | 77 | 309 |
| VEDK52286 | VN1375 | AlFe | 120 | 79 | 362 |
| VEDK52307 | VN1375 | AlFe | 120 | 78 | 362 |
| VEDK52412 | VN1375 | AlFe | 120 | 79 | 362 |
| VEDK52440 | VN162 | AlFe | 95 | 75 | 309 |
| VEDK52449 | VN162 | AlFe | 110 | 76 | 409 |
| VEDK52451 | VN163 | AlFe | 95 | 75 | 309 |
| VEDK52463 | VN1375 | AlFe | 120 | 78 | 362 |
| VEDK52943 | VN69 | AlFe | 110 | 81 | 409 |
| VEDK85748 | VN162 | AlFe | 95 | 84 | 309 |
| VEDK86794 | VN162 | AlFe | 95 | 76 | 309 |
| VEDK86802 | VN166 | AlFe | 110 | 81 | 409 |
| Kabel_bvv2 | BVV | NA2XS(F)2Y | 240 | 88 | 417 |

10 TECHNICKÉ VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

10.1 Transformační stanice Moravany

Pro zabezpečení napájení jižní části města Brna je potřeba vybudovat novou plně zapouzdřenou transformační stanicí 110/22 kV. Pro umístění rozvodny byla vybrána lokalita k.ú. Moravany, která bude napájena do stávající distribuční sítě 110 kV.

Tato stavba řeší výstavbu rozvodny 110/22 kV a související stavební objekty. Navazující stavby řeší zaústění vedení VN a VVN.

Rozvodna bude kompletně vybavena. V 1. etapě bude instalován jeden transformátor se jmenovitým výkonem 40 MVA.

10.1.1 Rozvodna 110 kV

Rozvodna bude řešena jako vnitřní plně zapouzdřena typu "H" s jedním systémem přípojníc, kde budou dva vývody na venkovní linku VVN5557, dva vývody na transformátory 110/22 kV a dva odpojovače s podélným dělením.

Viz. schéma rozvody 110 kV - příloha J.

Rozvodna 110kV bude umístěna v 2 NP viz. dispozice rozvodny R 110/22 kV - příloha K.

Na nadzemní venkovní vedení VVN5557 bude rozvodna napojena venkovním vedením z nového podpěrného bodu - odbočného, vloženého do trasy stávajícího vedení.

Na vývodech budou umístěny omezovače přepětí. Rozvodna bude dimenzována pro dva transformátory o maximálním výkonu 40 MVA. Rozvaděče ochran budou umístěny prostorově vedle zapouzdřené rozvodny ve stejné místnosti.

Rozvodna 110 kV

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Jmenovité napětí | 110 kV |
| Největší provozní napětí | 123 kV |
| Soustava | 3~50 Hz, 110 kV / TT |
| Jmenovitý zkratový vypínací proud | 20 kA |
| Zkratová odolnost | 50 kA |
| Jmenovitý proud přípojníc min. | Min. 5000 kVA |

10.1.2 Transformátory 110/22 kV

Na stanovišti transformátoru bude osazen jeden výkonový transformátor 110/22 kV o jmenovitém výkonu 40 MVA. Obě stanoviště budou otevřená se střešním přístřeškem. Parametry transformátorů budou voleny s ohledem na jeho umístění v zastavěné oblasti.

10.1.3 Tlumivky

Do uzlu transformátoru bude připojena zhášecí samostatně laditelná tlumivka s paralelně připojeným odporníkem. Do budoucna je uvažováno s instalací dvou samostatně laditelných tlumivek a uzlový odpor. V rámci této stavby bude osazena pouze jedna tlumivka o výkonu 5000 kVar/ 380 A viz. příloha K.

10.1.4 Vlastní spotřeba

Bude umístěna v I. NP vedle místnosti rozvodny 22 kV. Transformátory vlastní spotřeby T21 a T22 budou o jmenovitém výkonu 160 kVA. Transformátor T21 bude napájen ze skříně nové R22 kV - viz. schéma rozvodny 22 kV.

10.1.5 Rozvodna 22 kV

Rozvodna 22 kV je umístěna v I. NP budovy viz. příloha K. Je navržena s dvou systémovým rozvaděčem 22 kV s izolací SF6. Rozměrově musí být místnost rozvodny navržena na instalaci celkem 25 polí. V této etapě bude vybaveno celkem 16 polí v rozsahu: 8 x pole vývodů vn, 1 x vlastní spotřeba, 1 x příčný spínač přípojnic, 2 x pole podélně dělené, 2 x pole měření, 2x pole transformátorů (T102 a T101). Jednopolové schéma rozvodny 22 kV viz. příloha L.

Základní elektrické parametry R 22 kV

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Soustava: | 3~50 Hz, 110 kV / IT, uzel uzemněný přes tlumivku/odpor |
| Jmenovité napětí sítě: | 22 kV |
| Největší provozní napětí sítě: | 24 kV |
| Počet přípojnic: | 2 |
| Jmenovitý proud přípojnic: | Min. 1600 A |
| Jmenovitý proud přívodu od trať T 101 110/22kV (max. 40 MVA): | 1250 A |
| Jmenovitý proud příčné spojky přípojnic: | 1250 A |
| Jmenovitý proud ostatních vývodů: | 630 A |
| Jmenovitý proud odpínače ve vývodu k transformátoru vlastní spotřeby: | 200 A |
| Jmenovitý kmitočet: | 50 Hz |
| Střídavé výdržné napětí: | 50 kV efekt. |
| Základní izolační hladina (1,2/50 ms): | 125 kA |
| Zkratová odolnost: | Min. jmenovitý krátkodobý proud (I_{th}) 20 kA/ 1s Jmenovitý dyn. proud 50 kA |

Popis polí rozvodny VN

| | |
|------------------------------------------|-------------------------------------|
| AJA 1,2 - prostorová rezerva | AJA11 - měření WA1, WB1 |
| AJA3 - kabelový vývod na vedení VN 1375 | AJA12 - podélná spojka přípojnic WA |
| AJA4 - kabelový vývod VN 1232 směr JULI | AJA13 -podélná spojka přípojnic WB |
| AJA5 - kabelový vývod VN 1275 směr BIBUS | AJA14 - měření WA2, WB2 |
| AJA6 - kabelový vývod VN 1376 | AJA15 - vlastní spotřeba T21 |
| AJA7 - kabelový vývod na vedení VN 164 | AJA16 - T 102 |

AJA8 - kabelový vývod VN 1343 - VS T22

AJA9 - T 101

AJA10 - příčný spínač přípojnic

AJA17 - kabelový vývod na vedení VN165

AJA18 - kabelový vývod VN1377 směr ABB

AJA19 - příčný spínač přípojnic

AJA 20, 21, 22, 23, 24 - II etapa prostorová r.

Pozn. AJA - pole rozvodny VN

10.1.6 Ochrany a řídicí systém

V II. NP budovy rozvodny 110/22 kV budou vytvořené dvě místnosti pro umístění rozváděčů ochran, mikrodispečinku, rozváděčů řídicího systému, přenosových zařízení a optických propojů viz. příloha K - Stavební dispozice R 110/22 kV.

10.1.7 Vyvedení výkonu z rozvodny Moravany a úprava sítě VN

Z rozvodny Moravany bude v I. etapě vyvedeno 8 kabelových vývodů VN, kde 6 vývodů bude vedeno na volné vedení a dva budou tvořit vnitřní průmyslový okruh v průmyslovém areálu ABB a IVEP.

Vyvedení jednotlivých vývodů z rozvodny Moravany:

- Z pole č. 3: vedeno kabelové vedení č. 1375 k stávajícímu vedení VN1232.
- Z pole č. 4: vedeno kabelové vedení č. 1232 směr Juliánov (volné vedení).
- Z pole č. 5: vedeno kabelové vedení č. 1275 směr BIBUS (volné vedení).
- Z pole č. 6: vedeno kabelové vedení č. 1376 průmyslový kab. okruh.
- Z pole č. 7: vedeno kabelové vedení č. 164 (volné vedení).
- Z pole č. 8: vedeno kabelové vedení č. 1343 vlastní spotřeba T22, dále směr Butik, Carefour.
- Z pole č. 17: vedeno kabelové vedení č. 165 (volné vedení).
- Z pole č. 18: vedeno kabelové vedení č. 1377 průmyslový kab. okruh přes IVEP, ABB.

Výkresová dokumentace jednotlivých tras kabelů uvedena v příloze M.

10.2 Transformační stanice Bohunice

S výstavbou transformační stanice 110/22 kV Moravany souvisí další investice a to přepojení vedení VN v rozvodně Bohunice (BOB9). Cílem je převést veškerou venkovní a smíšenou síť VN napájenou v současné době z rozvodny Bohunice na rozvodnu Moravany, která je v první etapě své výstavby určena pro napájení venkovní sítě v jižní části města Brna a okolí. Dále bude k transformátoru T102 v Bohunicích doplněn uzlový odporník tak, aby oba transformátory mohly pracovat do kabelové sítě města Brna.

10.2.1 Rozvodna 22 kV Bohunice

V rozvodně 22 kV bude vybudována samostatná část rozvodny, která bude napájena z rozvodny 110/22 kV Moravany. Rozvodna bude umístěna ve stávajících kobkách. Kobka č. 24: kabel VN1233, kobka č. 26: vlastní spotřeba, kobka č. 28: kabel VN162, kobka č. 30: kabel VN1232, kobka č. 34: příčná spojka přípojnic. Vedení V1233, V1232 a V162 budou převedeny z rozvodny Bohunice, dále bude převedena vlastní spotřeba napájená z T101 na napájení z rozvodny Moravany. U transformátoru T102 bude demontována tlumivka a instalován uzlový odporník.

Silová část rozvodny bude podélně dělená, kde na přípojnicích A i B bude umístěn 2 x odpojovač pro montáž na stěnu a na pomocné přípojnicích bude jeden odpojovač pro montáž na stěnu. Toto podélné dělení obou hlavních přípojnic bude umístěno na zdi rozvodny po obou stranách zdi přístavky. Podélné dělení pomocné přípojnice bude umístěno na zdi rozvodny v místech přístavby.

10.2.2 Rozvodna 110 kV

V prostoru stání transformátorů 110/22 kV bude demontována tlumivka L2 ZTC400, 5000 kVA a bude demontován venkovní odpínač mezi uzlem T101 a tlumivkou L2.

Na uvolněný základ bude umístěn odporník NER 1000/50/22, který bude připojen přes stávající venkovní odpínač

Bude demontováno napojení vlastní spotřeby T22 ze sekundárního vinutí transformátoru T101 a vlastní spotřeba bude napájena z R22 kV kobka č. 26.

Přepojení rozvodny VN Bohunice - příloha N

Přepojení a rekonstrukce kabelů VN:

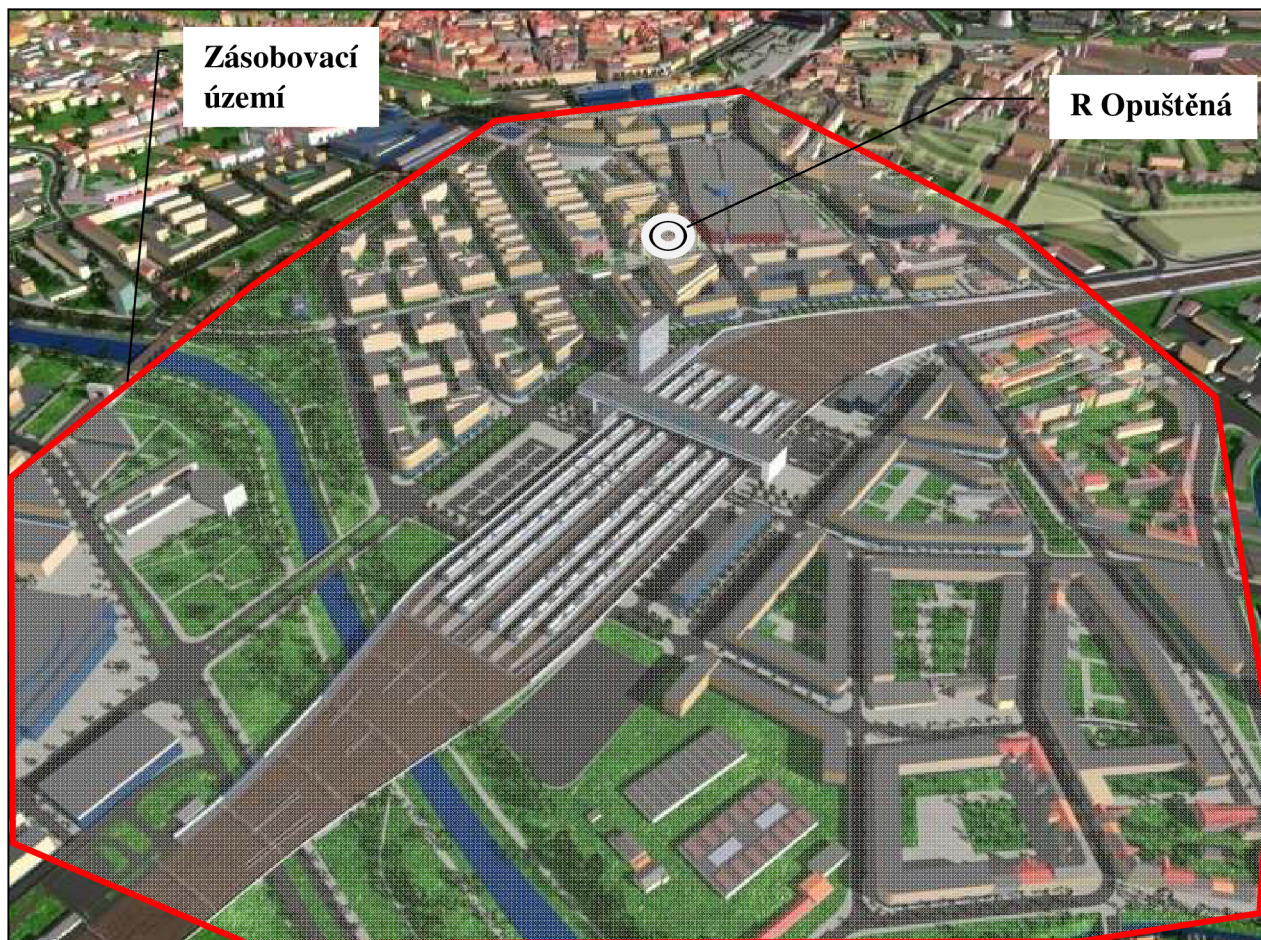
- Kabelové vývody VN1232, VN162 a VN1368 budou před rozvodnou přerušeny. Nové konce kabelu před rozvodnou budou naspojovány nové vývody a zaústěny do kobek č. 30 (VN1232), č. 28 (VN162), č. 22 (VN1368).
- Kabelový vývod VN1233 bude odpojen z kobky č. 9 a tato kobka zůstane jako rezerva.
- Kabel VN1233 bude zapojen do uvolněné kobky č. 24.
- Kabel VN1274 bude zapojen do stávající kobky č. 15.

10.2.3 Řídící technika a ochrany

Stávající řídicí systém není možné rozšířit, z tohoto důvodu bude nahrazen systémem Siemens SicamPAS. Nové kobky budou osazeny multifunkčními terminály, které budou zapojeny přes duální optický kruh. Komunikační protokol bude IEC61850. Nový řídicí systém se umístí do nových prostorů v prvním patře.

10.3 Transformační stanice Opuštěná

Výstavba nového napájecího uzlu Opuštěná bude sloužit především k zásobování elektrickou energií nově vznikajících míst souvisejících s přesunem železničního nádraží a zajištění městské struktury v oblasti Trnitá. Bez tohoto napájecího uzlu není možné zabezpečit požadavky nových odběratelů v tomto území. Tyto nové odběry souvisí s přesunem železničního uzlu a patří mezi ně např. komerční zastřešení, měnírna DP Trnitá, dostavba Tesca, AUPARK, CTP Heršpická, čerpací protipovodňová stanice, napájení jižního diametralu a další.



Obr. 10-1 Umístění nové rozvodny Opuštěná v zastavovací studii [17]

Začlenění rozvodny 110/22 kV bylo navrženo na základě výpočtu chodu sítě v programu Bizon. Předpokládané zatížení oblasti bude 40 - 50 MW.

S výstavbou rozvodny 110/22 kV Opuštěná (BNO) souvisí stavby: kabelový kanál Brno Trnitá, kabel 110 kV Brno Trnitá, vývody VN z R Opuštěná 1. část, vývody VN z R Opuštěná 2. část.

Situace a rozmístění rozvodna 110/22 kV Brno Opuštěná - příloha O

10.3.1 Rozvodna 110 kV

Rozvodna 110 kV bude vnitřní plně zapouzdřená typu „H“ s jedním systémem přípojníc v rozsahu: kabelový vývod VVN5051 (BNT), kabelový vývod VVN5052 (BNP), dva vývody na transformátory 110/22 kV a dva odpojovače s podélným dělením. Bude osazena dvěma transformátory 110/22 kV o jmenovitém výkonu 2 x 40 MVA.

Zapouzdřená rozvodna 110 kV Brno Opuštěná - příloha P.

Rozvodna 110 kV

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Jmenovité napětí | 110 kV |
| Nejvyšší provozní napětí | 123 kV |
| Soustava | 3~50 Hz, 110 kV / IT |
| Jmenovitý zkratový vypínací proud | 25 kA |

| | |
|--------------------------------|----------|
| Jmenovitý zapínací proud | 63,5 kA |
| Zkratová odolnost | 5000 MVA |
| Jmenovitý proud přípojnic min. | 2000A |

10.3.2 Odporník

Nulový bod transformátoru T101 a T102 bude připojen na straně VN přes uzlový odporník.

10.3.3 Vlastní spotřeba

Transformátory vlastní spotřeby T21 a T22 o jmenovitém výkonu 160 kVA budou umístěny vedle místností rozvodny 22 kV s tím, že transformátor T21 bude napájen z nové R22 kV – viz. příloha Q: Jednopolové schéma rozvodny 22 kV Opuštěná. Transformátor T22 bude napojen z kompaktního rozvaděče VN s izolací SF6, který bude vřazen kabelovou smyčkou do vedení VN1389.

10.3.4 Rozvodna 22kV

Rozvodna 22 kV bude skříňová s SF6, sestavena ze zapouzdřených, bezúdržbových rozvaděčů s dvojitým systémem přípojnic s podélným dělením.

Základní elektrické parametry R 22 kV

| | |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Soustava: | 3~50 Hz, 110 kV / IT, uzel uzemněný přes odpor |
| Jmenovité napětí sítě: | 22 kV |
| Největší provozní napětí sítě: | 25 kV |
| Počet přípojnic : | 2 |
| Jmenovitý proud přípojnic: | Min. 1600 A |
| Jmenovitý proud přívodu od trafa T 101 110/22kV (max. 40 MVA): | 1250 A |
| Jmenovitý proud přívodu od trafa T 102 110/22kV (max. 40 MVA): | 1250 A |
| Jmenovitý proud příčné spojky přípojnic: | 1250 A |
| Jmenovitý proud ostatních vývodů: | 1250 A |
| Jmenovitý kmitočet: | 50 Hz |
| Střídavé výdržné napětí: | 50 kV efekt. |
| Základní izolační hladina (1,2/50 ms): | 125 kA |
| Zkratová odolnost: | Min. jmenovitý krátkodobý proud (I_{th}) 20 kA/ 1s Jmenovitý dyn. proud 50 kA |

Popis polí rozvodny VN:

| | |
|-------------------------------|----------------------------------|
| AJA 1, 2 - prostorová rezerva | AJA 14 - měření WA, WB |
| AJA 3 - kabelový vývod VN1390 | AJA 15 - příčný spínač přípojnic |

| | |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| AJA 4 - kabelový vývod VN1392 | AJA 16 - vlastní spotřeba T21 |
| AJA 5 - kabelový vývod VN1360 směr CTP | AJA 17 - T102 |
| AJA 6 - kabelový vývod VN270 směr BNJ | AJA 18 - kabelový vývod VN1361 směr CTP |
| AJA 7 - kabelový vývod VN1394 | AJA 19 - kabelový vývod VN1393 |
| AJA 8 - kabelový vývod VN1342 směr Stroj. | AJA 20 - kabelový vývod VN269 směr BNJ |
| AJA 9 - T101 | AJA 21 - kabelový vývod VN1389 |
| AJA 10 - příčný spínač přípojníc | AJA 22 - kabelový vývod VN 1391 |
| AJA 11 - měření WA, WB | AJA 23 - kabelový vývod VN231 směr Svato. |
| AJA 12 - podélný spínač přípojníc WA | AJA 24, 25, 26 - prostorová rezerva |
| AJA 13 - podélný spínač přípojníc WB | |

10.3.5 Ochrany a řídicí systém

V II.NP budovy rozvodny 110/22 kV budou vytvořeny dvě místnosti pro umístění rozváděčů ochran, mikrodispečinku, rozváděčů řídicího systému, přenosových zařízení a optických propojů viz. příloha O - Stavební dispozice R 110/22 kV.

Pro linku VVN budou nasazeny multifunkční terminály 7SA632 s funkcí distanční ochrany jako hlavní ochrany budou 7SD522. Pole transformátorů budou osazeny multifunkčními terminály 7UT612. Pro chránění přípojníc 110 kV budou použity ochrany 7UT635.

10.3.6 Kabelové vývody VN

Kabely VN budou vyvedeny kabelovým prostorem z rozvodny VN v TR Opuštěná do podpovrchového průchozího kabelového kanálu, který bude umístěn pod základy parkovacího domu nebo v jeho suterénu. Dále povede trasa podpovrchovým kolektorem Opuštěná. Uložení kabelů VN bude umístěno na 7 nově vybudovaných lávkách na pravé straně budovy. Jedna lávka bude sloužit k uložení sdělovacích optokabelů. Na protilehlé straně budou situovány tři lávky pro uložení kabelů 110 kV (příloha R).

Odbočení kabelových sítí z kolektoru do kabelového kanálu bude muset být řešeno vyříznutím otvoru ve stěně kolektoru, jelikož je omezen horkovodním potrubím DN 300. Vedení kabelů musí být řešeno tak, aby byla respektována minimální vzdálenost mezi kabely a pláštěm izolace horkovodu 200 mm. Otvor o rozměrech 2000 x 1000 umožní odbočení všech požadovaných kabelů. Viz. příloha S - trasa kabelů.

Do kolektoru Opuštěná bude z R Opuštěná vedeno 10 kabelů VN uložených v kabelových kanálech. Kabely VN1342 a VN1391 budou umístěny v kolektoru Opuštěná, kde navážou na původní kabelové vedení VN1242.

Kabely VN1360, VN1361, VN1392, VN1393 z rozvodny Opuštěná budou od prostupů převedeny pod stropem kolektoru do kabelových lávek, kde budou naspojovány na stávající přerušené kabely VN1360, VN1361.

Kabely VN269, VN270, VN1389 a VN1390 budou převedeny od prostupů pod stropem kolektoru Opuštěná do kabelových lávek a budou pokračovat ke konci kolektoru Opuštěná.

Dále budou uloženy v terénu souběž s trasou VN a před drážním tělesem naváží na kabely VN269 a VN270. Na volné konce stávajících kabelů směr BNJ budou naspojovány vedení č. 269 a 270 v místě stávajících spojek. Na volné konce vedení směr BNT budou naspojovány kabely č. 1389 a 1390. Kabely budou přečíslovány.

10.4 Transformační stanice Klusáčkova

Pro zabezpečení napájení severní části města Brna bude potřeba vybudovat novou plně zapouzdřenou transformační stanici 110/22 kV. Pro umístění rozvodny byla vybrána stávající spínací stanice na ulici Klusáčkova (BNS), která je již prostorově vybudována pro doplnění části VVN. Transformovna VVN/VN bude napájena kabelovou smyčkou 110 kV z plánovaného kabelového vedení 110 kV Příkop - Výtopna Červený mlýn. Trasa napájení rozvodny 110 kV je uveden v příloze T.

10.4.1 Rozvodna 110 kV

Rozvodna bude řešena jako vnitřní plně zapouzdřena typu "H" s jedním systémem přípojníc, kde budou dva vývody na venkovní linku, dva vývody na transformátory 110/22 kV a dva odpojovače s podélným dělením.

Rozvodna 110 kV

| | |
|-----------------------------------|----------------------|
| Jmenovité napětí | 110 kV |
| Nejvyšší provozní napětí | 123 kV |
| Soustava | 3~50 Hz, 110 kV / IT |
| Jmenovitý zkratový vypínací proud | 25 kA |
| Jmenovitý zapínací proud | 63,5 kA |
| Zkratová odolnost | 5000 MVA |
| Jmenovitý proud přípojníc min. | 2000A |

10.4.2 Odporník

Nulový bod transformátoru T101 a T102 bude připojen na straně VN přes uzlový odporník.

10.4.3 Vlastní spotřeba

Transformátory vlastní spotřeby T21 a T22 budou o jmenovitém výkonu 160 kVA. Transformátor T21 bude napájen ze skříně R 22 kV.

10.4.4 Rozvodna 22 kV

Zůstane stávající.

10.4.5 Ochrany a řídicí systémy

Řídicí systém bude vybaven systémem Siemens SicamPAS. Nové kobky budou osazeny multifunkčními terminály, které budou zapojeny přes duální optický kruh. Komunikační protokol bude IEC61850.

11 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT

11.1 Ekonomické hodnocení souboru staveb R 110/22 kV Moravany

Výstavba R 110/22 kV Moravany by měla probíhat ve dvou etapách, kde v první etapě bude vybudována rozvodna 110/22 kV s jedním transformátorem 40 MVA, provedeno zaústění linek VVN (V5557 a V5558) a dále zaústění rozvodů VN. Na základě výpočtu ustáleného chodu v programu Bizon bylo stanoveno zatížení transformátoru na 16 MW.

V druhá etapě proběhne rozšíření rozvodny 22 kV osazením druhého transformátoru (110/22 kV, 40 MVA), instalace odporníku a zaústění dalších kabelových vedení. Zatížení druhého transformátoru bude předpokládáno ve výši 17,8 MW.

Náklady spojené s výstavbou transformační stanice 110/22 kV Moravany zahrnující obě etapy a jsou uvedeny v Tab. 11-1. Podrobný popis je uveden v příloze U.

Tab. 11-1 Přehled posuzovaných investičních nákladů

| Název investiční akce | Výše investice [Kč] |
|----------------------------------------------------------|------------------------|
| R110 kV Moravany u Brna (MOB) | 147.004.703 |
| R110 kV Moravany u Brna (MOB) - zaústění V 5557, 5558 | 4.966.500 |
| R 110kV Moravany u Brna - zaústění VN 1. ETAPA | 25.748.400 |
| Vybavení druhého trafa 110/22kV, 40MVA | 20.400.000 |
| Rozšíření rozvodny VN | 10.000.000 |
| Vývod VN do kabelové sítě | 40.000.000 |
| Celkem | 248.119.603 |

Pro výpočet hodnocení efektivnosti investic jsme použili model v programu Microsoft EXCEL, který používá firma E.ON a.s., útvar Controllingové systémy. Do tohoto modelu jsme zadali celkovou investici uvedenou v Tab. 11-1 a předpoklady výpočtu uvedené v Tab. 11-2.

Tab. 11-2 Předpoklady výpočtu

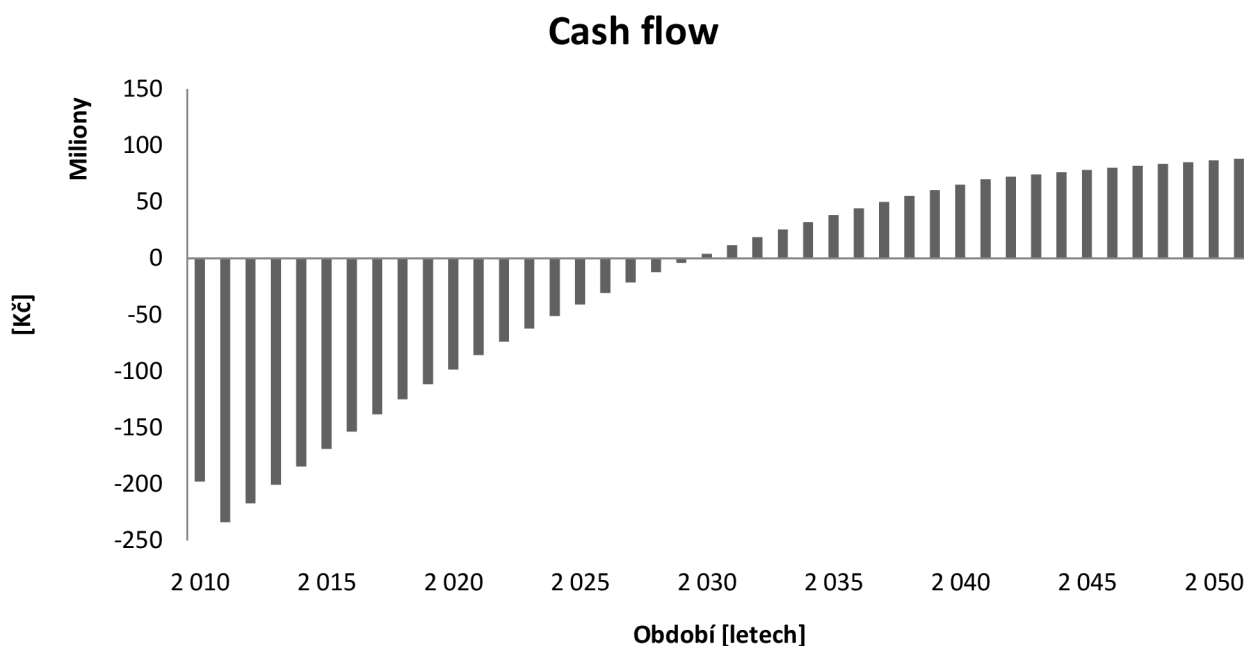
| | |
|------------------------------------------------------|----------------------------|
| Doba využití maximálního zatížení rozvodny | 5200 h r ⁻¹ |
| Roční provozní náklady | 500 000 Kč r ⁻¹ |
| Doba hodnocení projektu (odpisování vedení VVN a VN) | 40 let |
| Výnosy spojené s DŘSR | 17 let |
| Technologie rozvodny | 30 let |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Diskontní sazba | 7,4% |
| Meziroční nárůst zatížení rozvodny | 3% |
| Inflace | 2,5% p.a. |

Tab. 11-3 Výsledky efektivnosti investice

| | |
|--------------------------------------------|----------------------|
| NPV (čistá současná hodnota) | 88 166 205 Kč |
| IRR (vnitřní výnosové procento) | 9,99% |
| DPP (diskontovaná doba návratnosti) | 19 let |

Na základě námi zadaných parametrů model v programu Microsoft EXCEL vypočítal tři metody používané pro vyhodnocení investic (NPV, IRR, DPP). Dané výsledky jsou uvedeny v Tab. 11-3. Na Obr. 11-4 je graficky zobrazen peněžní tok v období 40 let.



Obr. 11-1 Peněžní tok v období 40 let

11.2 Ekonomické hodnocení souboru staveb R 110/22 kV Opuštěná

S výstavbou transformační stanice 110/22 kV Opuštěná souvisí řada dalších investičních nákladů jako je zaústění vedení, úprava kolektoru atd.. Tyto náklady jsou stručně vypsány v Tab. 11-3. Podrobný popis je uveden v příloze U.

Tab. 11-4 Přehled posuzovaných investičních nákladů

| Název investiční akce | Výše investice [Kč] |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|
| Technologie R 110/22 kV | 100.000.000 |
| Zaústění vedení 110 kV a 22 kV | 53.000.000 |
| Stavební část R 110/22 kV | 43.000.000 |
| Stavební část – kabelový kanál + úprava primárního kolektoru | 46.000.000 |
| VRN, project, inženýrská činnost, rezerva | 10.000.000 |
| Celkem | 280.000.000 |

Na základě nákladů uvedených v Tab. 11-3 a předpokladů uvedených v Tab. 11-4 jsme si vypočítali tři metody pro vyhodnocení efektivnosti investic: metodu čisté současné hodnoty, metodu diskontovaných nákladů a metodu vnitřního výnosového procenta. Pro výpočet efektivnosti investic jsme použili model, který používá firma E.ON a.s., útvar Controllingové systémy.

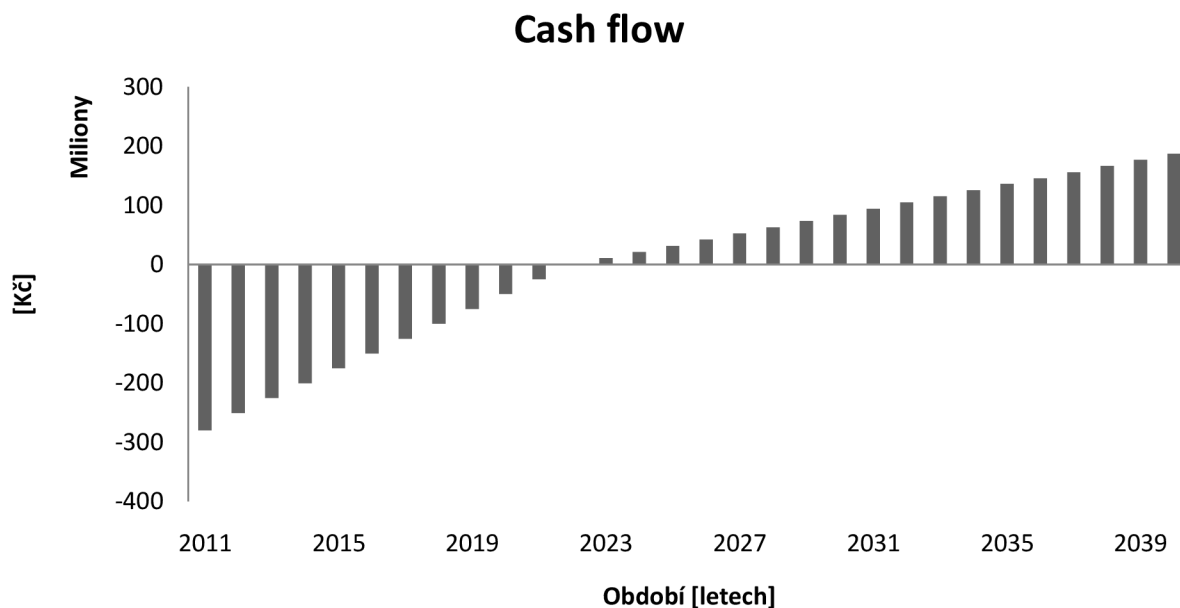
Tab. 11-5 Předpoklady efektivnosti investice

| | |
|------------------------------------------------------|------------------------|
| Doba využití maximálního zatížení rozvodny | 5000 h r ⁻¹ |
| Průměrné zatížení rozvodny | 40 MW |
| Doba hodnocení projektu (odpisování vedení VVN a VN) | 30 let |
| Meziroční nárůst zatížení rozvodny | 3 % |
| Inflace | 1,5 % p.a. |
| WACC (vážený průměr nákladů na kapitál) | 9,1 % |

Tab. 11-6 Výsledky efektivnosti investice

| | |
|--------------------------------------------|-----------------------|
| NPV (čistá současná hodnota) | 187 282 088 Kč |
| IRR (vnitřní výnosové procento) | 14,81 % |
| DPP (diskontovaná doba návratnosti) | 13 let |

Výsledky hodnocení efektivnosti investic jsou uvedeny v Tab. 11-5. Na Obr. 11-2 je graficky zobrazen peněžní tok dané investice v období 30 let.



Obr. 11-2 Peněžní tok v období 30 let

11.3 Ekonomické hodnocení stavby R 110/22 kV Klusáčkova

Náklady spojené s výstavbou transformační stanice 110/22 kV Klusáčkova jsou stručně uvedeny v Tab. 11-7.

Vzhledem k tomu, že tato stavba bude realizována až po roce 2015, je obtížné hodnotit tuto investici, a proto jsou výsledky uvedené v Tab. 11-7 pouze orientační.

Tab. 11-7 Přehled posuzovaných investičních nákladů

| Název investiční akce | Výše investice [Kč] |
|-----------------------------------------|------------------------|
| R110 kV Klusáčkova (BNS) | 130.000.000 |
| R110 kV Klusáčkova (BNS) - zaústění VVN | 40.000.000 |
| Vybavení transformátorů 110/22kV, 40MVA | 40.000.000 |
| Rozšíření rozvodny VN | 10.000.000 |
| Celkem | 220.000.000 |

12 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo provést analýzu současného stavu distribuční sítě města Brna, navrhnout opatření pro zajištění dodávky elektrické energie v předepsaném množství, kvalitě a spolehlivosti koncovým spotřebitelům do roku 2015 a zhodnotit stav do roku 2020 související s výstavbou transformační stanice Klusáčkova. Dále provést technické a ekonomické vyhodnocení navržených variant úpravy sítě.

Návrh této studie jsme provedli v programu PAS DAISY Off-Line v.4.00 Bizon.

Při výpočtu aktuálního ustáleného stavu jsme vycházeli z hodnot zimního měření kmenových linek proudu pro rok 2011 a současného dispečerského schématu. Výsledky výpočtu poukazují na určité problémy. Transformátor pracující do kabelové sítě v Bohunicích začíná být přetěžován, v podobném stavu se nachází transformační stanice v Husovicích, kde by bylo vhodné přenést část zatížení na transformovnu Teplárna Brno, popřípadě transformovnu v Medlánkách či Lišni. Všechna vedení vyhověla požadavkům bezpečného a spolehlivého provozu distribuční sítě.

Pro výpočet ustáleného chodu v dalších letech bylo potřeba vypočítat trend vzrůstu zatížení, při kterém jsme vycházeli z hodnot zimního měření soudobého zatížení na úrovni 22 kV v období 2001 – 2011. Ke stanovení trendu nárůstu zatížení jsme použili metodu extrapolaci. Pomocí metody nejmenších čtverců byla spočítána rovnice korelační křivky $y = 244,992 \cdot e^{0,0268x}$, kde x je rozdíl let. Meziroční nárůst zatížení pro danou napěťovou hladinu vyšel 2,74%.

U návrhu rekonstrukce distribuční sítě jsem vycházeli z koncepce rozvoje distribuční sítě firmy E.ON Distribuce a.s., kde jsme ověřovali tyto záměry z hlediska stávajícího vývoje zatížení ve městě Brně.

Při výpočtu ustáleného chodu s novou transformační stanice Moravany pro rok 2015 jsme vycházeli z požadavku velkoodběratelů na základě uzavřených smluv o velkoodběru elektrické energie do roku 2015. Navýšili jsme proudové zatížení kmenových linek na základě vypočítaného trendu spotřeby a následně provedli jejich dopočet. Do aktuálního modelu jsme dokreslili transformační stanici Moravany, která bude osazena transformátorem s instalovaným výkonem 40MVA. S dokreslením TR Moravany souviselo přepojení vedení VN v rozvodně Bohunice tak, aby veškeré venkovní a smíšená síť VN napájené v současné době z rozvodny Bohunice byla převedena na rozvodnu Moravany. Výpočtem ustáleného chodu sítě bylo zjištěno, že vybudování transformační stanice Moravany zabezpečí napájení jižní části města Brna. Odlehčí se zejména transformační stanice v Bohunicích, popř. může převzít část zatížení z Teplárny Brno. Dále zde docházelo k přetěžování transformátoru v Medlánkách, kde by bylo vhodné přerozdělit zatížení na transformační stanici Husovice. Proudové zatížení nepřesahuje 70% nominální hodnoty, považujeme ho tedy za bezpečné a spolehlivé z hlediska provozu distribuční sítě.

K předešlé variantě modelu s napájecím uzlem Moravany jsme domodelovali napájecí uzel Opuštěná a veškerá vedení související s touto stavbou. TR Opuštěná bude osazena transformátory s instalovaným výkonem 2 x 40 MVA. Výstavbou nového napájecího uzlu vzniknou nové velkoodběry související s přesunem železničního nádraží, které jsou doplněny v modelu. Na základě výsledku ustáleného chodu sítě nám výstavba nového napájecího uzlu zajistí napájení „Jižního centra“ města Brna, dále zajistí požadavky nových odběrů v tomto území a odlehčí Teplárnu Brno. Zatížení vedení vyhověla požadavkům bezpečného a spolehlivého provozu distribuční sítě.

Dalším krokem bylo zjistit, kdy bude potřeba vybudovat transformační stanici Klusáčkova, která by měla být v budoucnu osazena dvěma transformátory o instalovaném výkonu 40 MVA. Vycházeli jsme z předešlého modelu s transformační stanicí Opuštěná. V tomto modelu jsme pouze změnili typ stanice Klusáčkova, a to z odběrové na napájecí a provedli změnu transfigurace DS sítě, tak abychom odlehčili transformační stanici Medlánky. Dále jsme navýšili proudové zatížení kmenových linek na základě vypočítaného trendu spotřeby do roku 2020, provedli jejich dopočet a následně vypočítali ustálený chod sítě. Z výsledku je zřejmé, že nová transformační stanice Klusáčkova nám zajistí spolehlivé napájení severní části města Brna a zároveň odlehčí transformační stanici Medlánky, která je dle výpočtu v roce 2015 na hranici přetížení. Výstavba nové transformační stanice Klusáčkova by měla být realizována po roce 2015, toto vyplývá ze zjištění, že transformační stanice Medlánky je dle výpočtu v roce 2015 na hranici přetížení.

Závěr práce se zabývá technickým a ekonomickým vyhodnocením navržených variant úprav sítě, při kterém jsem vycházeli z podkladů firmy E.ON, Distribuce a.s..

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BLAŽEK, V., SKALA, P.: *Distribuce elektrické energie*. VUT v Brně, Brno, 2003, 140 stran.
- [2] LADISLAV, M. *Koncepce sítě 22 kV*. E.ON Česká republika, s.r.o., Směrnice ECZR-PP-AO-056.0, 2008.
- [3] PAVLOVSKÝ, B.: *Elektrické sítě v městech a sídlištích*. SNTL, 1.vydání, Praha, 1975, 428 stran, 2-0744.793.
- [4] HALUZÍK, E.: *Řízení provozu elektrizačních soustav*. VUT v Brně, Brno, 1983, 125 stran.
- [5] KUČERA, D.: *Přenos a rozvod elektrické energie*. VUT v Brně, Brno, 1989, 198 stran.
- [6] Orságová, J.: *Elektrické stanice a vedení*. VUT v Brně, Brno, 2008, 136 stran.
- [7] SANTARIUS, P.: *Elektrické sítě a vedení*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2.vydání, Ostrava, 2002, 114 stran, ISBN 80-248-0175-2.
- [8] Technické sítě Brno [online]. 2011 [cit.2011-02-20]. <http://www.tsb.cz/nase-projekty-a-sluzby/kolektory/>
- [9] Sítě Brno [online]. 2011 [cit.2011-03-16]. <http://www.montanya.org/SITE/BRNO/BRNO.htm>
- [10] Kolektory pod Brnem [online]. 2011 [cit.2011-01-20]. <http://www.metropolislive.cz/detail/532/88/>
- [11] Electricity grid [online]. 2011 [cit.2011-03-06]. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Electricity_Grid_Schematic_English.svg
- [12] MV POWER CABLES [online]. 2011 [cit.2011-02-11]. <http://www.eupen.com/weimages/mvpower/A2XSF2Y.pdf>
- [13] KOZÁK M. *Koncepce rozvoje distribuční soustavy VVN*. E.ON Distribuce, a.s., Směrnice ECD-PP-013, 2007.
- [14] KOLEKTIV AUTORŮ: *Uživatelská příručka programu PAS DAISY*. DAISY, s.r.o, Praha, 2006.
- [15] Medium voltage cables [online]. 2011 [cit.2011-04-15]. http://www.ericsson.com/ourportfolio/products/medium-voltage-cables?nav=fgb_101_275|fgb_101_271
- [16] CHMELA, M. : *Ekonomika a řízení*. VUT v Brně, Brno, 2007, 115 stran.
- [17] ČERNÝ, P. *Zásady pro navrhování distribučních sítí*, Směrnice JME č.2-1-1, 2002.
- [18] PNE 34 8401, *Součásti venkovních vedení distribučního vedení vn do 45 kV*.
- [19] PNE 33 0000-9, *Navrhování a umístování svodičů přepětí v sítích 110 kV*.
- [20] PNE 34 7625, *VN kabely ze zesíťnou PE izolací pro distribuční sítě do 35 kV*.
- [21] ČSN 33 2000-5-51: 2000. *Elektrotechnické předpisy. Elektrická zařízení. Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení. Kapitola 51: Všeobecné předpisy*.
- [22] ČSN 33 2000-5-52: 1998. *Elektrotechnické předpisy. Elektrická zařízení. Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení. Kapitola 52: Výběr soustav a stavba vedení*.