ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh nové distribuční transformovny TR 110/22 kV Tábor – Náchod

Jan Křemen **2020/2021**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	**Bc. Jan KŘEMEN**
Osobní číslo:	**E19N0078P**
Studijní program:	**N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor:	**Elektroenergetika**
Téma práce:	**Návrh nové distribuční transformovny TR 110/22 kV Tábor – Náchod**
Zadávající katedra:	**Katedra elektroenergetiky**

Zásady pro vypracování

Diplomová práce „Návrh nové distribuční transformovny TR 110/22 kV Tábor – Náchod" bude zaměřena na tyto body:

1. Uveďte základní informace a zdůvodnění nutnosti výstavby nové distribuční transformovny.
2. Vypracujte návrh technického řešení včetně výpočtu základních parametrů a 1-pólového schéma zapojení.
3. Vyhodnoťte parametry distribuční sítě vn a navrhněte optimální zapojení transformovny.
4. Proveďte technicko-ekonomické zdůvodnění přínosu zprovoznění nové distribuční transformovny.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Skripta k předmětu „Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie" a „Elektrické stanice a vedení".
2. Přednášky a podklady k předmětu „Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie" a „Elektrické stanice a vedení".
3. Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon).
4. Vyhláška č. 16/2016 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Pravidla provozování distribučních soustav (ČEZd, EONd, PREdi).
5. Student si další vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího a konzultanta práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Lucie Noháčová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **27. května 2021**

L.S.

Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 9. října 2020

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh nové distribuční transformovny 110/22 kV. Teoretickou částí práce je stručný popis distribuční soustavy a rozdělení elektrických stanic. V praktické části jsou rozebrány důvody nutnosti výstavby nové rozvodny a volba lokality pro její vhodné umístění. Dále je zde uveden návrh rozvodny dle požadavků investora, vybavení technologiemi a návrh jednopólových schémat. V práci je proveden výpočet zkratových proudů a je zkontrolována odolnost navrženého zařízení na tepelné a dynamické účinky zkratových proudů. Pomocí modelu sítě v programu Bizon byl zhodnocen vliv výstavby rozvodny na napájení soustavy VN. Poslední kapitola je věnována ekonomickému zhodnocení stavby.

Klíčová slova

Distribuční soustava, transformovna, zkratové proudy, rozvodna, VN, VVN, zatížení, transformátor, zkratová odolnost, účinky zkratových proudů, parametry sítě, ekonomické zhodnocení

Abstract

The master theses is focused on the design of a new distribution substation 110/22 kV. The theoretical part of the work is a brief description of the distribution system and the division of power stations. The practical part discusses the reasons for the need to build a new substation and the choice of location for its convenient location. Furthermore, there is a design of the substation according to the requirements of the investor, equipment with technologies and design of single-pole diagrams. The calculation of short-circuit currents is performed and the resistance of the designed device to the thermal and dynamic effects of short-circuit currents are checked. Using the network model in the Bizon program, the impact of the construction of the substation on the power supply of the medium voltage system was evaluated. The last chapter is devoted to the economic evaluation of the building.

Key words

Distribution system, transformer station, short-circuit currents, substation, medium voltage, high voltage, load, transformer, short-circuit resistance, effects of short-circuit currents, network parameters, economic evaluation

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 25.5.2021 Bc. Jan Křemen

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a špičkové vedení práce. Dále děkuji svým konzultantům Ing. Petru Hochovi a Ing. Vlastimilovi Pomyjemu ze společnosti EG.D za poskytnuté materiály, kontakty, konzultace, a hlavně zkušenosti z praxe, které byly pro tvorbu této práce velmi přínosné. Nakonec děkuji rodině a přítelkyni za podporu během doby mého studia.

Obsah

1 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA 16

1.1 ZÁKLADNÍ DRUHY ROZVODNÝCH SÍTÍ 16

1.1.1 Paprskový rozvod 16

1.1.2 Průběžný rozvod 17

1.1.3 Okružní rozvod 17

1.1.4 Mřížový rozvod 17

1.2 NAPĚŤOVÉ HLADINY 18

1.2.1 Velmi vysoké napětí – 110 kV 18

1.2.2 Vysoké napětí – 22 kV 19

1.2.3 Nízké napětí – 0,4 kV 21

1.3 DĚLENÍ ELEKTRICKÝCH STANIC 22

1.4 DRUHY ROZVODEN DLE EG.D 24

2 ZDŮVODNĚNÍ VÝSTAVBY NOVÉ ROZVODNY 27

2.1 ZATÍŽENÍ ROZVODNY TÁBOR 28

2.2 OSTATNÍ DŮVODY VÝSTAVBY 33

2.3 VOLBA UMÍSTĚNÍ R NÁCHOD 35

3 NÁVRH TRANSFORMOVNY TÁBOR – NÁCHOD 38

3.1 PŘENOSOVÁ SCHOPNOST 38

3.2 ZÁKLADNÍ SYSTÉMY PŘÍPOJNIC: 40

3.3 ROZVODNA 110 KV 42

3.3.1 Návrh jednopólového schéma 42

3.3.2 Stanoviště transformátorů VVN/VN 45

3.3.3 Zhášecí tlumivky 46

3.3.4 Vypínače 47

3.3.5 Odpojovače 48

3.3.6 Přístrojové transformátory 50

3.3.7 Omezovače přepětí 51

3.4 ROZVODNA 22 KV 52

3.4.1 Rozvaděč 52

3.4.2 Vybavení polí 53

3.4.3 Vlastní spotřeba 55
3.4.4 Záloha vlastní spotřeby 57

4 KONTROLA ZAŘÍZENÍ NA ÚČINKY ZKRATOVÝCH PROUDŮ 58

4.1 VÝPOČET ZKRATOVÝCH POMĚRŮ NA PŘÍPOJNICÍCH 110 KV A 22 KV 58
4.1.1 Třífázový zkratový proud na přípojnici 110 kV 60
4.1.2 Třífázový zkratový proud na přípojnici 22 kV 64
4.1.3 Jednofázový zkratový proud na přípojnici 110 kV 67
4.2 KONTROLA NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ NA TEPELNÉ A DYNAMICKÉ ÚČINKY ZKRATOVÝCH PROUDŮ 71
4.2.1 Oteplení přípojnic 110 kV 71
4.2.2 Oteplení přípojnic 22 kV 73
4.2.3 Dynamické účinky trojfázového zkratu na přípojnici 110 kV bez působení automatiky OZ 74
4.2.4 Dynamické účinky trojfázového zkratu na přípojnici 110 kV s působením automatiky OZ 78

5 VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ SÍTĚ VN 84

5.1 STAV PO VÝSTAVBĚ ROZVODNY NÁCHOD 88
5.1.1 Zakreslení rozvodny a nových vedení 88
5.1.2 Poměrné zatížení 90
5.1.3 Řešení 91
5.2 OPTIMÁLNÍ ZAPOJENÍ ROZVODNY 94
5.2.1 Zdůvodnění návrhu 94
5.2.2 Vlastní návrh 96
5.2.3 Návrh dle EG.D 96

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 98

6.1 NÁKLADY NA VÝSTAVBU NOVÉ ROZVODNY TÁBOR - NÁCHOD 98
6.2 PŘÍNOS ROZVODNY 99

ZÁVĚR 100

7 ZDROJE 103

8 PŘÍLOHY 105

Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2001/2002 28
Obr. 2.2 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2004/2005 29
Obr. 2.3 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2007/2008 29
Obr. 2.4 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2010/2011 30
Obr. 2.5 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2014/2015 31
Obr. 2.6 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2001 – 2019 32
Obr. 2.7 – Letecký pohled na okolí R Tábor s vyznačením polohy rozvodny a vedení 34
Obr. 2.8 – Letecký pohled na Tábor a jeho okolí s vyznačením polohy R Tábor 35
Obr. 2.9 – Vedení VN a VVN v okolí Tábora 36
Obr. 2.10 – Letecký pohled na okolí budoucí R Náchod zobrazující budoucí polohu rozvodny a stávající linky 22 kV 37
Obr. 3.1 – Jednoduchý systém přípojnic s podélným dělením – typ H 40
Obr. 3.2 – Dvojitý systém přípojnic s příčným dělením 41
Obr. 3.3 – Propojení rozvoden 110 kV 42
Obr. 3.4 – Schéma rozvodny 110 kV 43
Obr. 3.5 – Odpojovače S2DAT ve vypnutém stavu 49
Obr. 3.6 – Pantografický odpojovač SX v zapnutém stavu 49
Obr. 3.7 – Rozvaděč Schneider GHA 54
Obr. 3.8 – Schéma rozvaděče AJB 56
Obr. 4.1 – Schéma zkratové oblasti 59
Obr. 4.2 – Náhradní schéma zkratové oblasti 60
Obr. 4.3 – Zjednodušené náhradní schéma zkratové oblasti 61
Obr. 4.4 – Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu na přípojnici 22 kV 64
Obr. 4.5 – Náhradní schéma pro výpočet jednofázového zkratu na přípojnici 110 kV 68
Obr. 4.6 – Zjednodušené schéma pro výpočet jednofázového zkratového proudu 69
Obr. 4.7 – Tabulka 3, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 75
Obr. 4.8 – Tabulka 2, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 77
Obr. 4.9 – Obrázek 4 pro určení součinitelů V_F a $V_{\sigma m}$ pro trojfázový zkrat, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 81

Obr. 4.10 – Obrázek 5 pro určení součinitele V_{rm} pro trojfázové automatické OZ, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 82
Obr. 5.1 – Část modelu sítě VN znázorňující oblast okolo R Tábor 84
Obr. 5.2 – Grafické zobrazení poměrného proudového zatížení 86
Obr. 5.3 – Legenda ke grafickému zobrazení poměrného proudového zatížení 86
Obr. 5.4 – Detail úseku vedení linky Milevsko 87
Obr. 5.5 – Původní kmenové linky v místě výstavby R Náchod 88
Obr. 5.6 – Propojení kmenových linek do R Náchod 89
Obr. 5.7 – Grafické zobrazení poměrného zatížení s vyznačenou linkou Vožice 91
Obr. 5.8 – Grafické zobrazení poměrného zatížení po přepojení na linku Blanice 92
Obr. 5.9 – Odlehčení linky Vožice 93
Obr. 5.10 – Plánované zapojení kmenových linek v R 22 kV dle EG.D 96
Obr. A.1 – Jednopólové schéma R 22 kV, pole 01 – 10 105
Obr. A.2 – Jednopólové schéma R 22 kV, pole 11 – 20 106

Seznam tabulek

Tab. 3.1 – Zatížení linek v oblasti Náchod v letech 2005 – 2010 38
Tab. 3.2 – Zatížení linek v oblasti Náchod v letech 2014 – 2019 39
Tab. 3.3 – Štítkové hodnoty T101 (T102) 45
Tab. 4.1 – Potřebné parametry vedení zkratové oblasti Tábor – Náchod 58
Tab. 4.2 – Zkratové poměry na přípojnicích v rozvodnách Tábor a Planá 58
Tab. 4.3 – Přepočítané hodnoty odporů a reaktancí pro výpočet netočivé impedance 68
Tab. 5.1 – Maximální hodnoty proudů tekoucích z R Tábor – zima 2018/2019 85
Tab. 5.2 – Relativní proudy linek na vývodech R Tábor 87
Tab. 5.3 – Teoretické maximální hodnoty proudů tekoucích z R Náchod – zima 2018/2019 88
Tab. 5.4 – Maximální relativní hodnoty proudů tekoucích z R Náchod 90
Tab. 5.5 – Hodnoty proudů a výkonů tekoucích z R Náchod do kmenových linek 95

Seznam symbolů a zkratek

Seznam fyzikálních veličin

S_T	Výkon transformátoru (VA)
U_N	Jmenovité napětí (V)
I	Proud (A)
β_T	Zatížení transformátoru (%)
S_N	Jmenovitý výkon transformátoru (VA)
R	Odpor (Ω)
X	Reaktance (Ω)
R_0/R_1	Poměr netočivé a sousledné složky odporu (-)
X_0/X_1	Poměr netočivé a sousledné složky reaktance (-)
I_k''	Rázový zkratový proud (A)
S_k''	Zkratový výkon (VA)
Z	Impedance (Ω)
c_{max}	Napěťový součinitel (-)
U_{nS}	Jmenovité napětí nadřazené sítě (V)
$U_{výp}$	Výpočtové napětí ekvivalentního napěťového zdroje (V)
i_p	Nárazový zkratový proud (A)
κ	Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu (-)
I_b	Vypínací zkratový proud (A)
m, n	Součinitele pro časově závislý tepelný účinek zkratového proudu (-)
I_{ke}	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud (A)
P_k	Ztráty transformátoru (W)
Z_1	Impedance – sousledná složka (Ω)
Z_2	Impedance – zpětná složka (Ω)
Z_0	Impedance – netočivá složka (Ω)
I_{dyn}	Dynamický zkratový proud (A)
S_{min}	Minimální průřez vodiče (mm^2)
t_k	Doba trvání zkratového proudu (s)
k	Koeficient respektující teplotu před zkratem (-)

ϑ	Fiktivní teplota vodiče podle materiálu (°C)
c_0	Specifické teplo pro 0 °C (J/cm^3/°C)
ρ_{20}	Specifický odpor při 20 °C (Ωmm^2/m)
ϑ_1	Teplota vodiče před zkratem (°C)
ϑ_k	Maximální dovolená teplota vodiče při zkratu (°C)
r	Poloměr trubkové přípojnice (m)
F_{m3}	Síla mezi hlavními vodiči při souměrném trojfázovém zkratu (N)
μ_0	Magnetická permeabilita vakua (H/m)
l	Osová vzdálenost mezi podpěrami (m)
a_m	Účinná vzdálenost mezi hlavními vodiči (m)
J_m	Moment setrvačnosti (m^4)
W_m	Průřezový modul hlavního vodiče (m^3)
D	Vnější průměr tubkové přípojnice (m)
d	Vnitřní průměr trubkové přípojnice (m)
$\sigma_{tot,d}$	Výsledné namáhání vodiče (N/m^2)
$V_{\sigma m}$	Poměr dynamického a statického příspěvku namáhání hlavního vodiče (-)
V_{rm}	Poměr dynamického namáhání způsobeného silami mezi hlavními vodiči (-)
β	Součinitel pro výpočet namáhání hlavního vodiče (-)
f_y	Minimální hodnota meze průtažnosti materiálu (N/m^2)
q	Součinitel plasticity (-)
t	Tloušťka stěny trubkového vodiče (m)
$F_{r,d}$	Síla působící na podpěru tuhých vodičů (N)
V_F	Poměr dynamické a statické síly působící na podpěry (-)
α	Součinitel pro výpočet síly na podpěru (-)
f_{cm}	Vlastní kmitočet hlavního vodiče (Hz)
γ	Součinitel pro odhad vlastního kmitočtu vodiče (-)
E	Modul pružnosti v tahu (Youngův modul) (N/m^2)
m'_m	Hmotnost hlavního vodiče na jednotku délky (kg/m)
f	Síťový kmitočet (Hz)

Seznam zkratek

NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvlášť vysoké napětí
PE	Polyethylen
HDO	Hromadné dálkové ovládání
BSP	Budova společných prostor
KN	Katastr nemovitostí
KÚ	Katastrální území
R	Rozvodna
TR	Transformační rozvodna
TS	Transformační stanice
OZ	Opětovné zapínání
T	Transformátor
AJA	První elektrická stanice dané napěťové hladiny – 22 kV
AJB	Druhá elektrická stanice dané napěťové hladiny – 22 kV
IVIS	Systém detekce zpětného napětí
IDIS	Systém monitorování tlaku plynu
VS	Vlastní spotřeba
PLA	Planá nad Lužnicí

Úvod

Předmětem této diplomové práce je návrh nové transformační stanice 110/22 kV Tábor – Náchod (dále jen R Náchod). Tuto stanici bude stavět a následně provozovat společnost EG.D, a.s. (dále jen EG.D). Společnost byla během psaní této práce (1.1.2021) přejmenována z původního názvu E.ON Distribuce, a.s. Nadále však zůstává členem skupiny E.ON.

V první kapitole se budu věnovat teoretickému uvedení do problematiky. Zaměřím se na popis rozvodných sítí příslušných napěťových hladin, dělení elektrických stanic obecně a druhy stanic dle EG.D.

Ve druhé kapitole se zaměřím na zdůvodnění nutnosti výstavby rozvodny a volbu jejího umístění. Nová rozvodna bude sloužit k výkonovému odlehčení rozvodny Tábor (dále R Tábor), která je dlouhodobě přetížená, a zároveň jako její záloha. Pro zhodnocení zatížení R Tábor budu mít k dispozici naměřené hodnoty zatížení transformátorů a vývodů v rozvodně. Stavba bude spojena s rekonstrukcí velmi starých vedení VN, což ovlivní umístění nové rozvodny.

Dále se budu zabývat technickém řešení rozvodny. Popíšu a odůvodním výpočtem volbu počtu a velikosti transformátorů. Navrhnu jednopólová schémata VVN i VN části rozvodny. Současně uvedu základní informace a štítkové hodnoty všech základních technologií, které budou v rozvodně použity.

Ve čtvrté části provedu výpočty zkratových poměrů na přípojnicích 110 kV a 22 kV při plánovaném zapojení soustavy. Budu mít k dispozici parametry vedení, schémata a informace poskytnuté konzultanty ze společnosti EG.D. Poté zkontroluji odolnost přípojnic na tepelné a dynamické účinky zkratových proudů. Budu postupovat dle platných norem.

Zaměřím se také na vyhodnocení sítě VN, kterou bude napájet nová rozvodna. Budu mít k dispozici model této sítě v programu Bizon, který upravím a dokreslím do něj rozvodnu a novou podobu linek VN. Následně zhodnotím přínos rekonstrukcí a výstavby rozvodny.

V poslední části se budu věnovat předběžné kalkulaci výstavby nové rozvodny. Nebudou zde uvedeny přesné částky, neboť společnost EG.D považuje tyto informace za citlivé.

1 Distribuční soustava

Distribuční soustava je soubor energetických zařízení sloužící k distribuci elektrické energie z přenosové soustavy ke koncovým odběratelům. Distribuční soustava České republiky je tvořena sítěmi velmi vysokého napětí (VVN) s hodnotou napětí 110 kV, sítěmi vysokého napětí (VN) provozovaných na napěťových hladinách 35, 22, 10 a 6 kV a sítěmi nízkého napětí (NN) se jmenovitým napětím 0,4 kV. Provozovateli distribuční soustavy jsou u nás společnosti: EG.D, a.s. (v Jihočeském a Jihomoravském kraji, částečně také ve Zlínském, Olomouckém a na Vysočině), PRE Distribuce, a.s. (území hlavního města Prahy a města Roztoky) a ČEZ Distribuce, a.s. (zbytek ČR).

Vyšší hladiny napětí (220 a 400 kV) jsou používány v přenosové soustavě, jejímž provozovatelem je v České republice společnost ČEPS, a.s. Tato soustava slouží k přenosu elektrické energie od velkých zdrojů (elektrárny dodávající do sítě vysoké výkony) po celé republice, následně je energie transformována na nižší hladiny napětí a dále přenášena ke koncovým zákazníkům.

Diplomovou práci zpracovávám ve spolupráci se společností EG.D, budu tedy uvádět informace vztahující se nejčastěji k této společnosti, resp. k technologiím v jejich správě.

1.1 Základní druhy rozvodných sítí

Dříve než budu blíže rozebírat jednotlivé napěťové hladiny, považuji za důležité vysvětlit způsoby provedení rozvodů používané napříč všemi soustavami i hladinami napětí. Níže popsané typy se liší spolehlivostí dodávky elektrické energie a různou složitostí.

1.1.1 Paprskový rozvod

Jedná se o nejjednodušší způsob rozvodu, každý vývod sítě je napájen zvlášť z napájecího místa. Vývody nejsou nikde mezi sebou propojeny. Vzhledem k jednoduchosti je tento způsob přehledný a levný na výstavbu i provoz, ale velkou nevýhodou je nemožnost „napájení z druhé strany“. Obecně řečeno, pokud dojde k poruše na vývodu v kterémkoli místě, musí se celý vývod vypnout. Odstávka vývodu je nutná až do doby nalezení a vyřešení poruchy, což může být problém na dlouhou dobu. Tento způsob je používán ve venkovské zástavbě a na okrajích měst, kde není vyžadována velká spolehlivost.

1.1.2 Průběžný rozvod

Průběžný rozvod je velmi podobný paprskovému, jeden vývod z trafostanice však napájí více napájecích bodů. Tyto body jsou na vývodu zapojeny za sebou, má tedy stejnou spolehlivost a obdobné vlastnosti jako paprskový. Pokud dojde k výpadku vývodu, k žádnému bodu vývodu nevede žádná náhradní napájecí cesta. Při výpadku transformátoru není jiná možnost, jak napájet celou oblast. Výhodou průběžného rozvodu je tedy pouze možnost připojení více napájecích bodů k jednomu vývodu, například více rodinných domů.

1.1.3 Okružní rozvod

Základem tohoto způsobu je spojení vedení do kruhu. Pokud tedy dojde k poruše na vedení, je možné ho pomocí rozvodných skříní rozpojit a napájet pouze zdravou část sítě z druhého směru. Přepínání se provádí ručně nebo automaticky. V normálním stavu lze síť provozovat sepnutou nebo rozepnutou, většinou je zvolena druhá možnost. V tom případě je pak vedení napájeno stejně jako v případě paprskového. Díky těmto možnostem se rozvod vyznačuje mnohem vyšší spolehlivostí, je však také o něco složitější.

1.1.4 Mřížový rozvod

Nejsložitějším druhem je mřížová soustava, kde jsou jednotlivé části sítě propojovány mezi sebou a vytváří tak soustavu tvarem podobnou mříži. Síť je napájena ze dvou nebo více nezávislých míst. Příkladem může být propojení kabelových vedení do uzlů ve skříních, které jsou umístěny na křižovatkách ulic. Při poruše je pak odpojena pouze jedna ulice a ostatní nejsou touto poruchou zasaženy. Jak jsem již naznačil, tento způsob se používá ve městech pro kabelová vedení, kde je vzhledem k počtu odběratelů žádoucí dosáhnout co nejvyšší spolehlivosti. Poruchy na kabelech díky tomu téměř neovlivní odběratele. Zároveň toto propojení snižuje množství kabelů, které městy musí vést. Nevýhodou je složitost a náročnost na vyhledávání poruch (částečně způsobena charakterem povrchu – uložení kabelů pod komunikací nebo chodníkem).

Existují ještě další metody rozvádění elektrické energie, například hřebenové nebo dvojpaprskové, ale vzhledem k tématu mé diplomové práce jsem se zabýval pouze těmi základními.

Kapitola 1.1 částečně vychází ze zdrojů [2, 3].

1.2 Napěťové hladiny

1.2.1 Velmi vysoké napětí – 110 kV

Hlavními částmi distribuční soustavy VVN jsou rozvodny a samotné vedení, které tyto rozvodny propojuje. Vedení je převážně venkovní, umístěné na mřížových, tzv. příhradových stožárech s betonovými základy. Nejčastěji je pak pro vedení použito hliníkové lano s ocelovým středem o průřezu 185 nebo 240 mm^2. Průřez je dán hladinou napětí. Výjimečně je pak využíván i větší průřez, například 450 nebo 670 mm^2. [1] Na vrcholu stožáru je umístěno minimálně jedno kombinované zemní lano, které chrání fázové vodiče a celé vedení před zásahem blesku, resp. svádí energii blesku do země. Druhým přínosem kombinovaného lana je přítomnost optického vlákna uprostřed lana, které je využíváno pro přenos informací mezi dispečinkem a rozvodnami.

Ve velmi výjimečných případech lze napětí 110 kV přenášet pomocí kabelu, příkladem je propojení rozvoden ve velkých městech, kde není výstavba velkého venkovního vedení možná. Jedná se o velmi nákladnou variantu, která však neničí vzhled krajiny a má velmi dobrou průchodnost krajinou (menší ochranné pásmo).

Nejčastěji je soustava provozována jako okružní se spolehlivostním kritériem N-1. Toto kritérium definuje schopnost elektrizační soustavy udržet její chod s normálními parametry i při výpadku jakéhokoli prvku sítě, tedy např. jednoho vedení nebo transformátoru. Při výpadku může dojít maximálně ke krátkodobému lokálnímu omezení spotřebitelů.

Společnost EG.D spravuje vedení VVN o celkové délce 2395 km, z toho kabelové vedení o délce pouze 11 km. Transformačních rozvoden 110/22 kV spravuje na svém území celkem 82. Rozvoden s vyšší transformací, tedy z napěťové hladiny 400 nebo 220 kV na 110 kV a dále na 22 kV, provozuje šest: Čebín, Dasný, Otrokovice, Slavětice, Sokolnice a Tábor. Sedmou rozvodnou tohoto typu je Kočín ležící v jižních Čechách, jehož vlastníkem je však ČEPS, a.s. Kočín byl postaven pro vývod výkonu z jaderné elektrárny Temelín. [1]

1.2.2 Vysoké napětí – 22 kV

Vedení VN začíná výstupem z rozvodny 110/22 kV, odkud vede do zastavěných oblastí nebo k průmyslovým objektům, tedy blízko k místům spotřeby. Vedení je provozováno většinou jako venkovní, ale kabelové vedení zde má mnohem vyšší zastoupení než u VVN. V rámci společnosti EG.D tvoří kabely přibližně 17,5 % z celkové délky 21934 km vedení. [1]

Jsou využívány ve městech a v případech, kdy je to nutné z důvodu územně-právních a majetkoprávních podmínek. Dále se kabely využívají např. v zalesněných lokalitách, kde dochází pravidelně k pádům stromů do venkovního vedení.

Venkovní vedení jsou provozována jako paprsková s možností přepojení napájení z jiného směru pomocí tzv. úsekových spínačů. Ty jsou ovládány ručně technikem přímo z místa, nebo dálkově. Dálkové ovládání je používáno u důležitějších spínačů, kde je manipulace prováděna častěji, například při spojování linek. V současné době probíhá osazování vedení tzv. reclosery. Jedná se o dálkově ovládaná zařízení schopná vypínat a zapínat vedení i pod zkratem. Umísťují se na kritická místa soustavy, např. místa spojení vedení mezi rozvodnami.

Nejčastěji je venkovní vedení provozováno s holými vodiči typu AlFe. Průřez vodičů je dán typem linky, na kmenové se používá vodič AlFe 110/22 a na odbočky AlFe 70/11-1. Jako přívody a propojení k trafostanicím se používá nejčastěji AlFe 42/7. Jako podpěrné body jsou standardně používány betonové sloupy osazené konzolemi řady „Pařát“. Starším typem jsou rovinné konzole nebo konzole „Delta“. V případě potřeby větší výšky podpěrných bodů, tedy při přechodu komunikací, roklin, železnic atd. a u dvojitých vedení se používají příhradové stožáry.

Kabelové vedení je používané při vyšších nárocích na prostor, bezpečnost a spolehlivost, typicky ve městech. Kabely nejsou náchylné na poškození povětrnostními vlivy (pády stromů, tahové namáhání podpěrných bodů větrem). Kabelové sítě jsou stavěny jako kruhové a mřížové, ale provozovány jsou paprskově, s možností přepnutí napájení z druhé strany. V dnešní době jsou používány kabely se zesílenou PE izolací, nejčastěji AXEKVCEY o průřezech 70, 150 a 240 mm^2. Dříve se používaly kabely s olejovou izolací, které jsou v současné době velkou ekologickou zátěží. Proto se postupně vyměňují za nové.

Jsou uloženy v zemi v čistém výkopu a zasypány 10 – 14 cm vrstvou jemnozrnného písku (měřeno od povrchu kabelu), poté zakryty plastovými nebo betonovými deskami. Místo desek je možné použít zakrytí výstražnou fólií, která se pokládá 30 cm pod povrchem.

Hloubka uložení kabelů je dána normou, kabel se musí uložit do výkopu hlubšího o 0,2 m než je jeho nejmenší dovolené krytí, tedy vzdálenost mezi povrchem terénu a kabelu. Pokud to není z nějakého důvodu možné dodržet, kabel se musí chránit dodatečnou ochranou proti mechanickému poškození. Vzdálenost kabelu od všech stavebních objektů je minimálně 0,6 m. Při křížení kabelů je nutné je oddělit betonovou deskou nebo cihlami, pokud není jeden z kabelů uložen v betonovém nebo plastovém žlabu. Pokládání jednožilových kabelů se provádí v ploché (kabely vedle sebe s mezerou 7 cm) nebo v tzv. trojúhelníkové formaci. Druhá možnost znamená, že se položí dva kabely vedle sebe a na ně se uloží třetí kabel, poté jsou všechny ovinuty plastovou izolační páskou a tím je zajištěna jejich vzájemná poloha. Toto zajištění je nutno provádět po 2 až 2,5 metrech. Při plochém uložení mají kabely menší tepelnou degradaci izolace, při poškození jedné žíly je menší pravděpodobnost poškození ostatních žil a tím vznik dvoufázového nebo dokonce třífázového zkratu. Pokud je to možné, je tedy doporučeno používat ploché pokládání kabelů. U svodů kabelů ze stožárů do země je vždy použito uložení do trojúhelníku. Kabely jsou chráněny před mechanickým poškozením materiálem odolným proti korozi od hloubky 0,5 m pod zemí do výšky 2,5 m nad terénem. [5]

V případě potřeby jsou kabely ukládány do kabelových kanálů, nebo se různými způsoby chrání před mechanickými a chemickými vlivy. Potřeba je zdůvodněna přítomností solí nebo kyselin v půdě, kabel pak nesmí být v této půdě uložen. Dalším problémem je přítomnost hnijících látek v zemi, nebo půda hodně kamenitá a naopak písčitá. Kabelové žlaby se používají také v případě, kdy nelze dodržet vodorovnou vzdálenost mezi kabely při souběhu vedení.

Kabely nemusí být ukryty pouze pod zemí, lze je ukládat do kabelových kanálů umístěných na vzduchu, nebo na různé lávky a podpěry. Takto mohou být uloženy pouze kabely s vnějším pláštěm nešířícím požár. I povrch kabelu s normálním PE pláštěm musí být při přestupu vzduchem ze země do objektu upraven nehořlavým nátěrem.

Ve velkých městech se ukládání hlavních tras inženýrských sítí řeší výstavbou podzemních kolektorů. Kolektory jsou primární (hlubinné) a sekundární (podpovrchové). Hlubinné kolektory jsou umístěny 25 až 35 m pod povrchem a lze do nich uložit všechny inženýrské sítě kromě kanalizace a plynovodu. Podpovrchové kolektory jsou umístěny 5 m pod povrchem a nelze do nich uložit pouze plynovod. Využívají se hodně v historických centrech měst, kde řeší prostorové problémy ukládání sítí. Kapitola částečně vychází ze zdrojů [1, 5, 6, 7].

1.2.3 Nízké napětí – 0,4 kV

Společnost EG.D spravuje i distribuční hladinu NN, která je co se týče délky vedení ze všech hladin největší. Celková délka vedení NN je 39 508 km, z toho 16 170 km je venkovní vedení a 23 338 km vedení kabelové. [1]

Jedná se o jedinou hladinu napětí, která má více kabelového vedení než venkovního a tento poměr se postupem času ještě více zvyšuje. Trend využití kabelových vedení na úkor venkovních vedení je uplatňován při výstavbě nových sítí i obnově stávajících. Patří k tomu náročnější přípravy a jednání s majiteli pozemků i zastupiteli obcí, ale zase odpadají těžkosti s vedením umístěným na domech odběratelů, často způsobujícím problémy s rekonstrukcí domů, přístupem pracovníků energetiky na pozemky, a dokonce i statikou samotných domů.

Distribuční soustava NN je budována jako okružní, mřížová, průběžná i paprsková, záleží na okolnostech. Ve městech je běžná okružní a mřížová soustava, paprsky tam však najdeme výjimečně. Naopak na malých vesnicích je paprskové (resp. průběžné) napájení rodinných domů standardem. Ač je soustava budována různými způsoby, provozována je standartně paprskově.

Vzhledem k zadání diplomové práce, které je zaměřeno na návrh rozvodny VVN/VN, se hladinou NN detailně nezabývám. [1]

1.3 Dělení elektrických stanic

Elektrická stanice je soubor zařízení v elektrizační soustavě sloužící k rozvádění elektrické energie, transformaci na jinou napěťovou hladinu nebo přeměně jejího charakteru. Velikost stanice je závislá na jejím účelu, může sloužit pouze jako propojení několika vedení, nebo naopak k transformacím mezi hladinami a zároveň řízení chodu sítě (změna napětí, frekvence), rozdělení energie v rámci jedné hladiny, vysílání signálu HDO atd. Může být tedy umístěna v jedné budově, nebo se jedná o komplex zařízení na ploše několika hektarů.

Dělení:

A. Podle účelu

a) *Transformovny*

Slouží k transformaci napětí mezi hladinami a tím propojení soustav těchto hladin.

b) *Spínací stanice*

Slouží k rozvodu, rozdělení a vývodu elektrické energie v rámci jedné napěťové hladiny.

c) *Měnírny*

Slouží ke změně charakteru napětí, rozdělení stejnosměrné energie nebo změně frekvence energie střídavé.

d) *Kompenzační stanice*

Slouží ke kompenzaci jalového výkonu pomocí sériové nebo paralelní kompenzace.

B. Podle převodních napětí

a) *Napájecí stanice*

Transformace napětí ze 110 kV na 22 kV.

b) *Distribuční stanice*

Transformace zpravidla z 22 kV na 0,4 kV. Jedná se o nejčastější typ stanice pro napájení měst, obcí a vesnic. Na venkově jsou běžně umístěny na betonových sloupech, ve městech umístěny v budovách nebo v tzv. kioscích.

c) *Odběratelské stanice*

Transformace stejná jako distribuční. Transformátory jsou majetkem

odběratelů, za provoz si odpovídají sami.

C. Podle umístění ve schématu soustavy

a) Stanice výroben

Slouží pro převod vyrobené energie z elektrárny do přenosové soustavy. Transformují alternátorové napětí na napětí sítě.

b) Stanice v přenosové soustavě

- Uzlové

Slouží k rozdělení větví okružní soustavy, resp. rozdělení elektrické energie na stejné napěťové hladině.

- Transformační

Převádí elektrickou energii mezi různými napěťovými hladinami. Oba typy bývají často spojeny v jednu stanici, která slouží k transformaci napětí i rozdělení výkonů mezi připojená vedení.

c) Stanice spotřeby

- Distribuční

Dodávají energii spotřebním centrům, často ji rozdělují a transformují. Nejvíce používanou hladinou napětí je 22 kV, občas se používá také 6, 10 nebo 35 kV.

- Průmyslové

Rozdělují energii přímo v průmyslových podnicích a transformují ji na nízké napětí. Příkladem průmyslové stanice je stanice vlastní spotřeby elektráren. Kapitola částečně vychází ze zdrojů [2, 3, 8].

1.4 Druhy rozvoden dle EG.D

A. Stanice ZVN/VVN (přenosová soustava/distribuční soustava)

Jedná se o rozvodnu s transformací 400/110 kV nebo 220/110 kV, tedy přechod mezi přenosovou a distribuční soustavou. Zároveň je přechodem mezi majetky společnosti ČEPS a.s., jež je vlastníkem přenosové soustavy a EG.D vlastnící soustavu distribuční. Rozvodny jsou řešeny systémem dvou hlavních přípojnic (značeny A, B) + pomocná přípojnice. Společnost EG.D dělí své území na 2 oblasti: EG.D západ a EG.D východ. V oblasti západ se nachází 3 rozvodny typu ZVN/VVN, rozvodna Dasný 2x350 MVA, Tábor 1x200 MVA a Kočín 2x250 MVA. V oblasti východ jsou rozvodny Sokolnice 2x350 MVA + 1x200 MVA, Otrokovice 3x350 MVA, Slavětice 2x350 MVA a Čebín 3x350 MVA. Celkem EG.D vlastní a spravuje 6 rozvoden tohoto typu (Kočín není majetkem EG.D). [1, 5]

B. Stanice 110/22 kV (distribuční soustava)

Rozvodny distribuční soustavy se dále dělí na:

a) Venkovní rozvodny AIS 110 kV

Základní řešení rozvoden s technologií umístěnou venku, uspořádání vyplývá ze základního schématu rozvodny. Schéma rozvodny vychází a odpovídá provozním požadavkům v době realizace a rozložení vedení sítí 110 kV, která jsou do rozvodny zaústěna. Z hlediska druhu izolace se jedná o rozvodny izolované vzduchem o atmosférickém tlaku.

b) Zapouzdřené rozvodny GIS 110 kV

Rozvodny vnitřního provedení s izolací plynem SF_6. Technologie je umístěna v samostatně stojící budově společných prostor (dále BSP) společně s transformátory 110/22 kV. Plynem jsou izolovány přípojnice i silová zařízení. Vyznačují se malými požadavky na prostor, vysokou spolehlivostí, dlouhou životností a bezpečností.

c) Kompaktní rozvodny HIS 110 kV [5]

Stanice venkovního provedení kombinující technologii izolace vzduchem s technologií izolace plynem SF_6. Silová zařízení jsou izolována plynem SF_6, přípojnice jsou však izolovány pouze vzduchem. Jsou méně náročné na prostor, proto jsou stavěny ve městech nebo v místech s omezenými prostorovými možnostmi. Technologie je dražší než u venkovních rozvoden, nižší je však investice do nákupu pozemků.

Základní uspořádání aktuálně provozovaných rozvoden:

- Jednoduchá rozvodna typu „H“ s jedním nebo dvěma transformátory 110/22 kV.
- Jednořadá rozvodna s vývody 110 kV na jednu (popř. obě) strany.
- 2 – systémová rozvodna /A, B/ s šachovitě uspořádanými poli 110 kV.
- 2 – systémová rozvodna /A, B, A/.
- 3 – systémová rozvodna /A, B, C/ + P (pomocná přípojnice).
- Rozšířené „H“ s více vývody 110 kV. [5]

C. Rozvodny 22 kV

Rozvodny nové a po celkové rekonstrukci jsou řešeny s využitím plně zapouzdřených rozvaděčů s izolací plynem SF6 v provedení:

a) Dvojitý systém přípojnic s podélným dělením obou přípojnic

Podélné dělení je řešeno vypínačem a odpojovači s uzemňovači přípojnic. V případě rozdělení přípojnic je instalován i příčný spínač přípojnic v obou sekcích. Ve vyjímečných případech je instalován pouze jeden příčný spínač přípojnic. Toto řešení se používá v místech s vysokým zatížením na napájenou plochu a v místech s vysokými nároky na spolehlivost dodávky. Např. velké průmyslové zóny, městské zástavby s vysokým měrným zatížením, místa kde jsou silné nebo naopak slabé vazby mezi rozvodnami v okolí a je tak vyžadována konfigurace sítě 22 kV.

b) *Jedna přípojnice s podélným dělením*

Podélné dělení řešeno vypínačem a dvěma odpojovači s uzemňovači přípojnic. Využívá se v případě minimalistického řešení rozvodny s malým počtem vývodu VN (do 10 vývodů). Dále se využívá při napájení významného odběratele, pokud ho není možné napájet z jiné, již vybudované stanice.

c) *Dvojitý systém přípojnic bez podélného dělení s příčným spínačem přípojnic*

Příčný spínač přípojnic je tvořen vypínačem a dvěma odpojovači. Při havarijním stavu jednoho pole je nutné pro opravu vypnutí celé rozvodny 22 kV. Kapitola vychází ze zdroje [5].

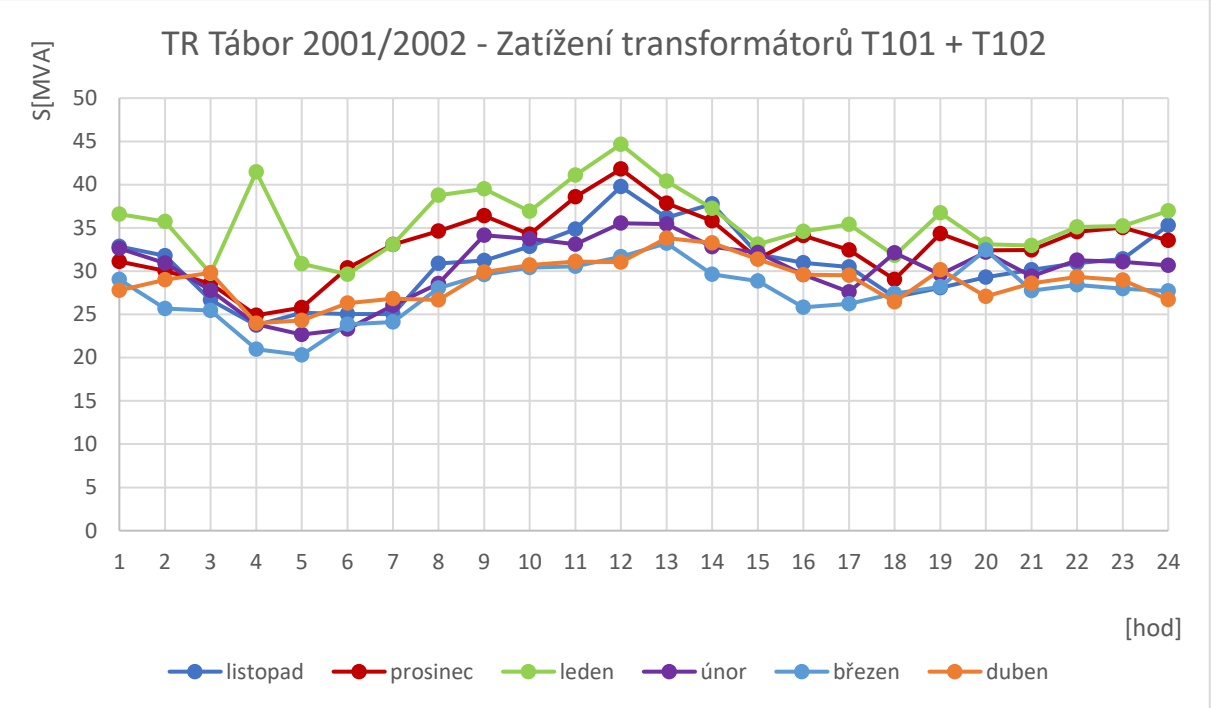
2 Zdůvodnění výstavby nové rozvodny

Nová R Náchod, kterou se ve své diplomové práci zabývám, bude propojena se stávající transformační rozvodnou 220/110/22 kV Tábor a společně budou využity k napájení oblasti Táborska. V současné době se o to musí starat pouze R Tábor a okolní rozvodny, které jsou však většinou velmi vzdáleny (Planá nad Lužnicí, Veselí nad Lužnicí, Bechyně, Pacov). V Táboře jsou instalovány dva transformátory o výkonu 40 MVA. Při provozu musí být splněno kritérium N-1, v případě výpadku jednoho transformátoru musí být druhý transformátor schopen transformovat veškerý výkon rozvodny sám.

V dalších odstavcích chci ukázat, že splnění tohoto kritéria je v Táboře velkým problémem. Pro potřeby této diplomové práce využiji naměřené hodnoty poskytnuté společností EG.D. Hodnoty vychází z měření, které provádí na všech vývodech a transformátorech svých rozvoden. Měří se hodnoty proudu I (A), činného výkonu P (MW) a jalového výkonu Q (MVAr). Další potřebné veličiny se dopočítávají, například zdánlivý výkon S (MVA) nebo účiník cos φ (-). V některých rozvodnách se měří pouze proudy a vše ostatní se dopočítává, dle vybavení rozvodny. Měření se provádí v zimě, kdy je zpravidla zatížení větší (vytápění, svícení…). Měří se jednou měsíčně, vždy druhou středu v měsíci od listopadu do dubna.

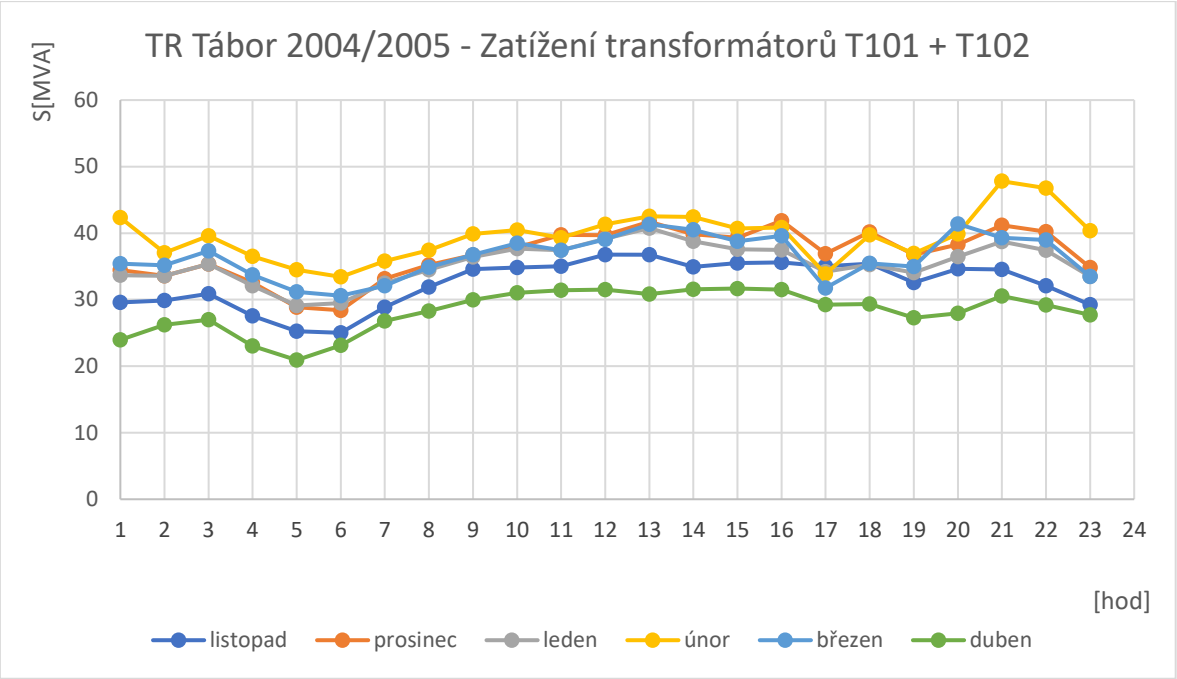
2.1 Zatížení rozvodny Tábor

Rozhodnutí o výstavbě transformační rozvodny není záležitostí jednoho roku, využiji proto hodnoty už z let 2000/2001, které mi byly dány k dispozici od konzultanta.



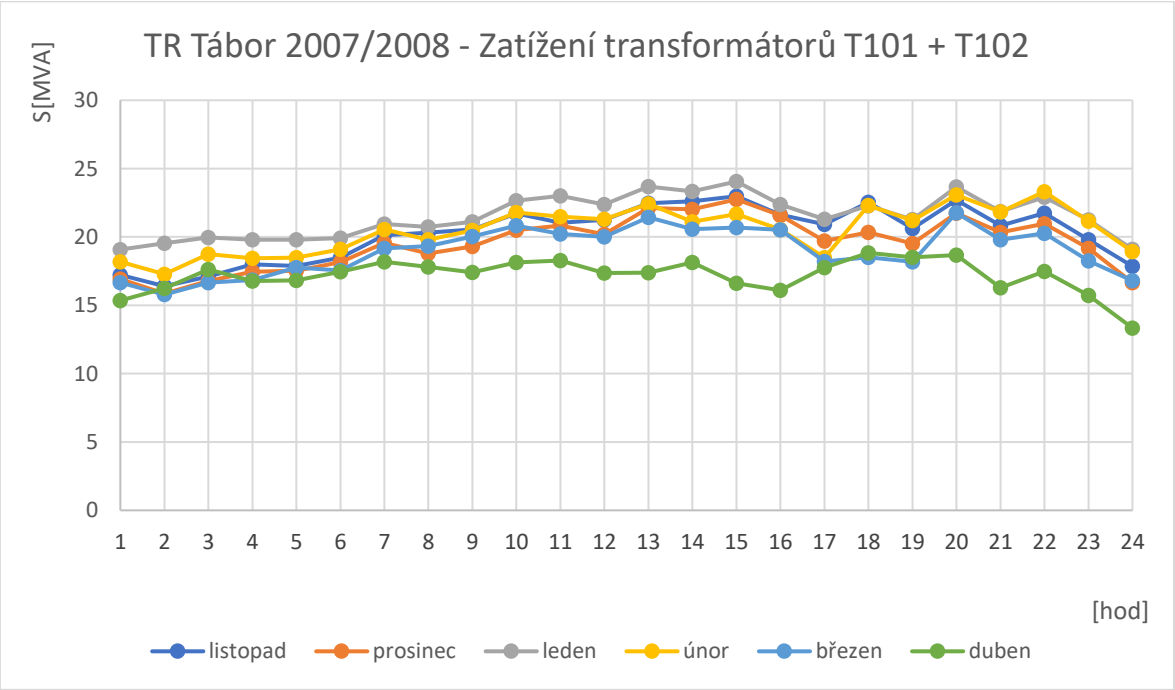
Obr. 2.1 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2001/2002

Graf na obrázku 2.1 ukazuje závislost součtu zatížení obou transformátorů (T101, T102) na čase, resp. zatížení v průběhu celého dne. Každá křivka reprezentuje jiný kalendářní měsíc, viz. legenda. Vidíme, že již v uváděném roce je zatížení větší než 40 MVA a to v průběhu 2 měsíců (prosinec a leden), kolem 12. hodiny.



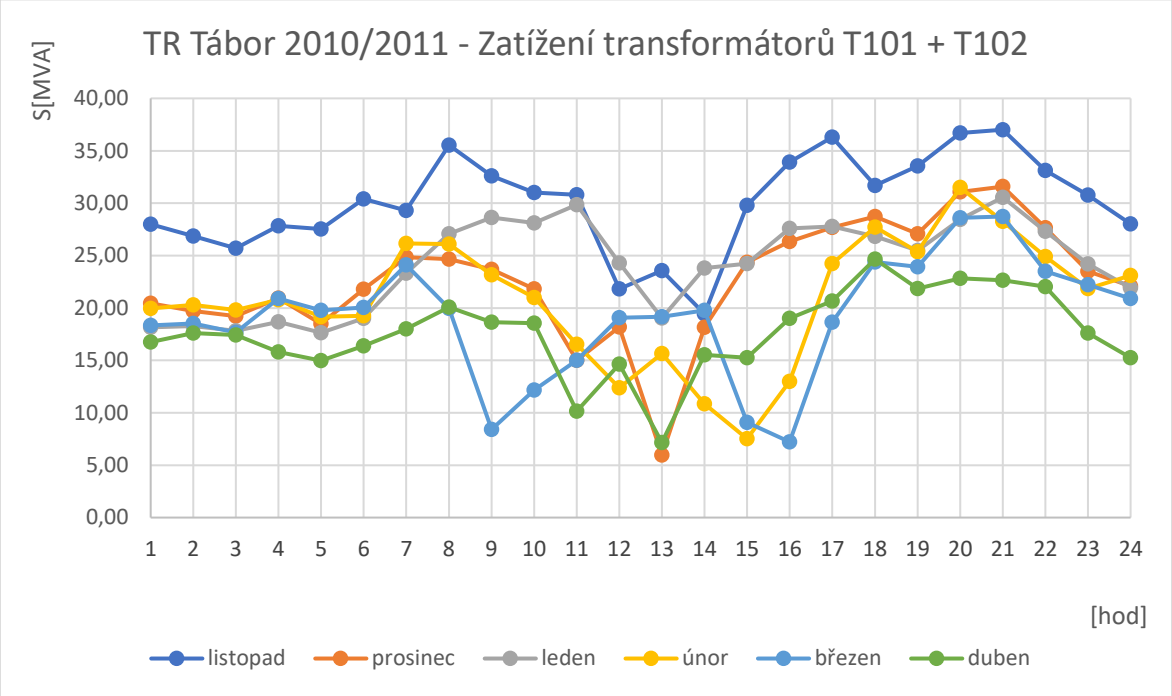
Obr. 2.2 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2004/2005

O 3 roky později, v letech 2004/2005, můžeme vidět, že okolo klíčových 40 MVA se pohybujeme v průběhu několika měsíců, a to téměř po celý den. Nejvíce je hodnota překročena v únoru. Oproti letům 2000/2001 se jedná o velký nárůst.



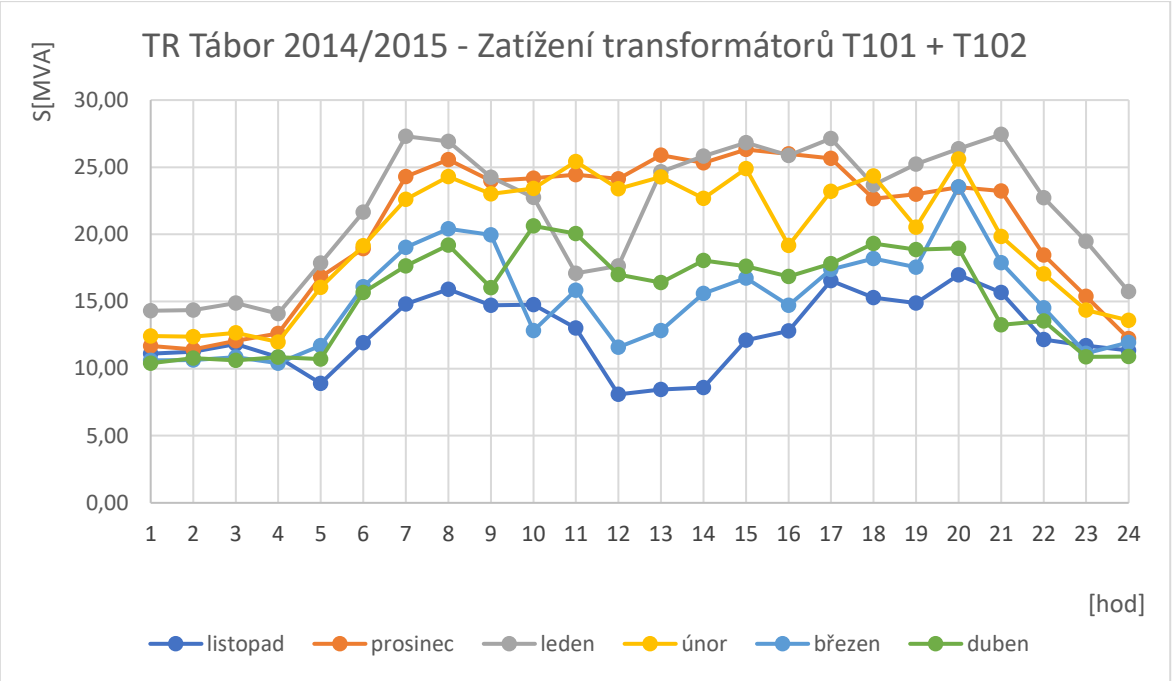
Obr. 2.3 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2007/2008

Z průběhů na obr. 2.3 je evidentní, že zatížení roste dlouhodobě a nejedná se o náhodu. Po dalších pár letech zatížení dosahuje nejvyšších hodnot přes 45 MVA po dobu několika hodin. Přes 40 MVA se dostáváme v průběhu prosince, ledna a února v průběhu téměř celého dne, v noci hodnota klesá na stále vysoké hodnoty 30 – 35 MVA. V těchto letech začalo být jasné, že provoz R Tábor pomocí dvou stávajících transformátorů 40 MVA není dlouhodobě udržitelný a začalo se uvažovat o výstavbě nové rozvodny, která by stávající sítě odlehčila.



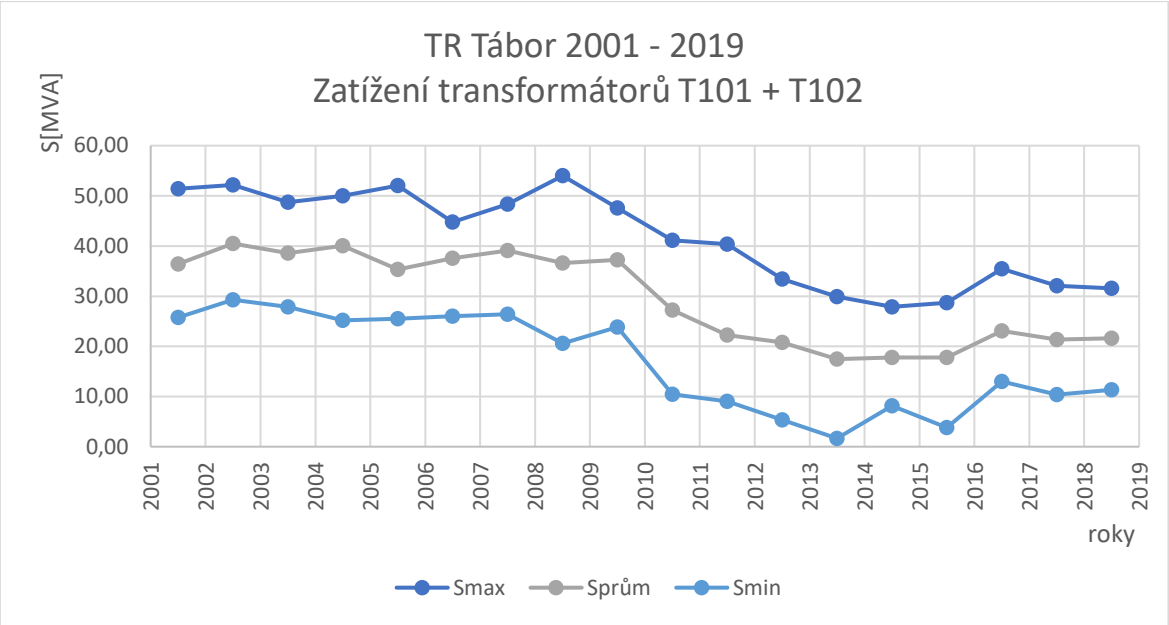
Obr. 2.4 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2010/2011

V letech 2010/2011 je vidět v průběhu mírný pokles zatížení, který je patrný hlavně v listopadu a v dubnu. V těchto letech bylo zpracováno zadání stavby s předpokladem realizace nové rozvodny v roce 2016, která se ale díky průtahům posunula.



Obr. 2.5 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2014/2015

Na grafu z let 2014/2015 lze vidět, že během dalších let zatížení pokleslo na maximální hodnoty 25 – 30 MVA, což podmínky pro provoz již splňuje. Výstavba rozvodny tím však neztrácí smysl, protože důvodů pro její výstavbu je více. Uvedu je v další kapitole. Nyní bych chtěl ukázat celkový průběh zatížení obou transformátorů v průběhu posledních 20 let.



Obr. 2.6 – Zatížení transformátorů T101 a T102 v letech 2001 – 2019

Zde je velmi dobře vidět snížení zatížení od roku 2010. Nemusí to však nutně znamenat, že došlo k celkovému snížení příkonu, který je potřeba pro napájení oblasti Táborska. Měření je prováděno v rozvaděčích rozvoden, nejsou zde tedy zahrnuty zdroje, připojené přímo na linky. Jedná se typicky o fotovoltaické elektrárny. Výkon z těchto zdrojů může být spotřebován již na lince, což se projeví snížením zatížení v rozvodně. Je to také důsledkem převedení části výkonu na rozvodnu Planá nad Lužnicí (konfigurace připojení rozvodny směřuje na zkruhované provedení). Poslední hodnoty však opět ukazují mírný nárůst. Požadavky zákazníků na odběr elektrické energie se neustále zvyšují, domácnosti využívají stále více elektrických spotřebičů, velkou roli by také měl hrát trend elektromobility. Je tedy předpokládáno, že zatížení R Tábor (a stejně tak celé soustavy) bude postupně opět narůstat. Kapitola 2.1 částečně vychází ze zdroje [16].

2.2 Ostatní důvody výstavby

V současnosti je severní část Táborska napájena z R Tábor pomocí 7 kmenových linek 22 kV (Čekanice, Klokoty, Milevsko, Sedlec, Stádlec, Votice, Vožice). Tyto linky jsou postaveny jako venkovní vedení z R Tábor. Vedení je částečně tvořeno desetinásobným portálovým vedením (navíc vede linky Blanice, Lejčkov a Smyslov) a částečně čtyřnásobným a trojnásobným vedením. Je velmi staré, bylo postaveno roku 1953. Jsou zde použity vodiče AlFe6 95 mm^2 (linky Čekanice, Milevsko, Vožice) a AlFe6 70 mm^2 (linky Klokoty, Sedlec, Stádlec, Votice, Vožice). Pouze vodiče linek Čekanice a Milevsko jsou z roku 1969, zbytek pochází z roku výstavby. U linky Vožice jsou na úseku několika set metrů za rozvodnou použity vodiče AlFe6 95 mm^2, poté je průřez snížen a dále pokračují vodiče AlFe6 70 mm^2.

Mřížové stožáry jsou sestaveny z nýtovaných dílů a díly jsou spojeny pomocí šroubů. Konstrukce z nýtovaných spojů je staticky neurčitá, nelze tedy spočítat, zda by byla možná náhrada stávajících vodičů za nové, větší dimenze. Stožáry zatím nejsou nijak poškozeny, ani nejeví známky koroze. Životnost venkovních vedení je odhadována na 45 let. Se stářím přes 65 let tedy značně přesluhují. V roce 2008 došlo v Táboře k opakovaným poruchám na stejně starém vedení, kde se prokázala koroze ocelových duší vodičů. Z uvedených důvodů bylo rozhodnuto o kompletní výměně vedení včetně stožárů, nová vedení budou dvojnásobná. V zastavěné části Tábora budou částečně řešena kabelově. Stavba bude spojena s výstavbou rozvodny. Nová vedení budou také sloužit k propojení R Tábor a R Náchod mezi sebou, z tohoto důvodu vznikne nová kmenová linka Jordán.

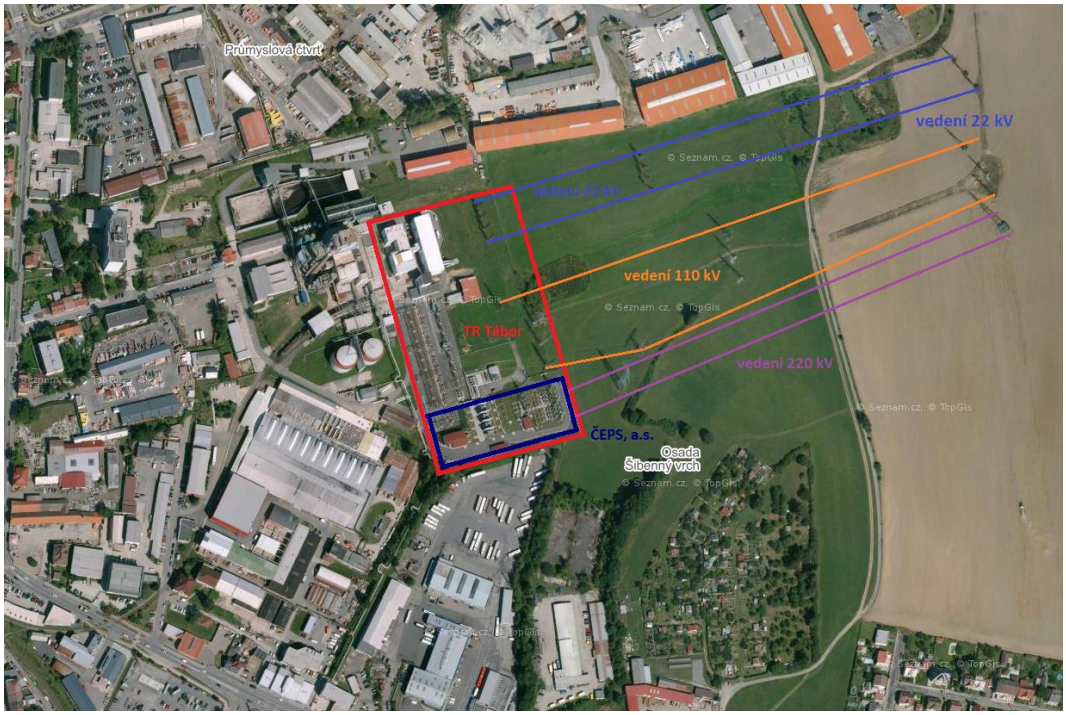
Výstavbou R Náchod se do budoucna vyřeší zálohování napájení oblasti Táborska, oblast bude možné napájet při výpadku R Tábor po síti vedení 22 kV z okolních rozvoden.

Dále rozvodna pomůže snížit hodnotu kapacitního proudu v oblasti. V současné době dosahuje proud 325 A, přičemž maximálně může ve smíšených sítích dosahovat pouze 300 A.

Nevýhodou R Tábor je její umístění v zástavbě města Tábor. Rozvodna byla postavena v roce 1948, v té době byla umístěna na okraji městské zástavby, která se během let značně rozrostla. Nyní je rozvodna ze třech stran zcela obklopena přiléhající průmyslovou zónou. Všechna venkovní vedení jsou vyvedena z rozvodny východním směrem, což zbývá také jako poslední možnost pro jakékoli akce, například výstavby nových linek. Na obrázku 2.7 můžeme vidět, že ze zmiňovaného směru přiléhají k pozemkům rozvodny louky a pole, na kterých jsou umístěna stávající vedení 22 kV, 110 kV a 220 kV. Jsou zde naznačena

pásma, která ukazují, jak jsou prostory stávajícími vedeními využity. Vidíme, že prostor pro případné další realizace je minimální, navíc musíme počítat i s ochrannými pásmy vedení.

Světle modře naznačené pásmo ilustruje umístění již zmiňovaných vedení 22 kV vedoucích k městské části Tábor – Náchod. Tato vedení budou kompletně rekonstruována a v tomto místě řešena kabelově. Kabely budou uloženy ve stejné trase jako stávající vedení. Oranžové pásmo ukazuje umístění vedení 110 kV a fialové pásmo vedení 220 kV. Tmavě modrý obdélník vymezuje část rozvodny patřící společnosti ČEPS, a.s. V jejím vlastnictví je také přívodní vedení 220 kV.



Obr. 2.7 – Letecký pohled na okolí R Tábor s vyznačením polohy rozvodny a vedení (převzato s úpravami z www.mapy.cz) [10]

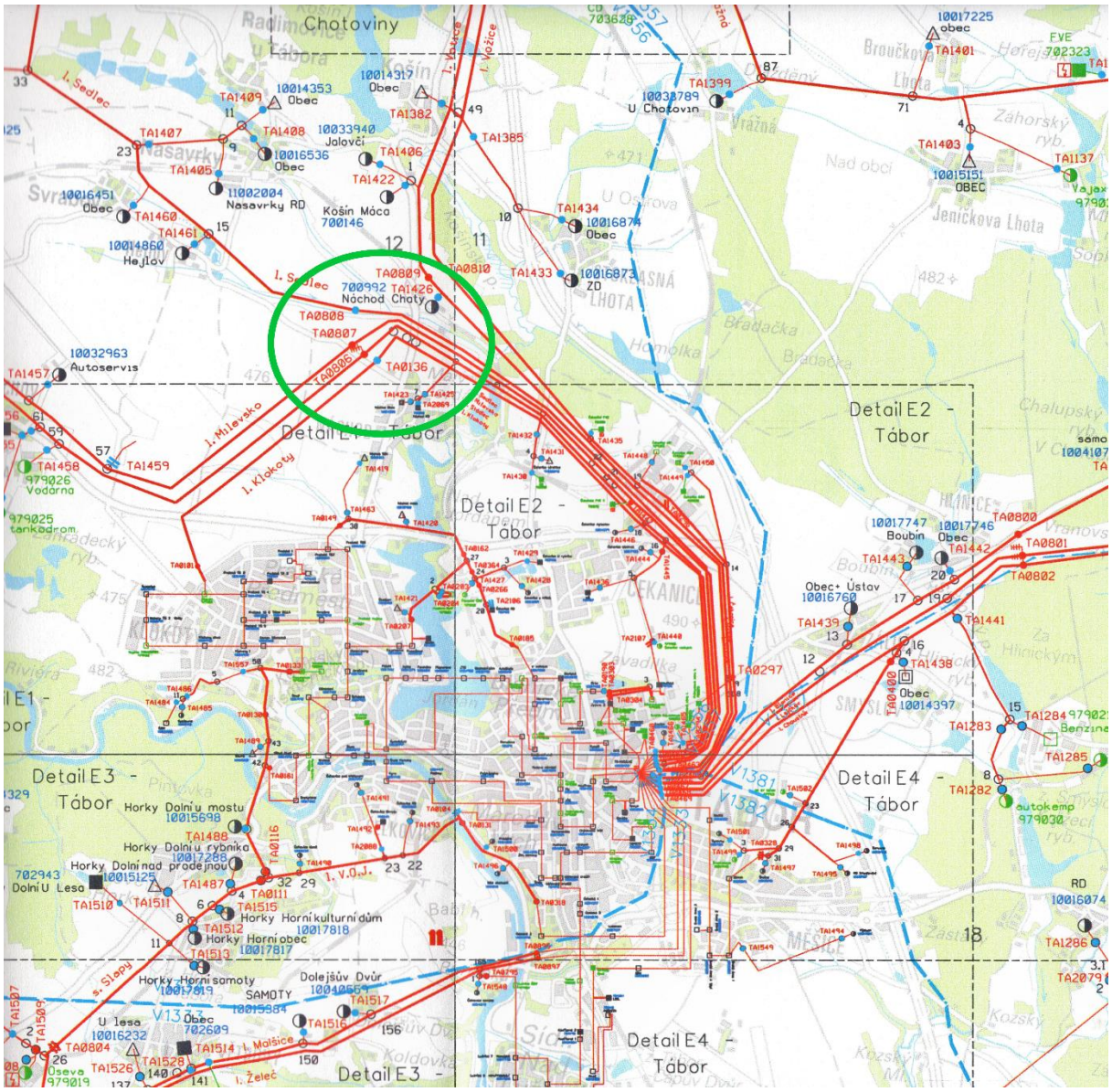
I pokud by se našel prostor pro umístění nových linek, dalším problémem je zde vlastnictví pozemků, na kterých by byly umístěny, většinou jsou v soukromém vlastnictví. Často má na pozemek vlastnické právo více osob ve formě podílů. Každé jednání se tím velmi komplikuje, několik pozemků může mít dohromady i desítky majitelů a stačí nesouhlas pouze jednoho z nich, aby se jednání zastavilo. Umístění R Tábor je tedy z hlediska majetko-právních vztahů do budoucna velkou komplikací. Nelze ji rozšiřovat, ani vyvádět vedení do jiných směrů. Tím se dostáváme k jednomu z přínosů stavby nové R Náchod. Aby nedošlo v příštích letech ke stejné situaci, jednou z podmínek pro výběr jejího umístění byla dostatečná vzdálenost od zástavby. Kapitola 2.2 částečně vychází ze zdrojů [9,10].

2.3 Volba umístění R Náchod

O místě výstavby druhé rozvodny v Táboře bylo rozhodnuto již před zadáním stavby, tedy kolem roku 2010. Na mapě níže vidíme letecký pohled části Tábora s červeně vyznačenou polohou R Tábor.

Obr. 2.8 – Letecký pohled na Tábor a jeho okolí s vyznačením polohy R Tábor (převzato s úpravami z www.mapy.cz) [10]

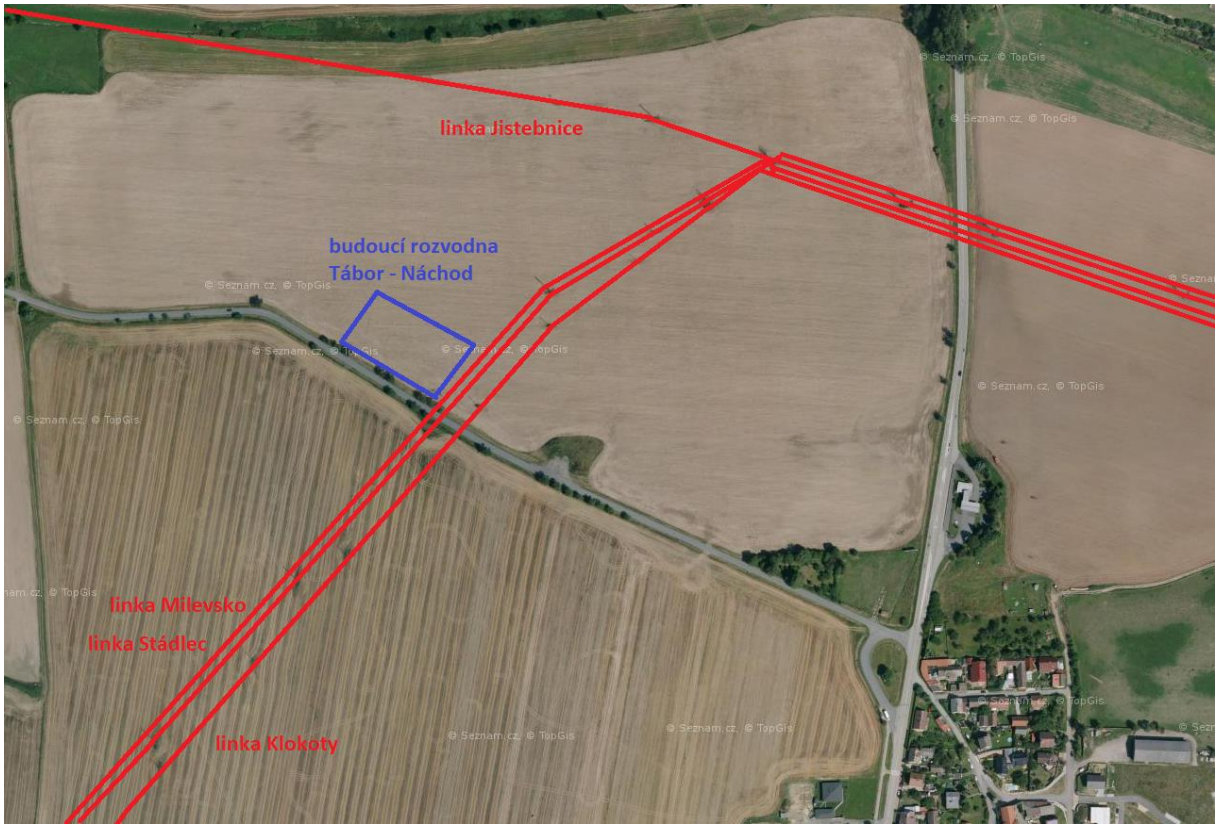
Rozvodna je umístěna na jiho-východní straně městské zástavby, bylo proto logické zvolit umístění druhé rozvodny na druhou stranu, tedy severo-západ. Zároveň bylo potřeba vybrat lokalitu, která bude dávat smysl z hlediska budoucího rozšiřování zástavby, resp. kde je předpokládán růst požadavků na dodávku elektrické energie. Tyto požadavky nejlépe splňuje městská část Náchod, která leží v požadované světové straně a zároveň je obklopena zemědělskou půdou. Na těchto pozemcích je v budoucnu předpokládán růst nové zástavby. Z těchto hledisek by přicházela v úvahu ještě lokalita Klokoty, kterou vidíme na východní části mapy.



Obr. 2.9 – Vedení VN a VVN v okolí Tábora
(převzato s úpravou z Provozních schémat VN – EG.D) [17]

Pro výběr místa je důležité znát plány vedení VN a VVN v okolí. Tyto plány můžeme vidět na obrázku 2.9, vedení VN jsou značena červenou barvou a vedení VVN barvou modrou. Rozvodnu je vždy nutné umístit co nejblíže k přívodnímu vedení, v tomto případě 110 kV, a zároveň co nejblíže k linkám VN. Při pohledu na plány se zásadně nabízí lokalita označená zelenou kružnicí, kde se rozdělují linky VN vedoucí od R Tábor. Jedná se o ty linky, jejichž vedení je potřeba zrekonstruovat. Místo je zároveň blízko vedení 110 kV.

Dalšími požadavky na polohu rozvodny je dostupnost pro těžkou techniku, je tedy potřeba, aby byla rozvodna umístěna blízko komunikace. Zároveň je důležité, aby byla přístupná ze všech směrů, nejlépe uprostřed polí. Posledním aspektem, který je třeba brát v úvahu, je ochota majitele prodat pozemky za smysluplnou cenu.



Obr. 2.10 – Letecký pohled na okolí budoucí R Náchod zobrazující budoucí polohu rozvodny a stávající linky 22 kV (převzato s úpravami z www.mapy.cz) [10]

Vzhledem k požadavkům byl vybrán pozemek KN č. 393, KÚ Náchod, u silnice vedoucí z Náchoda směrem na Hejlov, Svrabov. Jedná se o pozemek splňující všechna kritéria, je umístěn vedle silnice, která zároveň není silnicí hlavní, a v blízkosti není žádná zástavba. Zároveň je situován těsně u třech stávajících linek VN, velmi blízko u konce zmiňovaného starého čtyřnásobného vedení. Zvolené umístění umožní relativně krátkými kabelovými vývody připojit do nové R 22 kV osm stávajících vedení 22 kV. Kapitola 2.3 částečně vychází ze zdrojů [9, 10, 17].

3 Návrh transformovny Tábor – Náchod

3.1 Přenosová schopnost

Do nové TR budou připojeny kmenové linky 22 kV Čekanice, Jistebnice, Klokoty, Milevsko, Stádlec, Votice a Vožice. Navíc bude připojena také nová linka Jordán, která bude sloužit jako propojení do R Tábor. Součet maximálních proudových zatížení stávajících linek byl v posledních letech před zpracováním zadání stavby následující:

Tab. 3.1 – Zatížení linek v oblasti Náchod v letech 2005 – 2010

Zimní období	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010
Zatížení (A)	442	453	420	469	445

Na základě výše uvedené tabulky lze vypočítat maximální výkonové zatížení:

$$S_T = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_V = \sqrt{3} \cdot 23\,000 \cdot 469 = 18{,}7\ MVA \qquad (3.1)$$

kde:

U_N je jmenovité napětí,

I_V je součet proudů vedení VN.

Výkonové zatížení vypočtené s využitím hodnot z období 2008/2009 vyšlo 18,7 MVA, což se blíží typické hodnotě 25 MVA, která se používá v distribučních sítích. Důležité pro provoz transformátoru je jeho provozní zatížení:

$$\beta_T = \frac{S_T}{S_N} \cdot 100 = \frac{18{,}7}{25} \cdot 100 = 74{,}8\ \% \qquad (3.2)$$

kde:

S_T je hodnota výkonu transformátoru z rovnice (3.1),

S_N je jmenovitý výkon transformátoru.

Zatížení transformátoru by bylo v té době zhruba 75 %, s touto hodnotou by bylo vhodné umístit do rozvodny transformátory dva. Než však dojde k samotné výstavbě transformovny, může dojít k velkým změnám zatížení, které může podstatně klesnout. Navíc náklady na zakoupení jednoho transformátoru jsou vyčísleny na 15 milionů Kč, jedná se tedy o velkou investici. Bylo tedy rozhodnuto, že se bude počítat se zakoupením jednoho transformátoru 110/23 kV o typovém výkonu 25 MVA. Projektovány jsou oba transformátory, rozhodnutí o instalaci druhého transformátoru bylo však v té době z uvedených důvodů odloženo na dobu před realizací stavby.

Dále využiji hodnoty zatížení uvedených linek ze zimních období let 2014 – 2019:

Tab. 3.2 – Zatížení linek v oblasti Náchod v letech 2014 – 2019

Zimní období	2014/2015	2015/2016	2016/2017	2017/2018	2018/2019
Zatížení (A)	535	455	515	513	444

Tabulka 3.2 ukazuje, že předpoklad byl správný. Zatížení kmenových linek se v posledních letech pohybuje okolo 500 A. Došlo tedy ke znatelnému nárůstu. Přepočítám tedy maximální výkonové zatížení s nejvyšší hodnotou proudu z období 2014/2015:

$$S_T = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_V \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 23\,000 \cdot 535 = 21{,}3\ MVA \quad (3.3)$$

Zatížení transformátoru:

$$\beta_T = \frac{S_T}{S_N} \cdot 100 = \frac{21{,}3}{25} \cdot 100 = 85{,}2\ \% \quad (3.4)$$

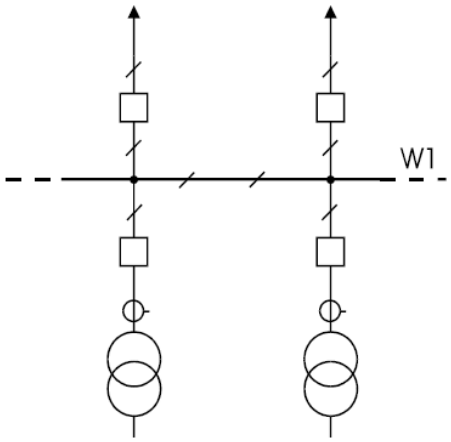
V době psaní této diplomové práce již probíhá samotná stavba rozvodny, došlo tedy na základě posledních hodnot k rozhodnutí o vybavení rozvodny i druhým transformátorem. Druhý transformátor bude stejného jmenovitého výkonu jako transformátor první, tedy 25 MVA. Kapitola 3.1.1 částečně vychází ze zdrojů [9, 16].

3.2 Základní systémy přípojnic:

Při stavbě rozvodny je důležité zvolit její schéma, resp. systém přípojnic. Krátce charakterizuji základní možnosti:

a) Jednoduchý systém přípojnic

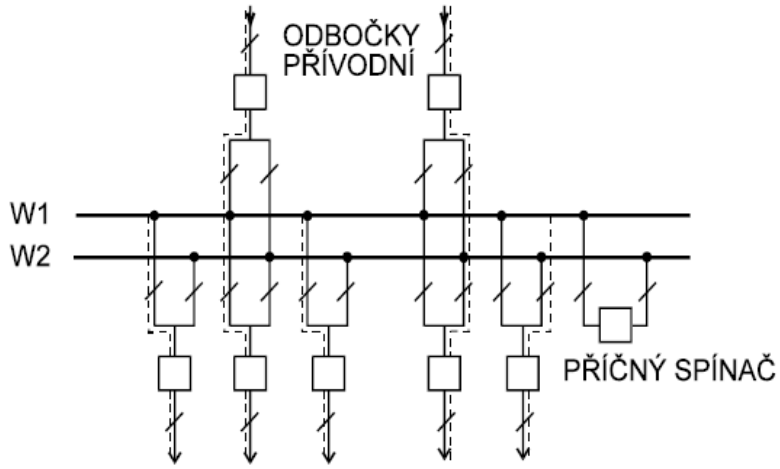
Používá se u menších rozvoden, které nejsou pro chod soustavy zásadní. Při revizích a opravách je občas nutné přípojnici odpojit, používá se tedy tam, kde je možné linky vývodů napájet z jiných rozvoden. Nepoužívá se v rozvodnách napájejících spotřebiče, jejichž vypnutí by způsobilo ohrožení zdraví nebo velké finanční ztráty. V distribučních sítích se používá u rozvoden typu H (uvedeno na obr. 3.1), jedná se o rozvodny se dvěma transformátory a se dvěma přívodními odbočkami. Rozvodny tohoto typu jsou u nás realizovány velmi často. Možnost rozdělení přípojnice dává použití podélného spínače přípojnic. Bývá realizován pomocí dvou odpojovačů, případně ještě vypínače.



Obr. 3.1 – Jednoduchý systém přípojnic s podélným dělením – typ H [18]

b) Dvojitý systém přípojnic

Tento systém je nutný tam, kde není možné ani krátkodobé přerušení napájení. Každou přípojnici je možné provozovat a napájet zvlášť. Je tak možné oddělovat zdroje, venkovní a kabelové sítě, omezovat zkratové proudy, napájet i při výpadku jedné přípojnice. Základní jednopólové schéma dvojitého systému přípojnic je vyobrazeno na obr. 3.2. Systém musí být vybaven příčným spínačem přípojnic, který je realizován dvěma odpojovači a vypínačem. Přepojování odboček mezi přípojnicemi je tak možné i bez přerušení dodávky. Dvojitý systém lze také dělit podélně, stejně jako jednoduchý.



Obr. 3.2 – Dvojitý systém přípojnic s příčným dělením [18]

c) Trojitý systém přípojnic

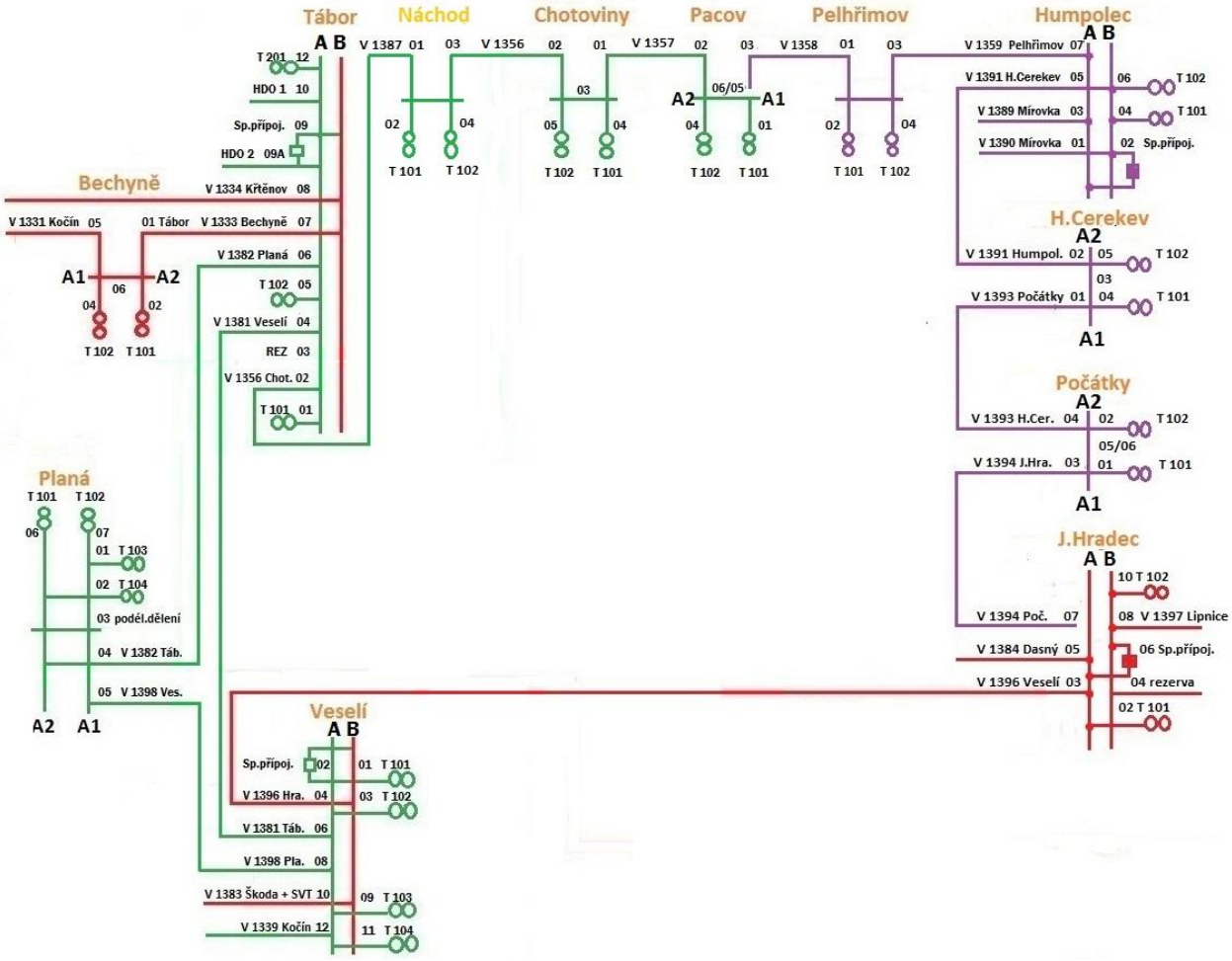
Používá se u největších rozvoden, kde je žádoucí oddělovat od sebe sítě stejného napětí. Vzhledem k zadání mé práce jsem považoval za důležité zmínit existenci systému, nebudu se jím však dále zabývat.

V některých rozvodnách se realizuje speciální případ systému, tzv. systém s pomocnou přípojnicí. Tato přípojnice slouží k záložnímu převedení výkonu v případě, že není možné při poruše nechat dočasně odstavenou některou odbočku rozvodny. Takový provoz se pak nazývá náhradní. Tímto způsobem je možné napájet pouze jednu odbočku. Kapitola částečně vychází ze zdrojů [18, 8].

3.3 Rozvodna 110 kV

3.3.1 Návrh jednopólového schéma

Pro R Náchod byl zvolen jednoduchý systém přípojnic typu H. Jedná se o malou distribuční transformovnu 110/22 kV, která bude vřazena „sériově“ do systému rozvoden tak, jak vidíme v horní části obrázku 3.3.

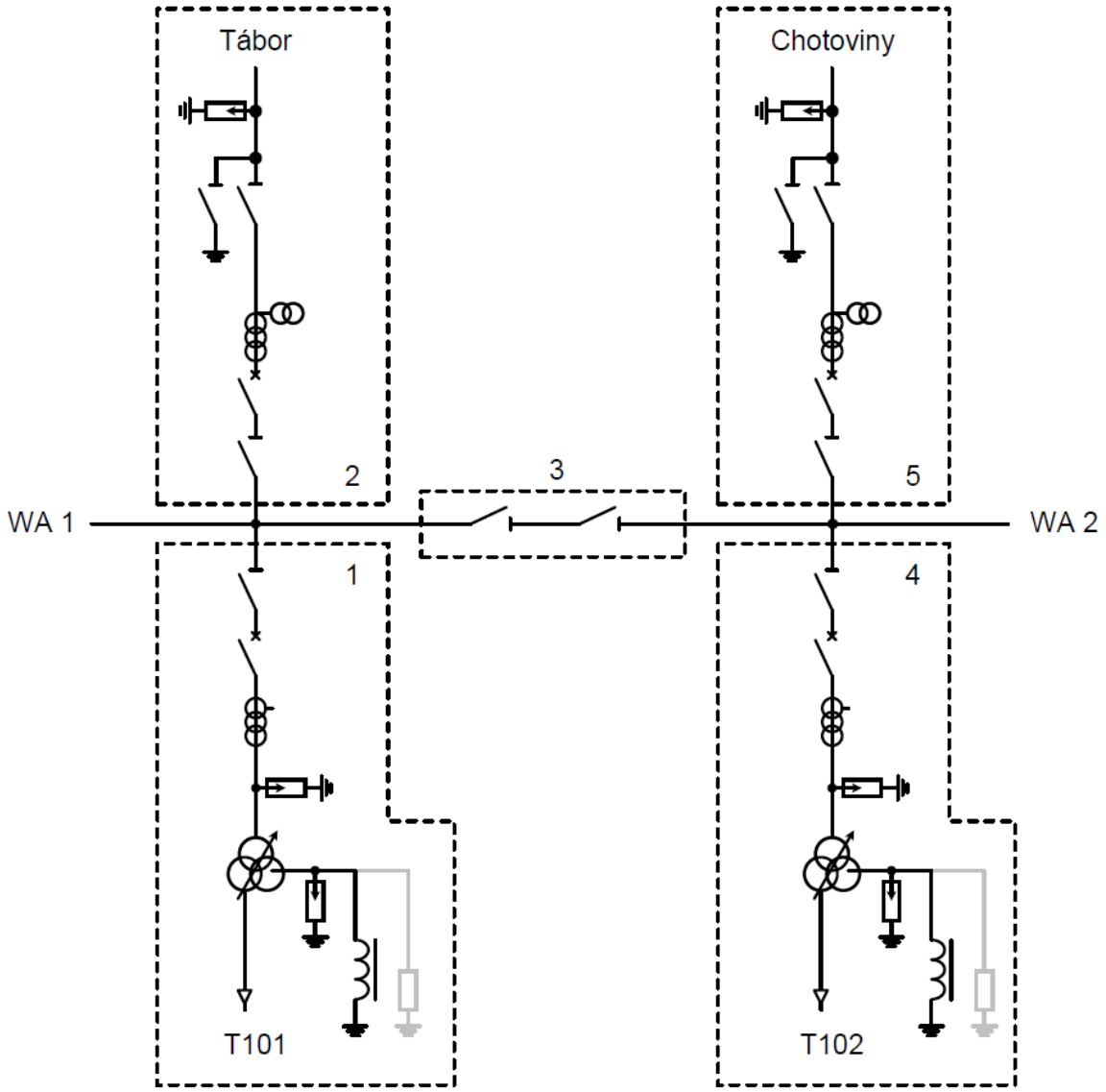


Obr. 3.3 – Propojení rozvoden 110 kV [17]

Rozvodna bude mít dvě přívodní pole 110 kV – vedení 1356 směr Chotoviny a vedení 1387 směr Tábor. Dále bude mít dvě pole transformátoru 110/22 kV a jedno pole podélného spínače přípojnice. Vzhledem ke konfiguraci sítí 110 kV viz. obrázek 3.3, systém více přípojnic by postrádal význam.

Transformovna bude umístěna zcela mimo zastavěné území a dle Územního plánu města Tábor v budoucnu v místech mimo zastavitelné území, navíc se zde nepředpokládá problém s majetkoprávními vztahy. Proto bylo vybráno klasické venkovní řešení rozvodny AIS s umístěním přístrojů na vysoké konstrukci. Hlavní a pomocné konstrukce rozvodny

budou příhradové, z žárově pozinkované oceli. Přípojnice budou provedeny trubkovými vodiči.



Obr. 3.4 – Schéma rozvodny 110 kV [17]

Na obr. 3.4 vidíme navrhované schéma rozvodny 110 kV. Pole transformátorů jsou označena čísly 1 a 4, pole přívodní mají čísla 2 a 5 a poslední pole č. 3 je podélný spínač přípojnic. Pole budou vybavena následovně:

- pole transformátoru:
  - výkonový vypínač se zhášecí komorou s plynem SF_6,
  - přípojnicový odpojovač,
  - měřící transformátor proudu,
  - omezovače přepětí na primární a terciální straně transformátoru T101 (T102),
  - Petersonova zhášecí tlumivka připojena na terciální vinutí transformátoru

s připínatelným odporníkem (ve schématu šedě),

- pole vývodové:
  - výkonový vypínač se zhášecí komorou s plynem SF_6,
  - vývodový odpojovač se zemním nožem,
  - přípojnicový odpojovač,
  - kombinovaný měřící transformátor,
  - omezovač přepětí blízko místa připojení venkovních vedení do rozvodny,
- pole podélného spínače:
  - dva přípojnicové odpojovače. [9, 17]

3.3.2 Stanoviště transformátorů VVN/VN

Stání transformátorů budou dimenzována na transformátory se jmenovitým výkonem 40 MVA. Osazena budou dvěma transformátory s jmenovitým výkonem 25 MVA, v případě potřeby v budoucnu je tedy bude možné vyměnit za transformátory s výkonem 40 MVA. V každém stání bude umístěna zhášecí tlumivka a odporník. Výkon z transformátorů do rozvodny 22 kV bude vyveden kabely 3xCXEKVCEY 2x300 mm^2. Průřez kabelů by měl být dostatečný i při osazení transformátory 40 MVA.

Dle požadavků byly zvoleny stroje od výrobce ETD TRANSFORMÁTORY, a.s. Jedná se o českou firmu, navazující na závody Škoda. Transformátory budou třífázové se třemi vinutími, typ ER31M-0. Primární vinutí bude zapojeno do uzemněné hvězdy a bude sloužit také k odbočkové regulaci napětí při zatížení (110 ± 8x2 %), sekundární vinutí bude zapojeno také do uzemněné hvězdy. Terciální vinutí bude zapojeno do otevřeného trojúhelníku, toto zapojení slouží k vyrovnání zatížení ve fázích a k eliminaci vyšších harmonických. Chlazení bude olejové přirozené s ofukováním (ONAN/ONAF). Ofukování bude prováděno automaticky v závislosti na teplotě oleje, bude ale také možné zapnutí ručně. Štítkové hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Tab. 3.3 – Štítkové hodnoty T101 (T102)

	VN	NN	TN
Napětí (kV)	110	23	6,3
Proud (A)	131	628	733
Výkon (MVA)	25	25	8
Převod	110 ± 8x2 %/23/6,3 kV		
Po (kW)	13,9		
Pk (kW)	87,1		
Hmotnost (t)	46,8		
Olej (t)	10,1		

Transformátory budou chráněny omezovači přepětí ZnO na primární i sekundární straně. Dále budou chráněny ochranami:

- nadproudová zkratová nebo impedanční (primární),
- nadproudová zkratová (sekundární),
- nadproudová zkratová (terciální),
- plynová,
- rozdílová,
- zemní nádobová.

Stání transformátorů VVN/VN je standardně (dle podnikové normy TNS 30 8020) řešeno umístěním prefabrikovaného betonového stání. Na základové štěrkové lože se umisťuje záchytná betonová vana, která slouží zároveň jako havarijní jímka. Její objem je dimenzován na 100 % objemu oleje v transformátoru 40 MVA, 100 % objemu oleje v tlumivce o výkonu 5000 kVAr a objem tříměsíčních srážek vypočítaný ze srážkového průměru na plochu stání. K tomu je vždy připočítána ještě 5% rezerva. Jímka je vybavena pozinkovanými samozhášecími rošty. Transformátory jsou odděleny protipožární ochrannou železobetonovou stěnou, její výška musí být minimálně stejná jako výška transformátoru a délka musí být minimálně stejná jako délka přilehlé strany záchytné jímky. Tímto standardem se bude řídit návrh stání v R Náchod.

3.3.3 Zhášecí tlumivky

Obě stání budou vybavena zhášecími tlumivkami s plynulou regulací a s připínatelnými odporníky. Výrobcem tlumivek i odporníků bude společnost EGE, spol. s r.o. Jmenovitý výkon obou tlumivek bude 5000 kVAr, jmenovitý proud 37,6 – 376 A. Při tomto zatížení bude jejich provoz možný po dobu 2 hodin. Na vstupu do kabelu k tlumivce budou osazeny omezovače přepětí.

Je předpokládáno, že v budoucnu bude nutné v Táboře provozovat kabelové sítě 22 kV uzemněné přes odpor. Z tohoto důvodu bude u stanovišť transformátorů ponechána stavební rezerva pro jeho budoucí instalaci.

3.3.4 Vypínače

Vypínače budou dodány společností Siemens. Bude se jednat o jednopólové (transformátorové pole) a třípólové (vývodové pole) vypínače s vlastní kompresí. Jako zhášecí a izolační médium bude použit plyn SF_6. U těchto vypínačů je hustota plynu monitorována hlídačem hustoty a manometr udává tlak. Blokáda zabraňuje jakémukoliv spínání při nízké hustotě plynu SF_6. Součástí vypínače je pružinový střádačový pohon pro každou fázi zvlášť, umožňuje tedy jednopólové i třípólové opětovné zapínání. Energie pro spínání je vždy nastřádána v jedné zapínací a jedné vypínací pružině.

Pole linky VVN č. 2 a linky VVN č. 5 (obr. 3.4)

Počet pohonů	3
Jmenovité napětí	123 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu	550 kV
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Jmenovitý proud	3150 A
Jmenovitý zkratový vypínací proud	40 kA
Jmenovitá doba zkratu	1 s
Jmenovitý vypínací proud nezatíženého venkovního vedení	31,5 A
Teplotní třída	-30°C…+40°C
Ovládací napětí	110 V DC
Napětí motoru pohonu	110 V DC
Napětí topného obvodu	400/230 VAC, 50 Hz
Ovládací cívky	2 vypínací, 1 zapínací

Pole T101 č. 1 a T102 č. 4 (obr. 3.4)

V polích transformátorů budou použity stejné vypínače jako v polích linek VVN, ale budou pouze s jedním pohonem. U linek VVN musí mít každý vypínač svůj vlastní pohon pro možnost jednofázového OZ. Při poruše na transformátoru dojde k vypnutí všech fází jedním pohonem. Štítkové hodnoty odpovídají výše uvedeným u linkových vypínačů.

3.3.5 Odpojovače

Dodavatelem odpojovačů VVN bude společnost GE Grid Solutions.

Přípojnicové

Pro přípojnicové odpojovače byl zvolen typ S2DA, jedná se o třípólový odpojovač se dvěma otočnými rameny v horizontální rovině. Pohony odpojovačů jsou motorové. Spojení kontaktů je provedeno pomocí čelistí, umístěných na jednom rameni, a válců, které jsou součástí druhého ramene a zapadají do čelistí prvního. Kontakty jsou vyrobeny z mědi a jsou uchyceny na koncích hliníkových profilů, které představují ramena. Na kontaktech jsou umístěny pružiny, které slouží ke správnému stlačení kontaktů. Kontakty jsou samočistící.

Štítkové hodnoty:

Jmenovité napětí	123 kV
Frekvence	50 Hz
Jmenovitý proud	2000 A
Jmenovitý krátkodobý proud (1s)	40 kA
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu	550 kV
Jmenovité krátkodobé výdržné napětí	230 kV
Teplotní třída	-35°C…+40°C
Elektrický pohon:	
Jmenovité napětí ovládací	230 V AC
Jmenovité napětí elektromotoru	3 x 230/400 V, 50 Hz

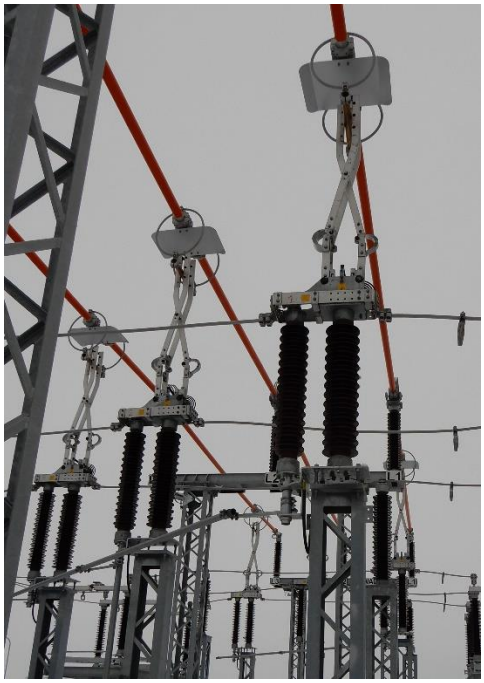
Vývodové s uzemňovačem

Vývodové odpojovače budou typu S2DAT, jedná se o stejné odpojovače jako přípojnicové, ale navíc mají přidaný uzemňovač. Štítkové hodnoty odpovídají hodnotám přípojnicových.

Obr. 3.5 – Odpojovače S2DAT ve vypnutém stavu

Odpojovače podélného dělení

Pro podélné dělení byl zvolen typ SX, jedná se o vertikální pantografický odpojovač. Skládá se z pevného a pohyblivého kontaktu. Pevný kontakt je tyč zavěšená na trubkových vodičích přípojnic pomocí pružného systému kabelů. Pohyblivý je umístěn na podpěrných izolátorech, které jsou umístěny na pevných stojkách. Kontakty jsou vyrobeny z postříbřené mědi. Štítkové hodnoty jsou stejné jako u předešlých odpojovačů.



Obr. 3.6 – Pantografický odpojovač SX v zapnutém stavu

3.3.6 Přístrojové transformátory

Dodavatelem přístrojových transformátorů bude společnost KONČAR – Electrical Industry Inc.

Kombinované

Kombinované přístrojové transformátory napětí a proudu budou použity v polích linek VVN (č. 2 a č. 5 v Obr. 3.4). Transformátory budou olejové, typ VAU-123. Budou sloužit pro oddělení měřících a ochranných zařízení od vysokého napětí a pro transformaci měřících proudů a napětí na hodnoty přizpůsobené měřícím zařízením. Transformátor proudu je umístěn v hlavě transformátoru, napěťový je umístěn uvnitř izolátorů. Kombinovaný transformátor je zvolen z důvodu menších nároků na prostor, spojovací elementy a kabelové kanály. Izolace mezi vinutími a neživými částmi je provedena pomocí izolačního papíru a transformátorového oleje ve vysokém vakuu. Izolátory jsou porcelánové, válcového tvaru. Hlava transformátoru je vyrobena z hliníkové slitiny.

Štítkové hodnoty:

Nejvyšší napětí	123 kV
Jmenovité napětí	110 kV
Jmenovitá frekvence	50 Hz
Jmenovitý krátkodobý proud	40 kA
Špička impulsního výdržného napětí	550 kV
Jmenovité krátkodobé výdržné napětí	230 kV
Teplotní třída	-35°C…+40°C
Proudová část:	
Jmenovitý primární proud	4x400 A
Počet jader	4
Jmenovitý sekundární proud	1/1/1/1 A
Jmenovitý výkon	15/15/30/30 VA
Třída přesnosti	$0{,}2FS5/0{,}5FS5/5P20/5P20$
Přetížitelnost	120 %

Napěťová část:

Jmenovité primární napětí	$110/\sqrt{3}$ kV
Počet jader	3
Jmenovité sekundární napětí	$0{,}1/\sqrt{3}//0{,}1/\sqrt{3}//0{,}1/\sqrt{3}\ kV$
Jmenovitý výkon	10/30/30 VA
Třída přesnosti	0,2/0,5/0,5

Proudové

Budou použity transformátory typu AGU-123 v polích T 101 a T 102. Jsou to transformátory s vinutými jádry, primární vinutí prochází středem jádra, rozptylová reaktance je téměř nulová. Jedná se tedy o transformátor nízkoreaktantního typu. Sekundární vinutí je měděné a je rovnoměrně umístěné podél obvodu jádra. Izolace je provedena stejným způsobem jako u kombinovaného měřícího transformátoru. Štítkové hodnoty jsou obdobné, jediným rozdílem je hodnota jmenovitého primárního proudu 2x300 A. Samozřejmostí je absence napěťové části, tedy i jejích štítkových hodnot.

3.3.7 Omezovače přepětí

Budou umístěny na transformátorech 110/22 kV, tlumivkách a přístrojových transformátorech. Dodavatelem omezovačů bude společnost Siemens, typ je SBK-IV 96/10.3. Jedná se o silikonové omezovače ZnO.

Štítkové hodnoty:

Max. napětí	123 kV
Jmenovité napětí	110 kV
Jmenovitá frekvence	48 – 62 Hz
Pracovní teplota	-35°C…+40°C
Počet pólů	1
Max. zkratový proud	40 kA
U_R u transformátorů a tlumivek	96 kV
U_R u měřících transformátorů	102 kV

Kapitola částečně vychází ze zdrojů [9, 19].

3.4 Rozvodna 22 kV

3.4.1 Rozvaděč

Rozvodna 22 kV bude řešena jako vnitřní, zapouzdřená, dvoupřípojnicová rozvodna s příčným spínačem přípojnic. Bude umístěna v jednopodlažní BSP a sestavena ze skříňových rozvaděčů VN Schneider Electric, typ je určen druhem pole. Pro označení rozvaděče se používá zkratka AJA.

Rozvodna bude složena z osmi vývodových polí, dvou polí transformátoru VVN/VN a jednoho pole vlastní spotřeby. Dále bude vybavena polem spínače přípojnic, polem měření a jedním plně vybaveným polem rezervním. Stavebně bude prostor navržen tak, aby bylo v případě potřeby možné doplnit dalších šest polí, z každé strany rozvaděče tři. Prostory rozvaděče jsou zkonstruovány jako hermeticky uzavřený tlakový systém vyplněný izolačním plynem SF_6. Pohony vypínače a odpojovačů budou umístěny mimo prostory s plynem, stejně tak převodové transformátory.

Standardně je každá nová rozvodna tohoto typu navržena pro bezobslužný provoz, rozvaděč lze tedy ovládat dálkově z regionálního dispečinku. Nouzově lze manipulovat pomocí terminálu umístěného na každém poli rozvaděče, zde budou použity terminály SIPROTEC 7SJ85.

Parametry rozvaděče:

Jmenovité napětí	25 kV
Jmenovitý proud přípojnic	1250 A

Jednopólové schéma R 22 kV uvádím z důvodu velké prostorové náročnosti v přílohách č. 1 a 2.

3.4.2 Vybavení polí

Vývodová pole – typ GHA-36-16-06 (8 aktivních polí + 1 rezervní kompletně vyzbrojené)

- 1x trojpólový vakuový vypínač 630 A s motorovým pohonem.
- 2x trojpólový odpojovač 630 A s motorovým pohonem.
- 1x trojpólový uzemňovač s motorovým pohonem.
- Proudový transformátor $400/5/1$ A, výkon $10/10$ VA, třída přesnosti $0{,}5FS10/5P20$.
- Systém detekce zpětného napětí IVIS.
- Systém monitorování tlaku plynu IDIS.

Pole transformátorů – typ GHA-36-16-12 (2 aktivní)

- 1x trojpólový vakuový vypínač 1250 A s motorovým pohonem.
- 2x trojpólový odpojovač 1250 A s motorovým pohonem.
- 1x trojpólový uzemňovač s motorovým pohonem.
- Proudový transformátor $1500/1$ $(750/1)$ A, výkon $5/5$ VA, třída přesnosti $0{,}5FS10/5P20$.
- Napěťový transformátor s odpojovačem $22000/\sqrt{3}//100/\sqrt{3}//100/3$ V, výkon 30/30 VA.
- Systém monitorování tlaku plynu IDIS.

Pole spínače přípojnic – typ GHA-36-16-12 (1 aktivní)

Výbava pole je stejná jako pole transformátoru, neobsahuje však napěťový transformátor s odpojovačem.

Pole měření – typ GHA-36-16 (1 aktivní)

- Napěťové měniče kovově zapouzdřené $22000/\sqrt{3}//100/\sqrt{3}//100/3$ V, výkon $30/30$ VA, třída přesnosti $0{,}5/3P$, v každé fázi 2 ks.
- Systém monitorování tlaku plynu IDIS.

Pole vlastní spotřeby – typ GHA-36-16-06 (1 aktivní)

Výbava odpovídá vývodovému poli bez systému detekce napětí IVIS.

Vysvětlení typového označení rozvaděče:

GHA-36-16-06

- Řada GHA.
- Jmenovité napětí 36 kV.
- Jmenovitý krátkodobý proud 16 kA.
- Jmenovitý provozní proud 0,6 kA.

Obr. 3.7 – Rozvaděč Schneider GHA

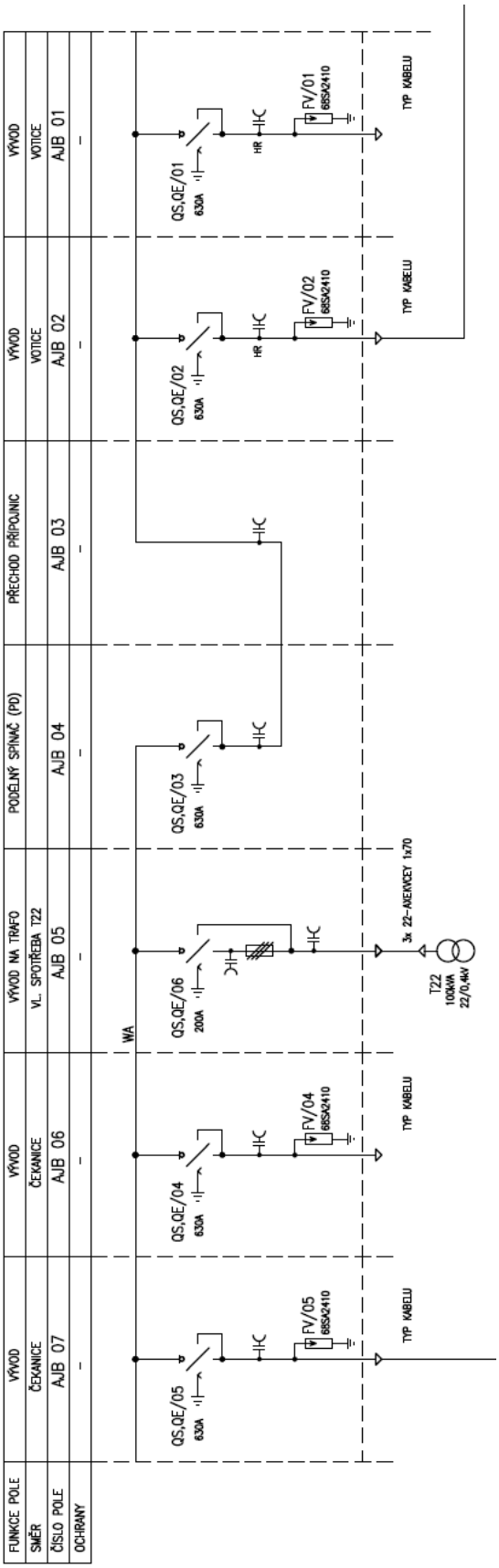
3.4.3 Vlastní spotřeba

Vlastní spotřeba bude řešena dvěma suchými transformátory T 21 a T 22, jejich výrobcem bude SGB CZECH TRAFO, typ strojů DTTHZ1N 250/20.

Štítkové hodnoty:

Jmenovitý výkon	250 kVA
Jmenovité napětí	$22000 \pm 2{,}5\ \% / 400\ V$

Budou umístěny v BSP, ve vlastních místnostech zpřístupněných z vně budovy. Jeden transformátor bude připojen do rozvaděče AJA, pole vlastní spotřeby. Druhý bude připojen do kompaktního rozvaděče ORMAZABAL 22 kV (označení AJB) s jednou přípojnicí, který bude nasmyčkován na dva vývody linek VN. Toto zapojení je standartně používáno u všech rozvoden pro napájení vlastní spotřeby při vypnutí celého rozvaděče AJA. Rozvaděč musí obsahovat dvě pole pro zapojení každé linky (jedno pole slouží k propojení s rozvaděčem AJA a druhé pro přívod z linky VN), jedno pole pro připojení transformátoru vlastní spotřeby a pole podélného spínače přípojnice pro rozdělení vývodů. Z prostorových důvodů musí být u podélného spínače ještě tzv. pole přechodu přípojnic, které slouží k propojení spodní části spínače a přípojnice umístěné v horní části rozvaděče, viz. schéma na obr. 3.8.



Obr. 3.8 – Schéma rozvaděče AJB [17]

3.4.4 Záloha vlastní spotřeby

VS bude zálohována pomocí staniční baterie, jejíž kapacita bude dimenzována na pokrytí výpadku střídavé VS po dobu pěti hodin. Baterie o napětí 110 V_{ss} se bude skládat z 54 ks baterií KUMER 4 OPzS 200 o celkové kapacitě 215 Ah.

Zálohované střídavé napětí 230 V bude vytvářeno modulovým střídačem. Kapitola 3.2 částečně vychází ze zdrojů [9, 19, 20].

4 Kontrola zařízení na účinky zkratových proudů

Zařízení se vždy musí zkontrolovat na účinky nejhorší možné elektrické poruchy. Kontroluje se schopnost technologií odolat tepelným a mechanickým účinkům zkratového proudu. Pro výpočty mi byly od konzultantů poskytnuty parametry venkovních vedení a hodnoty maximálních zkratových proudů na přípojnicích rozvoden Tábor a Planá. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 4.1 a 4.2. Parametry vedení jsem s pomocí konzultanta ověřil v podnikovém programu NetViewer. Budu uvažovat plánované zapojení rozvodny do soustavy VVN. Při výpočtech budu postupovat dle platných norem, rad konzultantů a projektanta, zabývajícího se projektováním rozvoden. Budu využívat normy ČSN EN 60909-0 ed. 2, ČSN 38 1754 a ČSN EN 60865-1.

4.1 Výpočet zkratových poměrů na přípojnicích 110 kV a 22 kV

Pro výpočet zkratových proudů a výkonů využiji metodu ekvivalentního zdroje napětí v místě zkratu. Metoda spočívá v nahrazení všech prvků propojené soustavy vnitřními impedancemi a následném vypočítání zkratového proudu pomocí zmíněného ekvivalentního napětí, které je jediným napětím soustavy. Dle instrukcí od konzultantů budu uvažovat elektricky vzdálený zkrat s dobou trvání 1 s.

Pro výpočty využiji následující poskytnuté hodnoty:

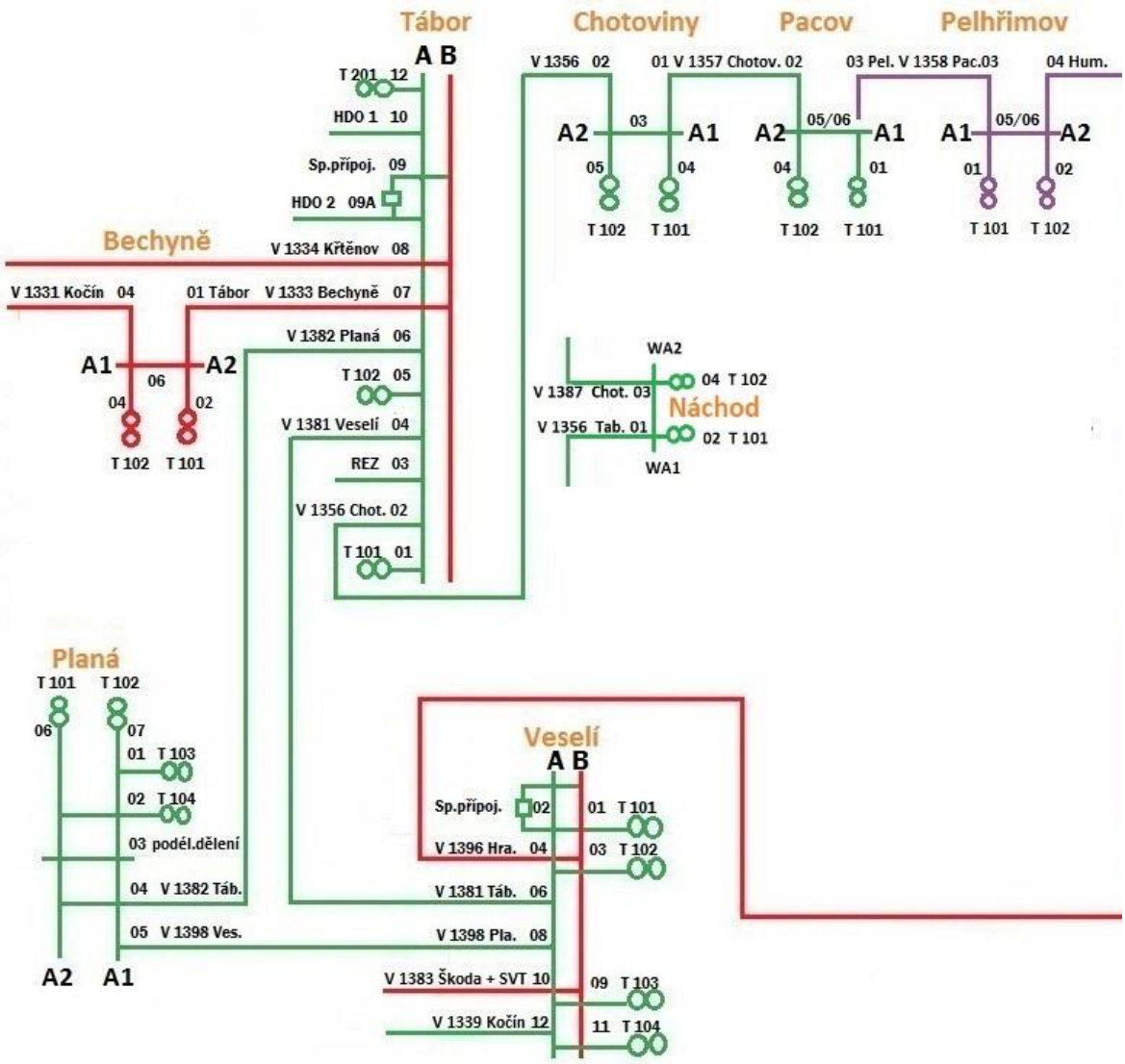
Tab. 4.1 – Potřebné parametry vedení zkratové oblasti Tábor – Náchod

Název linky	Typ vodiče	Délka (m)	R_V (Ω)	X_V (Ω)	R_0/R_1	X_0/X_1
V1381	3x185 AlFe6	26 930	4,201080	11,202900	3,5	3,5
V1382	3x185 AlFe6	8 190	1,277640	3,407040	3,5	3,5
V1398	3x185 AlFe6	21 110	3,293160	8,781760	3,5	3,5
V1356	3x240 Alfe6	6 845	0,855625	2,779072	3,5	3,5
V1387	3x240 Alfe6	5 221	0,652625	2,119727	3,5	3,5

V tabulce jsou uvedeny parametry linek, které budou platit po výstavbě rozvodny. V projektu jsou předem určeny délky nových vedení V1356 a V1387 a jejich typ, celkové parametry nových linek jsem dopočítal.

Tab. 4.2 – Zkratové poměry na přípojnicích v rozvodnách Tábor a Planá

Název rozvodny	R 110 kV			R 22 kV
	$S''_{k\,3f}(MVA)$	$I''_{k\,3f}(kA)$	$I''_{k\,1f}(kA)$	$I''_{k\,3f}(kA)$
Tábor	1 142	6,00	5,79	9,40
Planá	744	3,91	4,48	5,40



Obr. 4.1 – Schéma zkratové oblasti [17]

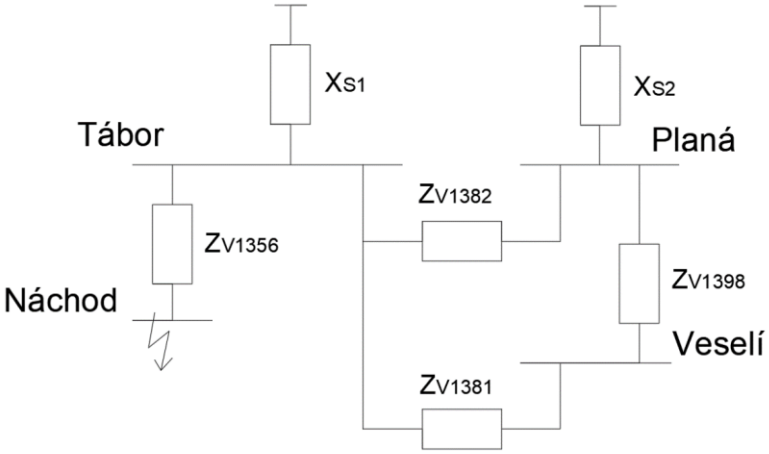
Na obrázku 4.1 vidíme zeleně označenou oblast, do které bude připojena R Náchod. Oblast je napájena z nadřazené soustavy ČEPS z napěťové hladiny 220 kV. Transformace je provedena transformátorem T 201 (200 MVA) připojeným do přípojnice A v R Tábor. Druhým zdrojem oblasti je společnost C-Energy Planá s.r.o. připojená do rozvodny Planá. Jedná se o energetický zdroj, jehož primární funkcí je výroba tepla, funguje však také jako zdroj elektřiny. Hodnoty dodávaného výkonu do distribuční sítě jsou při normálním provozu v řádech jednotek MW, zdroj se však používá pro špičkové vyrovnávání toku elektrické energie v síti, celkový výkon všech sedmi instalovaných generátorů je 86 MW. Výkon je transformován na hladinu 110 kV pomocí transformátorů $T\ 101_{PLA}$ (63 MVA) a $T\ 102_{PLA}$ (25 MVA). Je nutné upřesnit, že se jedná o transformátory umístěné v rozvodně Planá, v praxi jsou však značeny standartně T 101 a T 102, stejně jako transformátory

v jiných rozvodnách. Pro odlišení v této práci jsem proto k transformátorům v rozvodně Planá přidal index PLA. Při výpočtech s transformátory umístěnými v R Náchod budu používat značení T 101 a T 102 bez indexů.

Můžeme také vidět zakreslené původní vedení V1356 z Tábora do Chotovin, které bude připojeno do R Náchod a tím se změní délka linky V1356. Dále vznikne nová V1387 mezi Náchodem a Chotovinami.

4.1.1 Třífázový zkratový proud na přípojnici 110 kV

Pro výpočet zkratových poměrů potřebuji znát celkovou zkratovou impedanci oblasti. Nakreslil jsem si tedy náhradní schéma oblasti, které vidíme na obr. 4.2. Nadřazená soustava a napájecí zdroj v Plané jsou nahrazeny reaktancemi X_{S1} a X_{S2}. Všechna venkovní vedení jsem nahradil impedancemi Z_{VX}.



Obr. 4.2 – Náhradní schéma zkratové oblasti

Pro vypočítání náhradních reaktancí X_{S1} a X_{S2} využiji znalosti maximálních zkratových proudů přípojnic, dle ČSN EN 60909-0 platí:

$$Z_S = \frac{c_{max} \cdot U_{nS}}{\sqrt{3} \cdot I''_{KS}} \tag{4.1}$$

Napěťový součinitel c_{max} je dle ČSN EN 60909-0 tabulky 1 pro napětí 110 kV roven: $c_{max} = 1{,}10$.

Pro síťové napáječe o jmenovitém napětí vyšším než 35 kV napájené z venkovních vedení je možné ekvivalentní impedanci považovat za reaktanci, tedy platí [10]:

$$Z_S = X_S \tag{4.2}$$

Pro reaktance zdrojů tedy dle vztahu (4.1) platí:

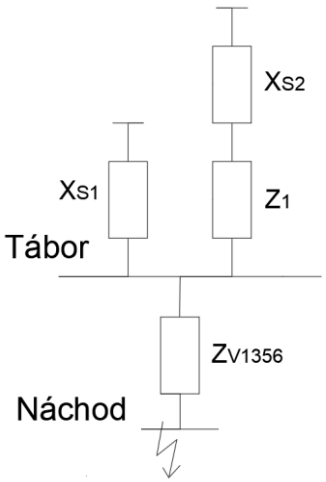
$$X_{S1} = \frac{1{,}1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3} = 11{,}643\ \Omega \tag{4.3}$$

$$X_{S2} = \frac{1{,}1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3{,}91 \cdot 10^3} = 17{,}867\ \Omega \tag{4.4}$$

Pro zjednodušení výpočtů budu počítat zvlášť odpor a reaktanci dle schématu na obr. 4.3:

$$R_1 = \frac{R_{V1382} \cdot (R_{V1381} + R_{V1398})}{R_{V1382} + R_{V1381} + R_{V1398}} = \frac{1{,}27764 \cdot (4{,}20108 + 3{,}29316)}{1{,}27764 + 4{,}20108 + 3{,}29316} = 1{,}0916\ \Omega \tag{4.5}$$

$$X_1 = \frac{X_{V1382} \cdot (X_{V1381} + X_{V1398})}{X_{V1382} + X_{V1381} + X_{V1398}} = \frac{3{,}40704 \cdot (11{,}2029 + 8{,}78176)}{3{,}40704 + 11{,}2029 + 8{,}78176} = 2{,}9108\ \Omega \tag{4.6}$$



Obr. 4.3 – Zjednodušené náhradní schéma zkratové oblasti

Dle schématu vypočítám celkový odpor a celkovou reaktanci:

$$R_{K3\,VVN} = R_1 + R_{V1356} = 1{,}0916 + 0{,}855625 = 1{,}9472\ \Omega \tag{4.7}$$

$$\begin{aligned} X_{K3\,VVN} &= X_{V1356} + \frac{X_{S1} \cdot (X_1 + X_{S2})}{X_{S1} + X_1 + X_{S2}} \\ &= 2{,}779072 + \frac{11{,}643 \cdot (2{,}9108 + 17{,}867)}{11{,}643 + 2{,}9108 + 17{,}867} \\ &= 10{,}2408\ \Omega \end{aligned} \tag{4.8}$$

Dále vypočítám celkovou impedanci:

$$Z_{K3\,VVN} = \sqrt{R_{K3\,VVN}^2 + X_{K3\,VVN}^2} = \sqrt{1{,}9472^2 + 10{,}2408^2} = 10{,}4243\ \Omega \tag{4.9}$$

Pro napětí ekvivalentního zdroje platí:

$$U_{VÝP} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3}} = \frac{1{,}10 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 69{,}859\ kV \tag{4.10}$$

Rázový třífázový zkratový proud je roven:

$$I''_{k3\,VVN} = \frac{U_{VÝP}}{Z_{K3\,VVN}} = \frac{69{,}859 \cdot 10^3}{10{,}4243} = 6{,}702\ kA \tag{4.11}$$

Z toho vypočítám zkratový výkon:

$$\begin{aligned} S''_{k3\,VVN} &= \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3\,VVN} = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 6{,}702 \cdot 10^3 \\ &= 1276{,}9\ MVA \end{aligned} \tag{4.12}$$

Za předpokladu, že se jedná o nezauzlenou síť, nebo soustavu napájenou jedním zdrojem, nárazový zkratový proud je dle normy roven:

$$i_{p3\,VVN} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3\,VVN} \tag{4.13}$$

Kde součinitel κ lze vypočítat pomocí vztahu:

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98e^{-3 \cdot R_K / X_K} = 1{,}02 + 0{,}98e^{-3 \cdot 1{,}9472/10{,}2408} = 1{,}574 \tag{4.14}$$

Síť je nezauzlovaná, můžu tedy vztah (4.13) použít:

$$i_{p3\,VVN} = 1{,}567 \cdot \sqrt{2} \cdot 6{,}702 = 14{,}852\ kA \tag{4.15}$$

Vypínací zkratový proud je při napájení soustavy z nadřazeného síťového napáječe roven:

$$I_{b3\,VVN} = I''_{k3\,VVN} = 6{,}702\ kA \tag{4.16}$$

Průchodem zkratového proudu se v odporových prvcích vytváří energie, jejíž tepelný účinek zohledňuje ekvivalentní oteplovací proud, jenž je roven:

$$I_{ke3\,VVN} = I''_k \cdot \sqrt{m+n} \tag{4.17}$$

kde:

m je součinitel pro časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu,

n je součinitel pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu pro jeden konkrétní zkrat.

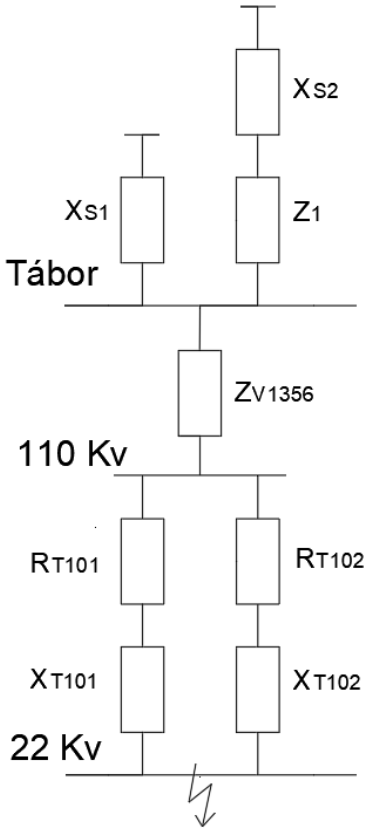
Dle normy ČSN EN 60909-0 je u elektricky vzdálených zkratů se jmenovitou dobou trvání zkratu 0,5 s nebo vyšší dovolené uvažovat: $m + n = 1$. [10]

Pro ekvivalentní oteplovací proud tedy platí:

$$I_{ke3\,VVN} = I''_{k3\,VVN} \cdot \sqrt{1} = 6{,}702\ kA \tag{4.18}$$

4.1.2 Třífázový zkratový proud na přípojnici 22 kV

Při výpočtu zkratových proudů na přípojnici 22 kV budu uvažovat pouze příspěvky nadřazené sítě 110 kV. Vzhledem k tomu, že je nutné uvažovat z hlediska zkratových poměrů nejhorší možnou variantu, budu počítat s paralelním provozem transformátorů T 101 a T 102.



Obr. 4.4 – Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu na přípojnici 22 kV

Musím opět spočítat celkovou impedanci dle náhradního schéma na obr. 4.4. Nejdříve spočítám impedanci obou transformátorů:

$$Z_{T101} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{11{,}18}{100} \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 2{,}1645\ \Omega \tag{4.19}$$

$$Z_{T102} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_{NT}} = \frac{11{,}09}{100} \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{25 \cdot 10^6} = 2{,}1470\ \Omega \tag{4.20}$$

Pro výpočet vycházím ze štítkových hodnot transformátorů, které budou v rozvodně stát. Jedná se o stroje stejného typu, ale jejich štítkové hodnoty se nepatrně liší. Je to dle výrobce způsobeno tím, že ztráty transformátoru a napětí nakrátko jsou hodnoty měřené po výrobě stroje, mohou se tedy nepatrně lišit. Hodnota napětí U_K je v obou případech na základní odbočce 9B.

Dále vypočítám odpor obou strojů:

$$R_{T101} = \frac{P_{KT101}}{3 \cdot I_{N1\,T101}^2} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{87{,}1 \cdot 10^3}{3 \cdot 131^2} \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3}\right)^2 = 0{,}0677\ \Omega \tag{4.21}$$

$$R_{T102} = \frac{P_{KT102}}{3 \cdot I_{N1\,T102}^2} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{87{,}0 \cdot 10^3}{3 \cdot 131^2} \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3}\right)^2 = 0{,}0676\ \Omega \tag{4.22}$$

Z impedancí a odporů mohu vypočítat reaktance:

$$X_{T101} = \sqrt{Z_{T101}^2 - R_{T101}^2} = \sqrt{2{,}1645^2 - 0{,}0677^2} = 2{,}1634\ \Omega \tag{4.23}$$

$$X_{T102} = \sqrt{Z_{T102}^2 - R_{T102}^2} = \sqrt{2{,}1470^2 - 0{,}0676^2} = 2{,}1459\ \Omega \tag{4.24}$$

Celkový odpor a reaktanci vypočítám dle schématu na obr. 4.4:

$$\begin{aligned} R_{K3\,VN} &= \frac{R_{T101} \cdot R_{T102}}{R_{T101} + R_{T102}} + R_{K110} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 \\ &= \frac{0{,}0677 \cdot 0{,}0676}{0{,}0677 + 0{,}0676} + 1{,}9472 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3}\right)^2 \\ &= 0{,}1117\ \Omega \end{aligned} \tag{4.25}$$

$$\begin{aligned} X_{K3\,VN} &= \frac{X_{T101} \cdot X_{T102}}{X_{T101} + X_{T102}} + X_{K110} \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 \\ &= \frac{2{,}1634 \cdot 2{,}1459}{2{,}1634 + 2{,}1459} + 10{,}2408 \cdot \left(\frac{22 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3}\right)^2 \\ &= 1{,}4869\ \Omega \end{aligned} \tag{4.26}$$

Z toho celková impedance:

$$Z_{K3\,VN} = \sqrt{R_{K22}^2 + X_{K22}^2} = \sqrt{0{,}1117^2 + 1{,}4869^2} = 1{,}4911\ \Omega \tag{4.27}$$

Rázový zkratový proud a výkon:

$$I''_{k3\,VN} = \frac{c_{max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{K22}} = \frac{1{,}05 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1{,}4911} = 8{,}944\ kA \tag{4.28}$$

kde napěťový součinitel c_{max} je pro napětí 22 kV roven c_{max} = 1,05.

$$S''_{k3\,VN} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k\,3\,VN} = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 8{,}944 \cdot 10^3 = 340{,}822\ MVA \tag{4.29}$$

Nárazový zkratový proud:

$$i_{p3\,VN} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k\,22} \tag{4.30}$$

kde:

$$\kappa = 1{,}02 + 0{,}98e^{-3 \cdot R_K / X_K} = 1{,}02 + 0{,}98e^{-3 \cdot 0{,}1117 / 1{,}4869} = 1{,}802 \tag{4.31}$$

Dosadím do vztahu (4.30):

$$i_{p3\,VN} = 1{,}802 \cdot \sqrt{2} \cdot 9{,}022 = 22{,}99\ kA \tag{4.32}$$

Vypínací zkratový proud:

$$I_{b3\,VN} = I''_{k\,110} = 8{,}944\ kA \tag{4.33}$$

Ekvivalentní oteplovací proud:

$$I_{ke3\,VN} = I''_k \cdot \sqrt{m+n} = 8{,}944 \cdot \sqrt{1} = 8{,}944\ kA \tag{4.34}$$

4.1.3 Jednofázový zkratový proud na přípojnici 110 kV

Pro jednofázový zkratový proud platí dle normy ČSN EN 60909-0 vztah:

$$\mathrm{I}''_{k1f} = \frac{\sqrt{3} \cdot c_{max} \cdot U_n}{Z_{k(1)} + Z_{k(2)} + Z_{k(0)}} \tag{4.35}$$

K výpočtu je tedy potřeba znalost nejen sousledné složky impedance, ale i zpětné a netočivé. Zpětná složka impedance je při uvažování vzdáleného zkratu rovna složce sousledné. Netočivou složku můžu vypočítat na základě poměrů R_0/R_1 a X_0/X_1 uvedených v tabulce 4.1 pro každé vedení. Tyto poměry jsou dány typem vedení a v tomto případě mají všechny hodnotu 3,5. Lze je použít k porovnání velikosti třífázového a jednofázového zkratu, protože platí:

$$I''_{k1f} = \frac{3 \cdot U_n}{Z_{k(1)} + Z_{k(2)} + Z_{k(0)}} \approx \frac{3}{2 + \frac{Z_{k(0)}}{Z_{k(1)}}} \cdot I''_{k3f} \tag{4.36}$$

Po dosazení poměru $Z_0/Z_1 = 3{,}5$ platí:

$$I''_{k1f} = \frac{3}{2 + 3{,}5} \cdot I''_{k3f} = \frac{3}{5{,}5} \cdot I''_{k3f} = 0{,}546 \cdot I''_{k3f} \tag{4.37}$$

Z uvedeného vztahu vyplývá, že třífázový zkrat bude v našem případě vždy větší než jednofázový. Je však vhodné počítat i velikost jednofázového zkratu, neboť se jedná o nejčastější poruchu v síti. Pro jednotlivá vedení je možné vypočítat netočivé složky odporu a reaktance:

$$R_{V1381(0)} = R_{V1381} \cdot \frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} = 4{,}201080 \cdot 3{,}5 = 14{,}70378\ \Omega \tag{4.38}$$

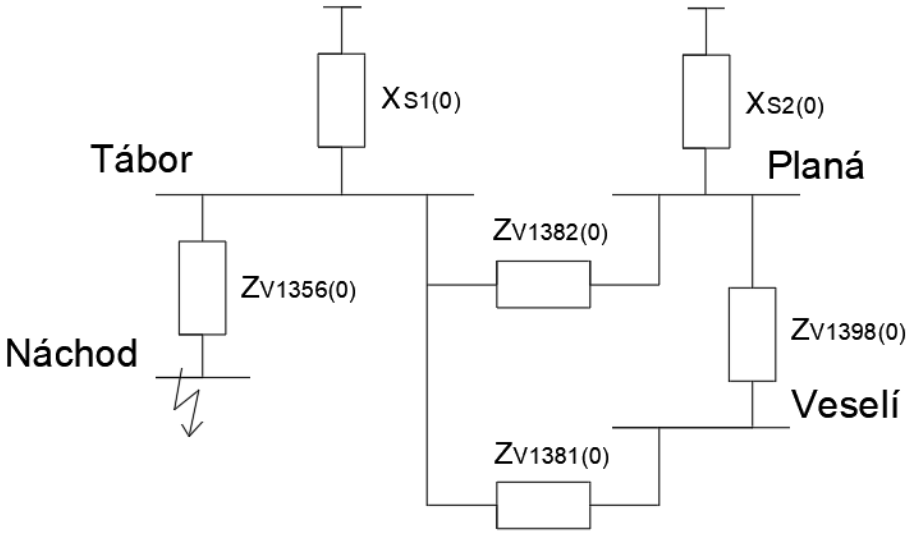
$$X_{V1381(0)} = X_{V1381} \cdot \frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} = 11{,}2029 \cdot 3{,}5 = 39{,}21015\ \Omega \tag{4.39}$$

Stejným způsobem jsem vypočítal všechna vedení, výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tab. 4.3 – Přepočítané hodnoty odporů a reaktancí pro výpočet netočivé impedance

Název linky	$R_{(0)}$ (Ω)	$X_{(0)}$ (Ω)
V1381	14,70378	39,21015
V1382	4,37892	11,67712
V1398	11,52606	30,73616
V1356	3,2256875	10,47704

Postup výpočtu je dále obdobný jako u třífázového, postupuji dle náhradního schématu:



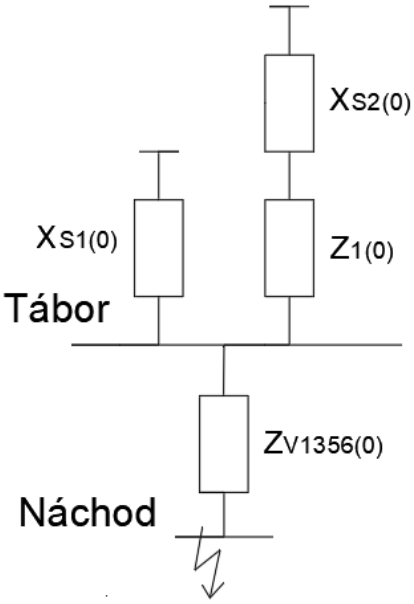
Obr. 4.5 – Náhradní schéma pro výpočet jednofázového zkratu na přípojnici 110 kV

Za předpokladu znalosti zkratových proudů na přípojnicích rozvoden Tábor a Planá platí pro napáječe:

$$X_{S1(0)} = U_{výp} \cdot \left(\frac{3}{I''_{kS3}} - \frac{2}{I''_{kS1}}\right) = 69{,}859 \cdot \left(\frac{3}{6} - \frac{2}{5{,}79}\right) = 10{,}799\ \Omega \qquad (4.40)$$

$$X_{S2(0)} = U_{výp} \cdot \left(\frac{3}{I''_{kS3}} - \frac{2}{I''_{kS1}}\right) = 69{,}859 \cdot \left(\frac{3}{3{,}91} - \frac{2}{4{,}48}\right) = 22{,}413\ \Omega \qquad (4.41)$$

Náhradní schéma lze dále zjednodušit, viz. obrázek 4.6:



Obr. 4.6 – Zjednodušené schéma pro výpočet jednofázového zkratového proudu

Spočítám odpor a reaktanci vedení vedoucích do rozvoden Planá a Veselí:

$$R_{1(0)} = \frac{R_{V1382(0)} \cdot \left(R_{V1381(0)} + R_{V1398(0)}\right)}{R_{V1382(0)} + R_{V1381(0)} + R_{V1398(0)}} = \frac{4{,}37892 \cdot (14{,}70378 + 11{,}52606)}{4{,}37892 + 14{,}70378 + 11{,}52606} = 3{,}7525\ \Omega \tag{4.42}$$

$$X_{1(0)} = \frac{X_{V1382(0)} \cdot \left(X_{V1381(0)} + X_{V1398(0)}\right)}{X_{V1382(0)} + X_{V1381(0)} + X_{V1398(0)}} = \frac{11{,}67712 \cdot (39{,}21015 + 30{,}73616)}{11{,}67712 + 39{,}21015 + 30{,}73616} = 10{,}007\ \Omega \tag{4.43}$$

Následně vypočítám celkový odpor a reaktanci dle schématu a z těchto hodnot poté celkovou impedanci:

$$R_{k1(0)} = R_{1(0)} + R_{V1356(0)} = 3{,}7525 + 3{,}2256875 = 6{,}9782\ \Omega \tag{4.44}$$

$$X_{k1(0)} = X_{V1356(0)} + \frac{X_{S1(0)} \cdot (X_{1(0)} + X_{S2(0)})}{X_{S1(0)} + X_{1(0)} + X_{S2(0)}}$$
$$= 10{,}47704 + \frac{10{,}799 \cdot (10{,}007 + 22{,}413)}{10{,}799 + 10{,}007 + 22{,}413} \quad (4.45)$$
$$= 18{,}5778\ \Omega$$

$$Z_{k1(0)} = \sqrt{R_{k1(0)}^2 + X_{k1(0)}^2} = \sqrt{6{,}9782^2 + 18{,}5778^2} = 19{,}8452\ \Omega \quad (4.46)$$

Souslednou složku impedance jsem spočítal již ve vztahu (4.9) a je rovna:

$$Z_{k(1)} = Z_{K3\,VVN} = 10{,}4243\ \Omega \quad (4.47)$$

Nakonec vypočítám celkový zkratový proud dle vztahu (4.35):

$$\mathrm{I}_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c_{max} \cdot U_n}{Z_{k(1)} + Z_{k(2)} + Z_{k(0)}} = \frac{\sqrt{3} \cdot c_{max} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{k(1)} + Z_{k1(0)}}$$
$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 1{,}1 \cdot 110 \cdot 10^3}{2 \cdot 10{,}4243 + 19{,}8452} \quad (4.48)$$
$$= 5{,}15\ kA$$

Z proudu odvodím zkratový výkon:

$$S_{k1}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k1}'' = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 5{,}15 \cdot 10^3 = 981{,}207\ MVA \quad (4.49)$$

Kapitola 4.1 částečně vychází ze zdroje [11].

4.2 Kontrola navrženého zařízení na tepelné a dynamické účinky zkratových proudů

Kontrola rozvodny na účinky zkratových proudů se dle standardů provádí pro předem stanovené hodnoty ekvivalentního oteplovacího (I_{ke}) a dynamického (I_{dyn}) zkratového proudu. Hodnoty jsou určeny typem a velikostí rozvodny. Pro R Náchod byly tyto hodnoty zvoleny společností EG.D následovně:

R 110 kV

- I_{ke} = 20 kA
- I_{dyn} = 50 kA

R 22 kV

- I_{ke} = 16 kA
- I_{dyn} = 40 kA

Provedením výpočtů zkontroluji, zda přípojnice v rozvodně odolají tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů.

4.2.1 Oteplení přípojnic 110 kV

Přípojnice bude v R 110 kV provedena trubkami typu EN AW-6101B /E-AlMgSi/ Ø 100/5. Odpojovače podélného dělení budou s přípojnicí propojeny lany 362-AL1/59-ST1A. Výpočet budu provádět dle normy ČSN 38 1754.

Trubková přípojnice:

Nejdříve zkontroluji, zda vyhovuje samotná trubková přípojnice. Vztah pro minimální průřez je uveden v normě na straně 6:

$$S_{min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \; [mm^2] \tag{4.50}$$

Hodnota proudu I_{ke} je stanovena v úvodu kapitoly, doba trvání zkratu t_k je opět uvažována 1 s. Koeficient respektující teplotu před zkratem musím spočítat dle vztahu:

$$k = \sqrt{\frac{(\vartheta + 20) \cdot c_0}{\rho_{20}} \cdot ln\frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}} \; [-] \tag{4.51}$$

Hodnoty v rovnici pro hliník a jeho slitiny udává norma na straně 7:

$\vartheta = 228{,}0$ °C,

$c_0 = 2{,}417\ J/cm^3/$°C,

$\rho_{20} = 0{,}02941\ \Omega mm^2/m$.

Zbývající hodnoty jsem použil z normy ČSN EN 60865-1 ed. 2 na straně 36 a katalogového listu přípojnice:

$\vartheta_k = 200$°C,

$\vartheta_1 = 80$°C.

Dosadím vše do vztahu (4.51):

$$k_{110} = \sqrt{\frac{(228+20)\cdot 2{,}417}{0{,}2941} \cdot ln\left(\frac{228+200}{228+80}\right)} = 81{,}89 \tag{4.52}$$

Minimální průřez je tedy dle (4.50) roven:

$$S_{min} = \frac{20000 \cdot \sqrt{1}}{81{,}89} = 244{,}23\ mm^2 \tag{4.53}$$

Skutečný průřez trubkové přípojnice je roven:

$$S_{AL110} = \pi \cdot r^2_{vnější} - \pi \cdot r^2_{vnitřní} = \pi \cdot 50^2 - \pi \cdot 45^2 = 1492{,}26\ mm^2 \tag{4.54}$$

Musí platit:

$$S_{AL110} \geq S_{min} \ldots 1492{,}26 \geq 244{,}23\ mm^2 \tag{4.55}$$

Přípojnice vyhovuje požadavku z hlediska oteplení.

Lano:

Lano propojující pantografický odpojovač s trubkou spočítáme obdobně, koeficient k je pro ocelohliníková lana roven:

$$k_{AlFe} = k_{Al} \cdot \sqrt{1 + \frac{S_{Fe} \cdot c_{Fe}}{S_{Al} \cdot c_{Al}}}\ [-] \tag{4.56}$$

kde:

k_{Al} lze dle normy odvodit z hodnoty pro hliníkové vodiče, tedy platí: $k_{Al} = k_{110}$.

Dosadím hodnoty dle katalogu výrobce:

$$k_{AlFe} = 81{,}89 \cdot \sqrt{1 + \frac{59{,}1 \cdot 3{,}77}{361{,}9 \cdot 2{,}417}} = 91{,}73 \tag{4.57}$$

Minimální průřez lana:

$$S_{min} = \frac{20000 \cdot \sqrt{1}}{91{,}73} = 218\ mm^2 \tag{4.58}$$

Musí platit:

$$S_{AL} \geq S_{min} \ldots 362 \geq 218\ mm^2 \tag{4.59}$$

Lano vyhovuje požadavku z hlediska oteplení.

4.2.2 Oteplení přípojnic 22 kV

Přípojnice je dle informací od výrobce provedena v zapouzdřeném rozvaděči měděnými trubkami s průřezem 2200 mm^2.

Koeficient respektující teplotu před zkratem je pro měděnou trubku roven:

$$k_{22} = \sqrt{\frac{(234{,}5 + 20) \cdot 3{,}5}{0{,}01786} \cdot ln\left(\frac{234{,}5 + 200}{234{,}5 + 80}\right)} = 149{,}85 \tag{4.60}$$

Z toho vypočítám minimální průřez:

$$S_{min} = \frac{16000 \cdot \sqrt{1}}{149{,}85} = 106{,}776\ mm^2 \tag{4.61}$$

Musí platit:

$$S_{Cu} \geq S_{min} \ldots 2200 \geq\ 106{,}776\ mm^2 \tag{4.62}$$

Přípojnice vyhovuje požadavku z hlediska oteplení.

Kapitoly 4.2.1 a 4.2.2 částečně vycházejí ze zdrojů [9, 12, 13, 21].

4.2.3 Dynamické účinky trojfázového zkratu na přípojnici 110 kV bez působení automatiky OZ

Kontrolu dynamických účinků na přípojnice budu provádět dle normy ČSN EN 60865-1 ed. 2.

Nejdříve je nutné vypočítat vrcholovou sílu mezi hlavními vodiči dle vztahu uvedeném v normě na straně 12:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_{p3}^2 \cdot \frac{l}{a_m} = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (50 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{5}{2} = 1082{,}53\ N \quad (4.63)$$

kde:

i_p je vrcholová hodnota zkratového proudu v případě souměrného trojfázového zkratu,

l je maximální osová vzdálenost mezi sousedními podpěrami, zde platí dle projektu vycházejícího ze standardu $l = 5\ m$,

a_m je účinná vzdálenost mezi hlavními vodiči, dle podnikové normy PNE 33 3041 ed. 2 je $a_m = 2\ m$.

Namáhání vodičů:

Nejdříve je nutné vypočítat moment setrvačnosti:

$$J_m = \frac{\pi}{64} \cdot (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (0{,}1^4 - 0{,}09^4) = 1{,}688 \cdot 10^{-6}\ m^4 \quad (4.64)$$

A z toho průřezový modul:

$$W_m = \frac{J_m}{\frac{D}{2}} = \frac{1{,}688 \cdot 10^{-6}}{\frac{0{,}1}{2}} = 3{,}376 \cdot 10^{-5}\ m^3 \quad (4.65)$$

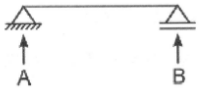
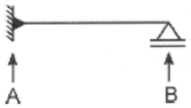
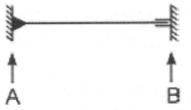
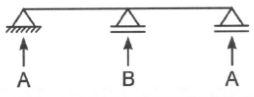
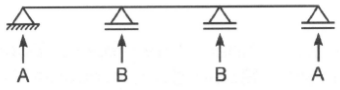
Pro ohybové namáhání vyvolané silami mezi hlavními vodiči platí vztah:

$$\sigma_{tot,d} = V_{\sigma m} \cdot V_{rm} \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot W_m}\ [MPa] \quad (4.66)$$

kde:

$V_{\sigma m}, V_{rm}$ jsou součinitele respektující dynamické působení a jejich hodnota se určuje z normy ČSN EN 60865-1 ed. 2, tabulky 2 (viz. obr. 4.7). Pro trojfázový zkrat bez automatického OZ platí $V_{\sigma m} \cdot V_{rm} = 1{,}0$,

β je součinitel závislý na typu a počtu podpěr, určuje se z tabulky 3 v normě (viz. obr. 4.7). Podpěry zde budou tři, obě podpěry na stranách budou mít pevné svorky. Prostřední podpěra bude držet obě části přípojnice v kluzných svorkách. Jedná se tedy o dva, z hlediska přenosu sil oddělené, nosníky. V tabulce 3 tedy volím druhý řádek pro nosník o jednom rozpětí, s pevnou podporou v bodě A (pevná svorka na krajní podpěře) a prostou podporou v bodě B (kluzná svorka na prostřední podpěře). Platí tedy: $\beta = 0{,}73$.

Typ nosníku a způsob upevnění			α	β^*	γ
Nosník o jednom rozpětí	A a B: prosté podpory		A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: pevná podpora B: prosté podpory		A: 0,625 B: 0,375	$\frac{8}{11} = 0{,}73$	2,45
	A a B: pevné podpory		A: 0,5 B: 0,5	$\frac{8}{16} = 0{,}5$	3,56
Spojitý nosník s prostými podporami ve stejných vzdálenostech	Dvě rozpětí		A: 0,375 B: 1,25	$\frac{8}{11} = 0{,}73$	2,45
	Tři nebo více rozpětí		A: 0,4 B: 1,1	$\frac{8}{11} = 0{,}73$	3,56
* Účinky plasticity jsou zahrnuty.					

Obr. 4.7 – Tabulka 3, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 [13]

Dosadím tedy do vztahu (4.66):

$$\sigma_{tot,d} = 1 \cdot 0{,}73 \cdot \frac{1082{,}53 \cdot 5}{8 \cdot 3{,}376 \cdot 10^{-5}} = 14{,}63\ MPa \tag{4.67}$$

Přípojnice jsou odolné vůči zkratové síle, pokud platí:

$$\sigma_{tot,d} \leq q \cdot f_y \tag{4.68}$$

kde:

f_y je namáhání odpovídající mezi průtažnosti, hodnotu udává výrobce: $f_y = 160\ MPa$,

q je součinitel charakterizující zvýšení dovoleného namáhání vodiče díky jeho plastickému chování na místech mimo podpěry a s ohledem na tvar vodiče [13]. Jeho hodnotu udává norma v tabulce 4.

Pro dutou trubku platí:

$$q = 1{,}7 \cdot \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D}\right)^4} = 1{,}7 \cdot \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0{,}005}{0{,}1}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0{,}005}{0{,}1}\right)^4} = 1{,}34 \quad (4.69)$$

kde:

t je tloušťka stěny trubkového vodiče.

Dosadím do nerovnice (4.68):

$$14{,}63 \leq 1{,}34 \cdot 160 \quad (4.70)$$

$$14{,}63 \leq 214{,}4\ MPa \quad (4.71)$$

Nerovnice platí, přípojnice tedy vyhovuje z hlediska dynamického namáhání bez automatického OZ.

Namáhání podpěr:

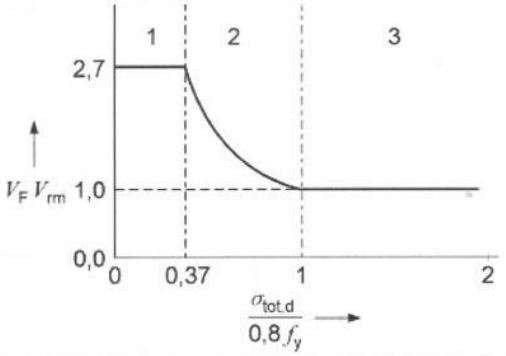
Pro ohybové síly na podpěry platí:

$$F_{r,d} = V_F \cdot V_{rm} \cdot \alpha \cdot F_{m3}\ [N] \quad (4.72)$$

kde:

α je součinitel, který stejně jako β vychází z tabulky 3, pro uvedené uspořádání platí $\alpha = 0{,}625$ pro vnější podpěry a $\alpha = 0{,}375$ pro vnitřní podpěru,

V_F, V_{rm} jsou součinitele, které se určují z tabulky 2, viz obr. 4.8.

Druh zkratu	Soustava			
	Bez trojfázového automatického opětného zapínání	S trojfázovým automatickým opětným zapínáním		S a bez trojfázového automatického opětného zapínání
	$V_{\sigma m} V_{rm}, V_{\sigma s} V_{rs}$	$V_{\sigma m} V_{rm}, V_{\sigma s} V_{rs}$		$V_F V_{rm}$
		První průchod proudu	Druhý průchod proudu	
Trojfázový zkrat	1,0	1,0	1,8	2,7 pro $\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8 f_y} \leq 0,37$ — rozsah 1 $\frac{0,8 f_y}{\sigma_{tot,d}}$ pro $0,37 < \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8 f_y} < 1,0$ — rozsah 2 1,0 pro $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot,d}}{0,8 f_y}$ — rozsah 3 

Obr. 4.8 – Tabulka 2, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 [13]

Rozsah určím výpočtem uvedeného vztahu:

$$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8 \cdot f_y} = \frac{20,04}{0,8 \cdot 160} = 0,16 \tag{4.73}$$

Pro můj výsledek platí rozsah 1, protože:

$$\frac{\sigma_{tot,d}}{0,8 \cdot f_y} \leq 0,37 \tag{4.74}$$

Součinitele jsou tedy rovny:

$$V_F \cdot V_{rm} = 2,7 \tag{4.75}$$

Díky znalosti všech součinitelů mohu vypočítat sílu působící na podpěry dle vztahu (4.72). Silové působení na vnitřní podpěru je z obou stran, síly se tedy sčítají. Jelikož jsou stejně velké, pro jednoduchost násobím sílu na vnitřní podpěru dvěma.

Vnější podpěry:

$$F_{r,d\ vnější} = 2{,}7 \cdot 0{,}625 \cdot 1082{,}53 = 1826{,}8\ N \tag{4.76}$$

Vnitřní podpěra:

$$F_{r,d\ vnitřní} = 2 \cdot 2{,}7 \cdot 0{,}375 \cdot 1082{,}53 = 2192{,}1\ N \tag{4.77}$$

4.2.4 Dynamické účinky trojfázového zkratu na přípojnici 110 kV s působením automatiky OZ

Dle normy se pro tuhé vodiče musí při výpočtu uvažovat automatické OZ, pokud je jím rozvodna vybavena. Během prvního a druhého průchodu proudu se projevují rozdílná mechanická namáhání a na podpěry mohou působit rozdílné síly. Použití trojpólového OZ je v rozvodnách standardem, proto musím s jeho vlivem počítat. [13]

Norma ČSN EN 80865-1 ed. 2 rozlišuje dvě metody výpočtu dynamických účinků s uvažováním vlivu OZ: zjednodušený výpočet (způsob, který jsem používal pro počítání bez vlivu OZ) a výpočet se zvláštním ohledem na kmitání vodiče.

Zjednodušená metoda:

Využiji stejné vztahy jako v kapitole 4.2.3. Liší se zde pouze součinitele $V_{\sigma m}$ *a* V_{rm}, kde pro druhý průchod proudu při OZ platí:

$$V_{\sigma m} \cdot V_{rm} = 1{,}8 \tag{4.78}$$

Dosadím do vztahu:

$$\sigma_{tot,d_{OZ_z}} = V_{\sigma m} \cdot V_{rm} \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot W_m} = 1{,}8 \cdot 0{,}73 \cdot \frac{1082{,}53 \cdot 5}{8 \cdot 3{,}376 \cdot 10^{-5}} = 26{,}33\ MPa \tag{4.79}$$

Dále opět musí platit nerovnice:

$$\sigma_{tot,d_OZ_z} \leq q \cdot f_y \tag{4.80}$$

Kde hodnoty $q\ a\ f_y$ jsou totožné jako při výpočtu bez OZ. Dosadím:

$$26{,}33 \leq 1{,}34 \cdot 160 \tag{4.81}$$

$$26{,}33 \leq 214{,}4\ MPa \tag{4.82}$$

Podmínka platí, přípojnice tedy při výpočtu zjednodušenou metodou vyhovuje z hlediska dynamického namáhání při působení OZ. Na namáhání podpěr nemá uvažování OZ v této metodě vliv, síly jsou tedy stejné (viz. vztahy 4.76 a 4.77).

Výpočet se zvláštním ohledem na kmitání vodiče:

Výpočet budu provádět podle normy ČSN 60865-1 ed. 2. Metoda spočívá v určení tzv. vlastního kmitočtu dle vztahu uvedeném v normě na straně 19:

$$f_{cm} = \frac{\gamma}{l^2}\sqrt{\frac{E \cdot J_m}{m'_m}}\ [Hz] \tag{4.83}$$

kde:

γ je součinitel, který stejně jako $\alpha\ a\ \beta$ vychází z tabulky 3, pro uvedené uspořádání platí $\gamma = 2{,}45$ pro vnější i vnitřní podpěry,

l je osová vzdálenost mezi podpěrami,

E je modul pružnosti v tahu (Youngův modul), dle tabulek platí pro slitiny hliníku $E = 70\ GPa$,

J_m je moment setrvačnosti vypočítaný v kapitole 4.2.3,

m'_m je hmotnost hlavního vodiče na jednotku délky, dle PNE 33 3041 ed.2 pro trubkový vodič E-AlMgSi Ø 100/5 platí $m'_m = 4{,}03\ kg/m$.

Dosadím do vztahu:

$$f_{cm} = \frac{2{,}45}{5^2}\sqrt{\frac{70 \cdot 10^9 \cdot 1{,}688 \cdot 10^{-6}}{4{,}03}} = 16{,}78\ Hz \tag{4.84}$$

Pro namáhání vodiče platí:

$$\sigma_{tot,d_OZ_kmit} = V_{\sigma m} \cdot V_{rm} \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot W_m} \tag{4.85}$$

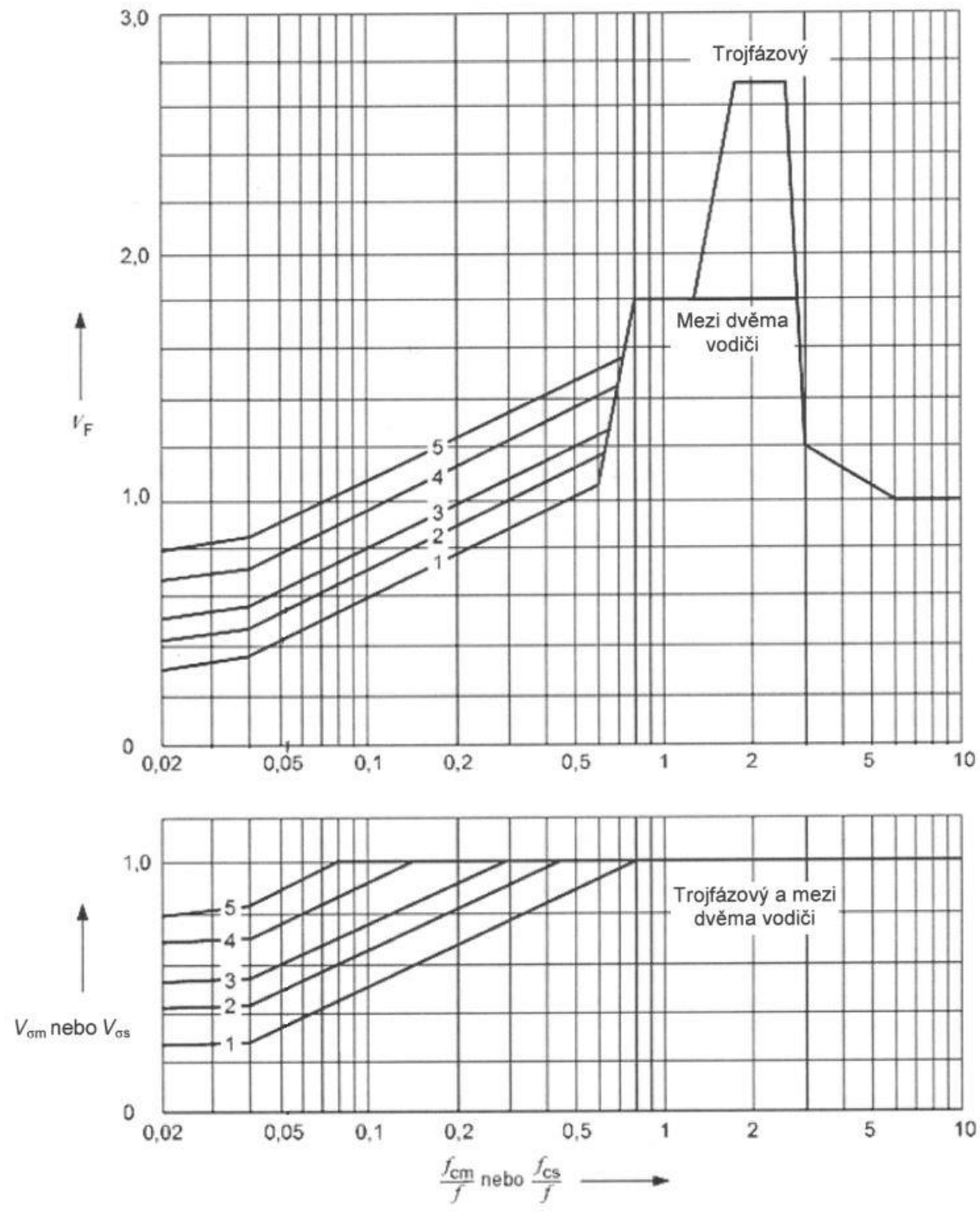
kde:

$V_{\sigma m}, V_{rm}$ jsou zde funkcí poměrů f_{cm}/f a určují se z normy, obrázků 4 a 5. Uvádím je v obr. 4.9 a 4.10. Veličina f je jmenovitý kmitočet sítě.

Vypočítám poměr frekvencí:

$$\frac{f_{cm}}{f} = \frac{16{,}78}{50} = 0{,}34 \tag{4.86}$$

Ostatní veličiny jsou stejné a byly spočítány nebo definovány v kapitole 4.2.3.

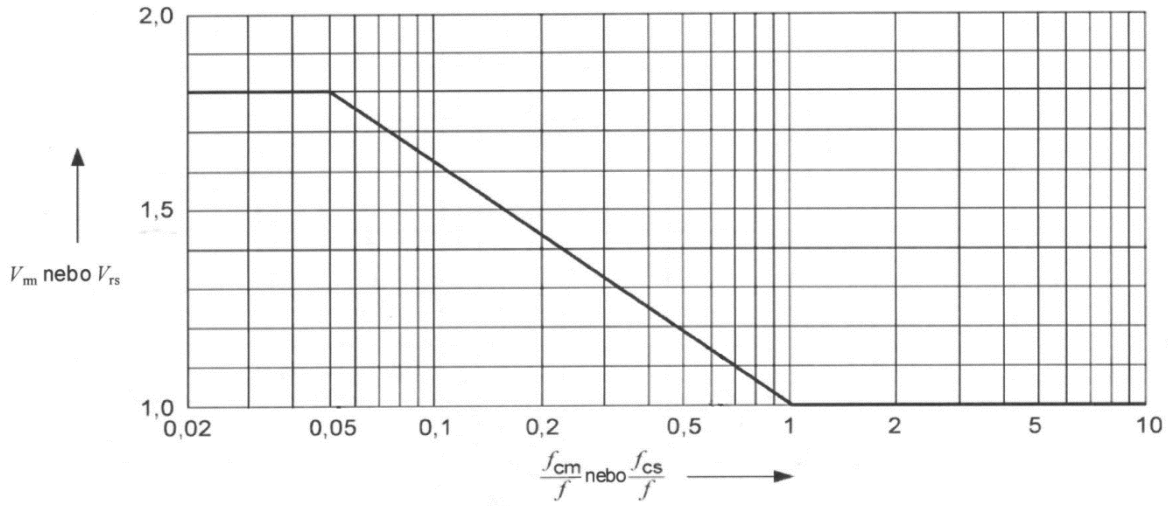


Legenda

1 $\kappa \geq 1{,}60$ 2 $\kappa = 1{,}40$ 3 $\kappa = 1{,}25$

4 $\kappa = 1{,}10$ 5 $\kappa = 1{,}00$

Obr. 4.9 – Obrázek 4 pro určení součinitelů V_F a V_{cm} pro trojfázový zkrat, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 [13]



Obr. 4.10 – Obrázek 5 pro určení součinitele V_{rm} pro trojfázové automatické OZ, norma ČSN EN 60865-1 ed. 2 [13]

Součinitel $V_{\sigma m}$ lze dle legendy v obr. 4.9 určit při znalosti součinitele pro výpočet nárazového zkratového proudu, pro který platí:

$$\kappa = \frac{I_{dyn}}{I_{ke} \cdot \sqrt{2}} = \frac{50 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{2}} = 1{,}77 \tag{4.87}$$

kde:

I_{dyn} je dynamický zkratový proud uvedený v kapitole 4.2,

I_{ke} je ekvivalentní oteplovací proud uvedený také v kapitole 4.2.

Podle legendy v obr. 4.9 musím koeficient určit pomocí křivky č. 1, protože platí:

$$\kappa \geq 1{,}60 \tag{4.88}$$

Součinitel tedy odpovídá hodnotě:

$$V_{\sigma m} = 0{,}8 \tag{4.89}$$

Hodnotu druhého součinitele V_{rm} jsem odečetl z obr. 4.10 a je roven:

$$V_{rm} = 1{,}29 \tag{4.90}$$

Mohu tedy dosadit do vztahu (4.85):

$$\sigma_{tot,d_OZ_kmit} = 0{,}8 \cdot 1{,}29 \cdot 0{,}73 \cdot \frac{1082{,}53 \cdot 5}{8 \cdot 3{,}376 \cdot 10^{-5}} = 15{,}098\ MPa \tag{4.91}$$

Musí platit stejná nerovnost jako v předešlých výpočtech:

$$\sigma_{tot,d_OZ_z} \leq q \cdot f_y \tag{4.92}$$

$$15{,}098 \leq 1{,}34 \cdot 160 \tag{4.93}$$

$$15{,}098 \leq 214{,}4\ MPa \tag{4.94}$$

Podmínka je splněna, přípojnice jsou dynamicky odolné vůči trojfázovému zkratovému proudu s působením automatiky OZ.

Nakonec vypočítám síly působící na podpěry dle vztahu:

$$F_{r,d} = V_F \cdot V_{rm} \cdot \alpha \cdot F_{m3}\ [N] \tag{4.86}$$

kde:

V_F je součinitel, který je možné odečíst z obrázku 4 v normě (viz. obr. 4.9).

Pomocí křivky č. 1 jsem určil hodnotu součinitele: $V_F = 0{,}9$.

Vnější podpěry:

$$F_{r,d\ OZ\ vnější} = 0{,}9 \cdot 1{,}29 \cdot 0{,}625 \cdot 1082{,}53 = 785{,}5\ N \tag{4.96}$$

Vnitřní podpěra:

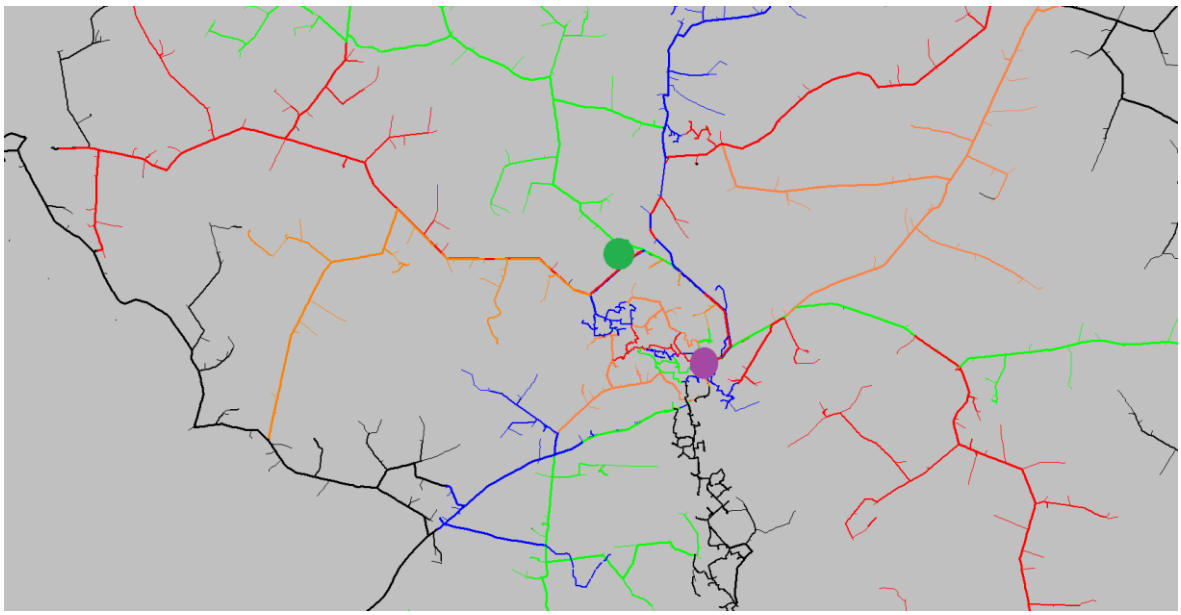
$$F_{r,d\ OZ\ vnitřní} = 2 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}29 \cdot 0{,}375 \cdot 1082{,}53 = 942{,}6\ N \tag{4.97}$$

Kapitoly 4.2.3 a 4.2.4 částečně vycházejí ze zdrojů [13, 14, 21].

5 Vyhodnocení parametrů sítě VN

Dalším úkolem mé diplomové práce je zhodnotit vliv rozvodny na sítě VN, které bude rozvodna napájet. Zhodnocení se provádí ve výpočetním softwaru, společnost EG.D používá PAS Daisy Bizon. Jedná se o velice komplexní program, který je vhodný pro výpočty ustáleného chodu, zkratových poměrů, připojitelnosti zátěží, impedance smyčky, vypínacích charakteristik atd. V tomto programu lze ručně nakreslit jednotlivé linky s rozvodnami a vše propojit dle aktuálního zapojení, nebo je možné importovat síť z programu GIS. Tam jsou dostupné všechny aktuální informace o vedeních a jejich propojení. Při ruční tvorbě sítí je nutné pro každé vedení nastavit jeho parametry a nakonec provést výpočet. Nakonec se vyhodnotí zatížení linek, které je možné změnit jiným zapojením sítě.

Pro účely diplomové práce mi byl základní model sítě VN poskytnut konzultantem. Tento model jsem dle jeho instrukcí zkontroloval a upravil tak, aby jeho zapojení odpovídalo zimě na přelomu let 2018/2019. Pro toto období jsou dostupná nejnovější přesná měření proudů tekoucích z R Tábor, která mám k dispozici a jsou nutná pro správné nastavení modelu. Část rozvodné sítě VN je vyobrazena na obr. 5.1.



Obr. 5.1 – Část modelu sítě VN znázorňující oblast okolo R Tábor

Uprostřed obrázku můžeme vidět znázorněnou R Tábor (fialový bod) a umístění R Náchod (zelený bod).

Barevné čáry jsou vedení napájená z R Tábor, černá vedení jsou napájena z okolních rozvoden. Mezi rozvodnami jsou patrná hustější městská kabelová vedení, lze je poznat díky

absenci dlouhých rovných úseků. Dobře jde poznat černě zbarvené kabelové vedení vedoucí na jih od R Tábor.

Pro nastavení modelu jsem využil maximální hodnoty proudů naměřené na vývodech R Tábor. Měření vývodů jsem vysvětlil v kapitole 2. Potřebné hodnoty uvádím v tab. 5.1.

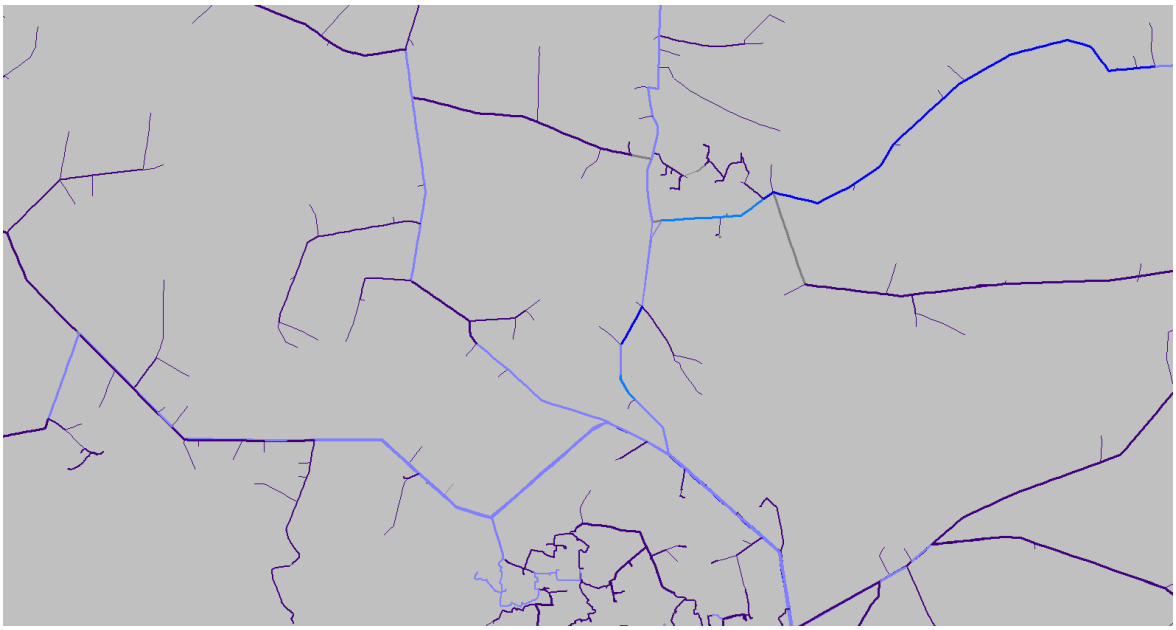
Tab. 5.1 – Maximální hodnoty proudů tekoucích z R Tábor – zima 2018/2019

název	**I_{max} (A)**
Blanice	57
Čekanice	36
Choustník	63
Jiskra	63
Klokoty	74
Lejčkov	32
M.O.J.	111
M.O.S.	84
Malešice	53
Měšice	20
Milevsko	43
Nádraží	77
Sedlec	66
Stádlec	69
Tábor	89
Teplárna 1	213
Teplárna 2	42
V.O.J.	37
V.O.S.	47
Votice	53
Vožice	103
Želeč	25
Celkem	**1457**

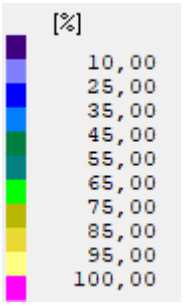
Pro mou práci jsou důležité linky, které budou propojeny do nové R Náchod. V tab. 5.1 jsou označeny modře. Součet maximálních proudů všech vývodů je 1457 A.

Po nastavení a výpočtu lze zobrazit poměrné proudové zatížení vedení pro každý jeho úsek. Program porovnává vypočítaný proud tekoucí úsekem se jmenovitým trvalým proudem daným tabulkami pro použitý typ vodiče. Výsledkem je poměrné zatížení udávané v procentech. Dle Koncepce sítí 22 kV je doporučená hodnota maximálního proudového zatížení u venkovních sítí 160 A, maximálně však 75 % jmenovitého proudu vodičů. Grafické zobrazení je provedeno zbarvením úseků v různých barvách, nejčastěji v různých

odstínech modré, viz. obr. 5.2. Legendu k mapě uvádím v obr. 5.3, uvedená čísla jsou mezní hodnoty mezi barvami.



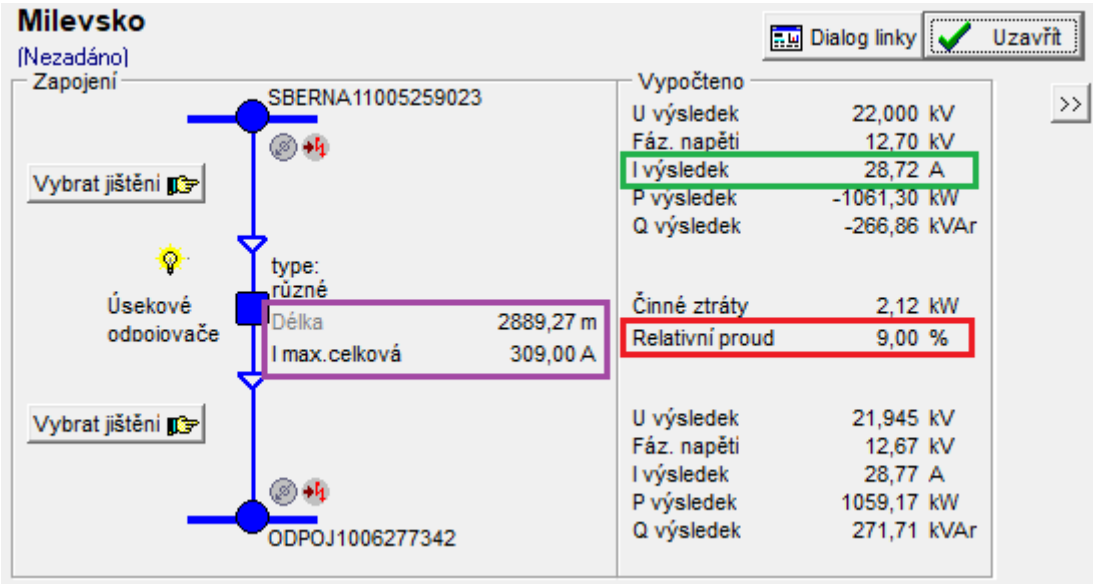
Obr. 5.2 – Grafické zobrazení poměrného proudového zatížení



Obr. 5.3 – Legenda ke grafickému zobrazení poměrného proudového zatížení

Z legendy vyplývá, že v přiložené mapě dosahuje nejvyšší poměrné zatížení hodnoty 35 – 45 %.

V detailu vedení lze zjistit i přesnou hodnotu zatížení, v obr. 5.4 je uveden příklad tabulky pro linku Milevsko. Fialový rámeček ukazuje délku úseku vedení a jeho maximální proud. Zelený rámeček ukazuje vypočítaný proud, který úsekem v dané konfiguraci poteče. Poměr těchto proudů udává relativní proud, tedy poměrné zatížení, který je zvýrazněn červeným rámečkem.



Obr. 5.4 – Detail úseku vedení linky Milevsko

Zatížení vedení se v každém úseku linky mění, protože dochází k dělení proudů mezi různé odbočky a ke ztrátám. Také se mění průřezy a typy vodičů.

Po výpočtu je nutné zkontrolovat zatížení linek na vývodech z rozvodny, ale i všech ostatních úseků sítě včetně nejvzdálenějších paprsků. Zatížení pro linky (dle tab. 5.1) na vývodech z R Tábor vyšlo následovně:

Tab. 5.2 – Relativní proudy linek na vývodech R Tábor

název	**I_{rel} (%)**	**typ vodiče**
Stádlec	27,0	70_AlFe6
Klokoty	28,8	70_AlFe6
Sedlec	26,4	70_AlFe6
Milevsko	14,0	95_AlFe6
Votice	21,0	70_AlFe6
Vožice	34,9	95_AlFe6
Čekanice	11,6	95_AlFe6

Nejvíce zatížená na svém začátku je tedy linka Vožice. Po vyhodnocení celé napájené oblasti jsem zjistil, že zatížení této linky dosahuje vysokých hodnot i na jiných úsecích sítě, nejvyšší hodnota vyšla 42,41 %. Je způsobena snížením průřezu vedení, v daném místě jsou použity vodiče typu AlFe6 70 mm^2. Jedná se o úsek mezi rozvodnami, který bude rekonstruován, jak jsem popisoval v kapitole 2.2.

5.1 Stav po výstavbě rozvodny Náchod

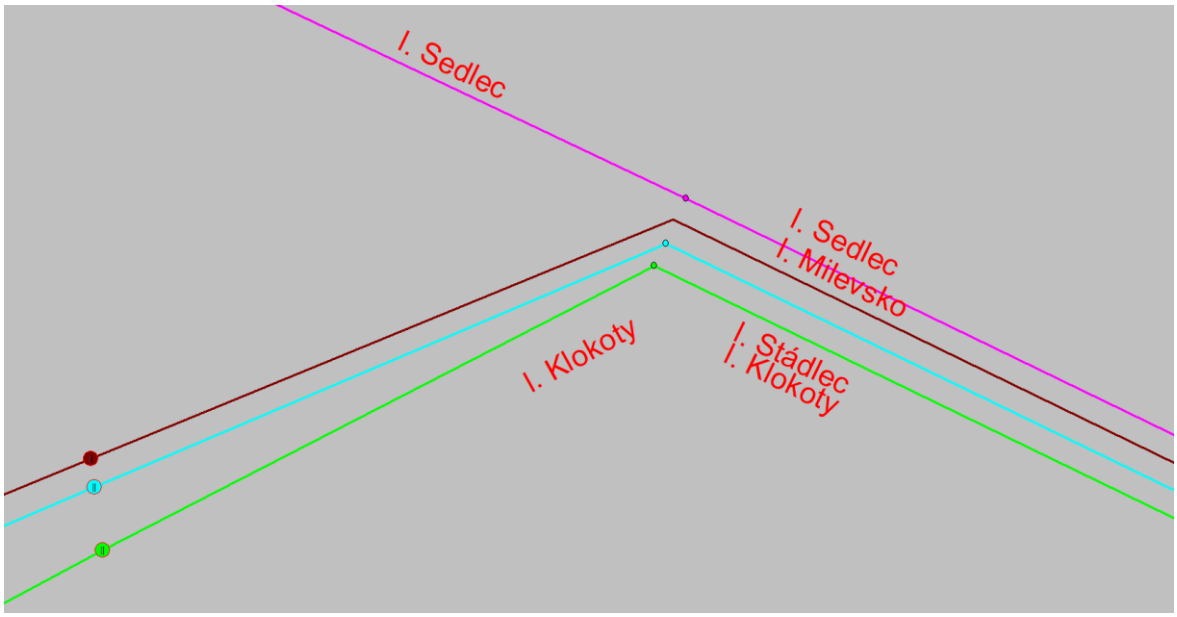
5.1.1 Zakreslení rozvodny a nových vedení

Pro simulaci sítě po výstavbě rozvodny jsem model musel upravit. Vymazal jsem původní vedení z R Tábor a nakreslil jsem nová dle instrukcí konzultanta, přičemž jsme se drželi plánu na propojení linek dle zadání stavby. Dále jsem vytvořil novou R Náchod, do které jsem nová vedení připojil. U všech jsem nastavil nové typy vodičů a tím jsem vytvořil nové kmenové linky. Nechal jsem program přepočítat model s touto novou konfigurací, čímž jsem získal nové teoretické hodnoty proudů pro R Náchod. Jedná se o maximální proudy potřebné pro napájení nové sítě VN. Uvádím je v tab. 5.3.

Tab. 5.3 – Teoretické maximální hodnoty proudů tekoucích z R Náchod – zima 2018/2019

název	**I_{max} (A)**
Čekanice	39,83
Stádlec	46,35
Klokoty	71,55
Jistebnice	65,68
Milevsko	24,48
Votice	52,08
Vožice	100,30
Jordán	25,01

Pro srovnání zde uvádím původní podobu sítí VN v místě výstavby rozvodny:

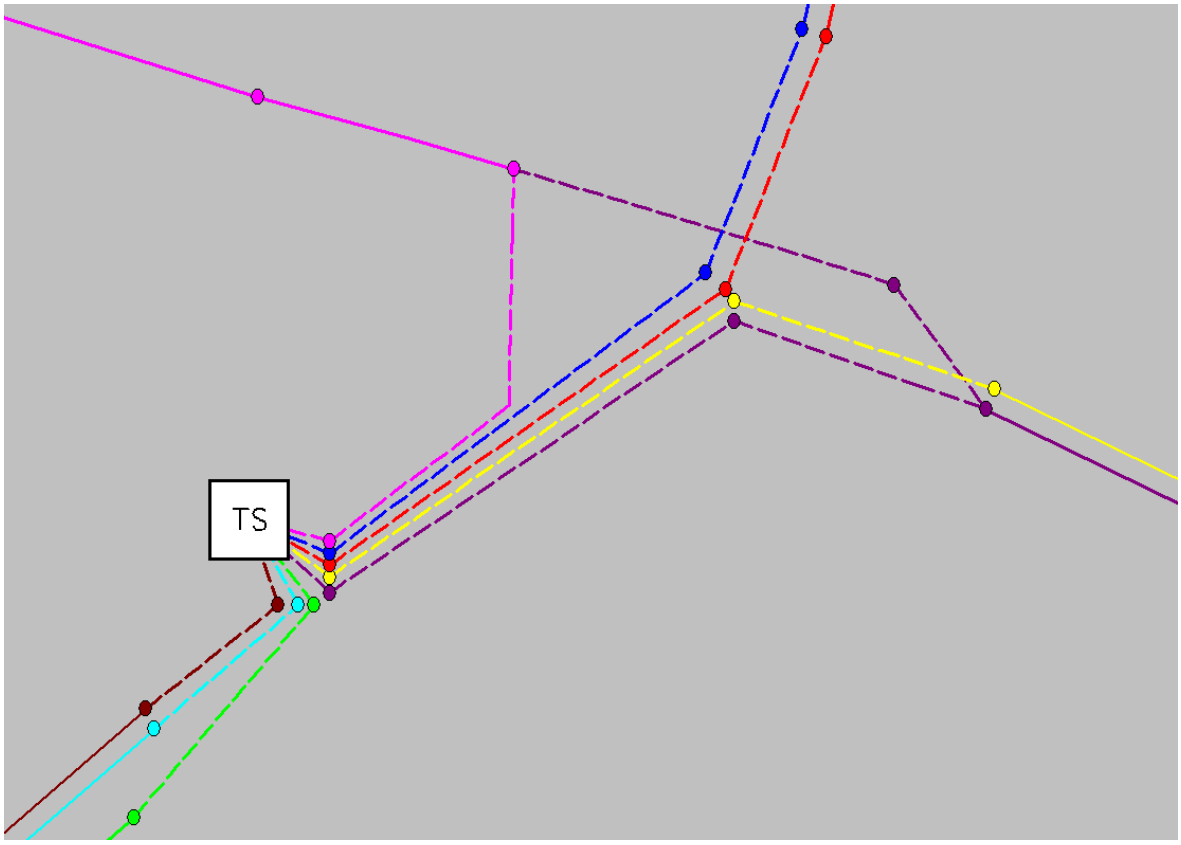


Obr. 5.5: Původní kmenové linky v místě výstavby R Náchod

Linky jsou barevně znázorněny následovně:

- Sedlec – fialová,
- Milevsko – hnědá,
- Stádlec – tyrkysová,
- Klokoty – zelená.

Po nakreslení a nastavení vypadá propojení linek s R Náchod následovně:



Obr. 5.6 – Propojení nových kmenových linek do R Náchod

Vidíme R Náchod označenou písmeny TS a do ní připojeny kmenové linky znázorněné barevně takto:

- Čekanice – žlutá,
- Jistebnice – růžová,
- Jordán – fialová,
- Votice – modrá,
- Vožice – červená,
- Milevsko – hnědá,
- Stádlec – tyrkysová,
- Klokoty – zelená.

Oproti původním názvům jsou zde dvě změny, linka Sedlec byla změněna na linku Jistebnice, a navíc vznikl propoj mezi R Náchod a R Tábor s názvem Jordán.

Na obr. 5.6 je patrné, že linky Jordán a Jistebnice je možné propojit mimo rozvodnu pomocí úsekových spínačů. O tomto propojení bylo rozhodnuto na základě požadavku dispečinku, protože při výpadku R Náchod by bylo složité napájet linku Jistebnice odjinud. Pomocí tohoto propojení ji bude možné napájet z R Tábor.

Zapojením těchto kmenových linek do R Náchod došlo k potřebnému odlehčení R Tábor. Součet maximálních proudů při starém zapojení dosahoval 1457 A, viz. tab. 5.1. Výstavbou nové rozvodny potřebný teoretický proud na vývodech R Tábor klesl na 1013 A, tedy téměř o polovinu.

5.1.2 Poměrné zatížení

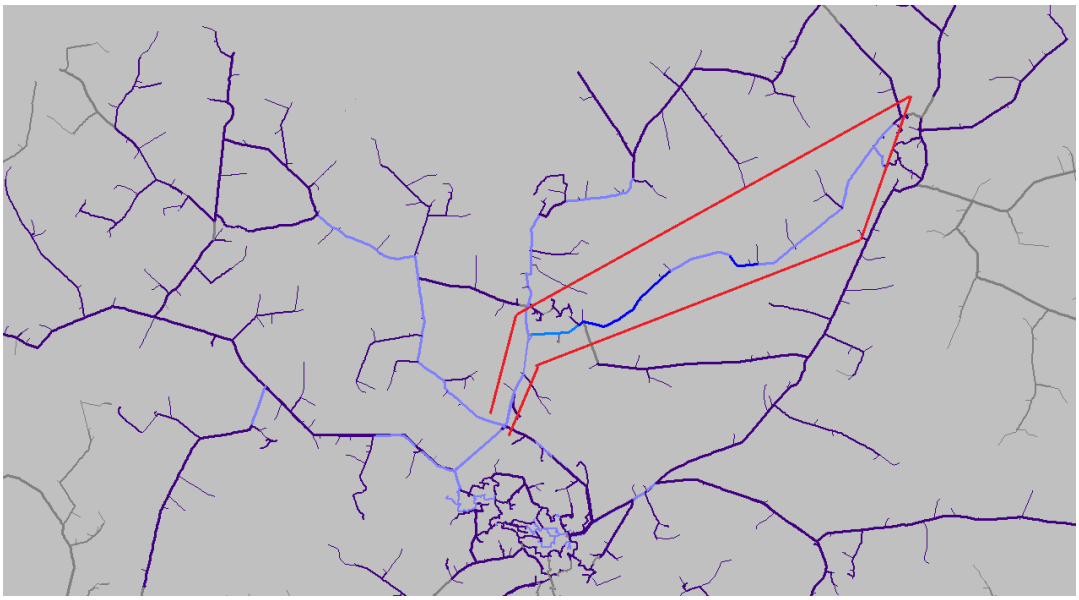
Dále můžu zjistit, jaké bude poměrné zatížení kmenových linek na vývodech z nové rozvodny. Výsledky uvádím v tab. 5.4.

Tab. 5.4 – Maximální relativní hodnoty proudů tekoucích z R Náchod

název	$I_{rel\ nové}$ (%)	$I_{rel\ původní}$ (%)
Čekanice	9,6	11,6
Stádlec	11,1	27,0
Klokoty	17,2	28,8
Jistebnice (Sedlec)	15,8	26,4
Milevsko	5,9	14,0
Votice	12,5	21,0
Vožice	24,1	34,9
Jordán	6,0	–

Pro porovnání je v tabulce i sloupec původních hodnot, který byl uveden již v tab. 5.2. Typ vodiče u vývodů je kabel AXEKVCEY 240 mm^2. Vliv rozvodny na zatížení je tedy velmi pozitivní, na všech linkách došlo k jeho poklesu. Nejvýraznější pokles je patrný u linky Stádlec (15,9 %), protože některé její vývody byly přepojeny na novou linku Jordán.

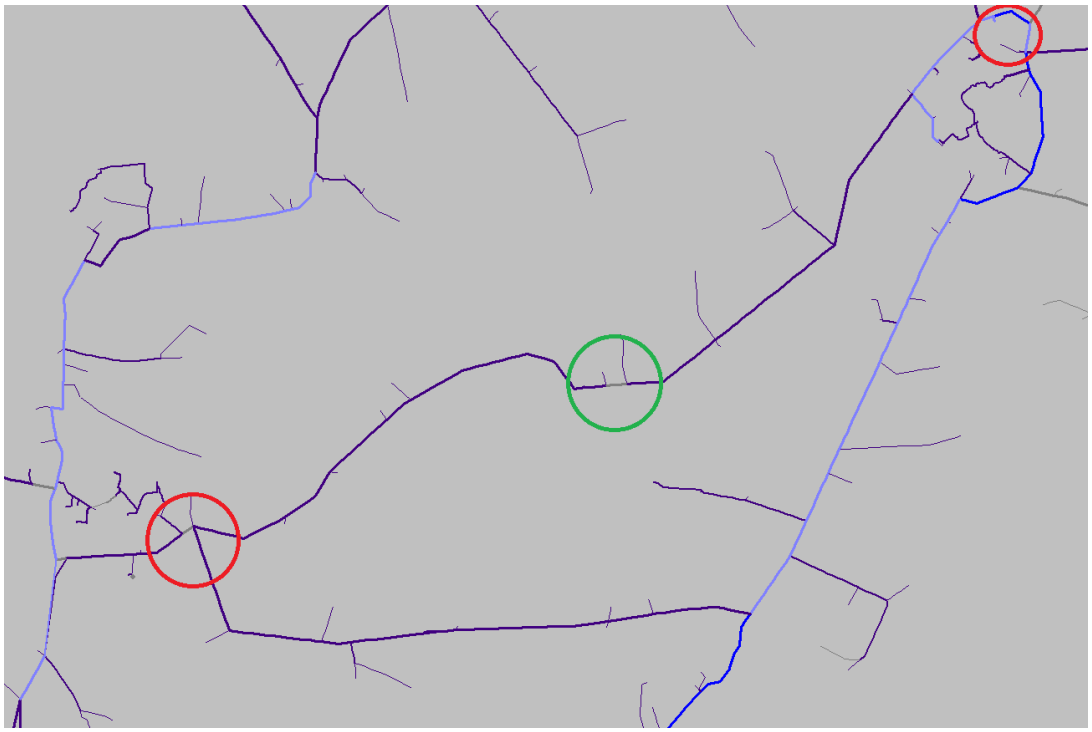
Grafické zobrazení poměrného zatížení oblasti můžeme vidět na obr. 5.7, kde je červeně orámována kmenová linka Vožice. Je vidět, že je celkově hodně zatížená, v několika úsecích dosahuje hodnot kolem 25 – 30 %. Nejhorší výsledek je 38,34 % v úseku s vedením AlFe6 70 mm^2. Jedná se o úsek dlouhý 841 m, jenž je na obou koncích napojen na silnější průřez AlFe6 95 mm^2.



Obr. 5.7 – Grafické zobrazení poměrného zatížení s vyznačenou linkou Vožice

5.1.3 Řešení

Zkusil jsem to vyřešit pomocí manipulací s úsekovými spínači, zatížení po této manipulaci je vidět na obr. 5.8. Přepojil jsem úseky vedení tak, aby přes nejhorší úsek tekl menší proud. Těsně za ním je linka Vožice propojena s linkou Blanice. Toho jsem využil a pomocí úsekových spínačů (červeně označená místa) jsem dokázal zbytek linky Vožice napájet přes linku Blanice. Dlouhý úsek vedení označený červeně na obr. 5.7 jsem v polovině vypnul úsekovým spínačem (zeleně označené místo) a každou polovinu jsem napájel zvlášť.



Obr. 5.8 – Grafické zobrazení poměrného zatížení po přepojení na linku Blanice

Dokázal jsem tak snížit zatížení zmiňovaného úseku na pouhých 5,76 %. Na obr. 5.8 je vidět, že jsem snížil zatížení v celé původní lince, ale zároveň jsem zvýšil zatížení Blanice s nejvyšší hodnotou 47,62 %. Toto řešení je tedy velmi špatné.

Ideálním řešením by bylo zvýšení průřezu vedení nebo kompletní rekonstrukce. Uvažuje se o druhé možnosti. Byly by použity stožáry s dvojitým potahem, takže by bylo možné přivést do oblasti Mladé Vožice dvě linky. Druhé zdvojení je v plánu u linky Jistebnice, kde je v plánu vznik nové linky Chotoviny. Ta by z velké části převzala napájení oblasti Chotovinska od linky Votice, která by místo toho pokračovala jakožto zdvojení linky Vožice. Řešení je vidět na obr. 5.9, kde jsou kmenové linky odlišeny barevně takto:

- Chotoviny – červená,
- Jistebnice – zelená,
- Vožice, Votice – modrá,
- Blanice – oranžová.

Obr. 5.9 – Odlehčení linky Vožice

Toto řešení je vhodné i z důvodu plánovaného navýšení příkonu v průmyslové zóně Mladé Vožice přibližně o 1,5 MW.

5.2 Optimální zapojení rozvodny

Při návrhu zapojení R 22 kV v rozvodně je nutné brát v úvahu zatížení kmenových linek a zároveň dispečerské požadavky. Zatížení přípojnic musí být podobné, aby jedna přípojnice nebyla přetížená na úkor druhé. Musím také navrhnout zapojení tak, aby bylo možné při výpadku jedné přípojnice napájet linky z jiných.

Pro lepší představu nejdříve uvádím seznam kmenových linek, které budou připojeny do R Náchod:

- Čekanice
- Jistebnice
- Jordán
- Klokoty
- Milevsko
- Stádlec
- Votice
- Vožice

5.2.1 Zdůvodnění návrhu

Snažil jsem se docílit co nejjednoduššího zálohování při výpadku jedné přípojnice. Vzhledem k existenci propojení mimo rozvodnu mezi kmeny Jordán a Jistebnice by bylo nesmyslné, aby byly na stejné přípojnici. Dále považuji za důležité připojit na rozdílnou přípojnici kmeny Votice a Vožice, protože mají několik společných bodů, kde se mohou propojit a vzájemně se zálohovat. Stejně tak lze propojovat linky Votice – Jistebnice, proto musí být na jiné přípojnici. Linky Jordán a Čekanice jsou přímými propoji mezi R Tábor a R Náchod, proto opět volím připojení každé z nich na jinou přípojnici. Navíc je možné také spínat Čekanice a Votice. Z toho vyplývá, že musí být na jedné přípojnici linky Jistebnice, Čekanice a Vožice, na druhé pak Votice a Jordán.

Poslední dvě kmenové linky, které jsou vedeny blízko sebe do velké vzdálenosti od rozvodny, jsou Milevsko a Stádlec. Zvolil jsem tedy připojení každé z nich na jinou přípojnici, přesné přiřazení na určitou přípojnici zhodnotím dále dle výkonového zatížení přípojnic. Zbývá linka Klokoty, která je krátká a napájí pouze městskou část Tábora. Z těchto důvodů jsem se rozhodl její zapojení také vybrat dle zatížení přípojnic, které jsem vypočítal v programu Bizon. Výkony linek uvádím společně s proudy v tab. 5.5.

Tab. 5.5 – Hodnoty proudů a výkonů tekoucích z R Náchod do kmenových linek

název linky	I_{max} (A)	P_{max} (kW)	Zvolená přípojnice
Stádlec	46,4	1689,0	–
Jistebnice	65,7	2408,8	A
Vožice	100,3	3738,7	A
Čekanice	39,8	1444,7	A
Milevsko	24,5	892,5	–
Klokoty	71,6	2600,5	–
Votice	52,1	1907,1	B
Jordán	25,0	906,9	B

Součet výkonů bez kmenů Klokoty, Milevsko a Stádlec:

Přípojnice A:

P_A = 7592,2 kW

Přípojnice B:

P_B = 2814 kW

Součet výkonů na přípojnici B je menší, proto jsem se rozhodl připojit linku Klokoty na tuto přípojnici. Linka Stádlec je zatížená téměř 2x více než Milevsko, proto je vhodné ji rovněž připojit na přípojnici B a Milevsko na přípojnici A.

Výsledné výkonové zatížení přípojnic je pak přijatelné:

Přípojnice A:

P_A = 8484,7 kW

Přípojnice B:

P_B = 7103,5 kW

5.2.2 Vlastní návrh

Navrhuji tedy zapojení takto:

Přípojnice A:

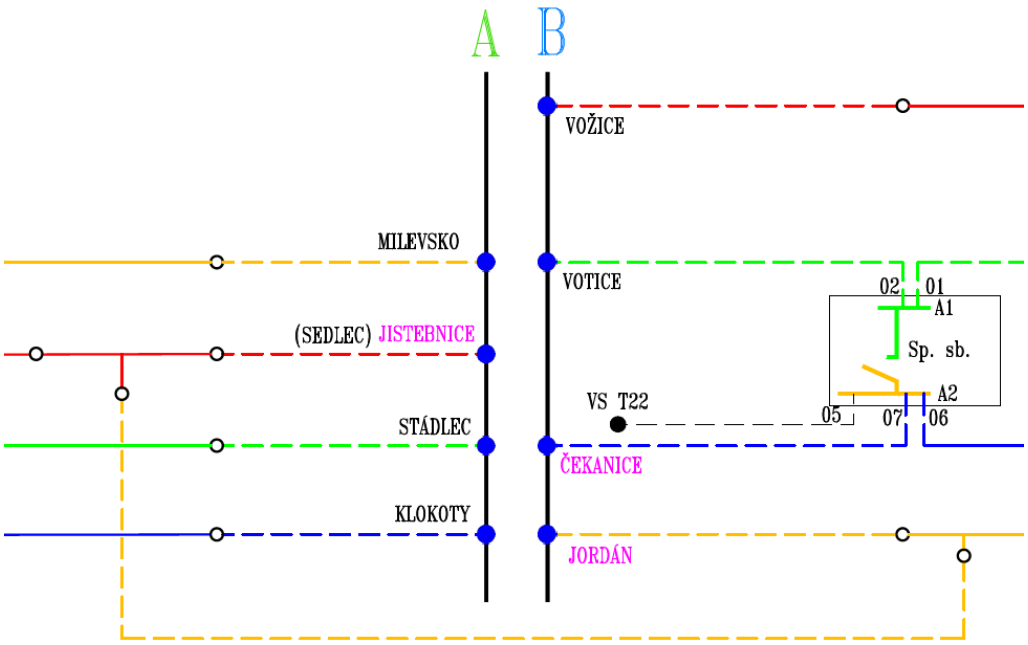
- Milevsko
- Jistebnice
- Vožice
- Čekanice

Přípojnice B:

- Stádlec
- Klokoty
- Votice
- Jordán

5.2.3 Návrh dle EG.D

Během psaní této práce došlo k zahájení stavby rozvodny a momentálně se nachází ve stavu, kdy rozvodna je téměř dokončena a sítě VN jsou zrekonstruovány částečně. Se svým návrhem se liším od momentálně plánovaného zapojení rozvodny, které uvádím v obr. 5.9.



Obr. 5.10 – Plánované zapojení kmenových linek v R 22 kV dle EG.D [17]

Toto zapojení je pouze provizorní, kmenové linky ještě nejsou kompletně připojeny do rozvodny a zatížení rozvodny tedy není dostatečné pro provoz obou transformátorů. Přípojnice jsou propojeny příčným spínačem přípojnic a napájeny pouze jedním transformátorem. Z těchto důvodů ještě nebylo rozhodnuto o přesném zapojení vývodů VN, dojde k tomu až po dokončení výstavby.

Můj návrh jsem projednal s technikem řízení sítí EG.D. V budoucnu bude tento návrh sloužit jako jedna z možností zapojení R 22 kV.

Kapitola 5 částečně vychází ze zdrojů [9, 16, 17].

6 Technicko-ekonomické zhodnocení

6.1 Náklady na výstavbu nové rozvodny Tábor - Náchod

V této kapitole se budu zabývat ekonomickým zhodnocením rozvodny. Nebudu zde uvádět přesné částky, protože společnost EG.D považuje tyto informace za citlivé. Cenová kalkulace tedy bude pouze přibližná, budu vycházet z obecného ceníku stavebních prací, který zveřejňuje Český statistický úřad, a z odhadů na základě jiných staveb.

Stavba rozvodny začíná nákupem pozemku. Pro stavbu byl vybrán pozemek typu orná půda o výměře 5154 m^2. Při ceně 30 – 40 Kč/m^2 odhaduji, že cena pozemku by měla být maximálně okolo 200 000 Kč. Při výkupu pozemků pro tyto účely je však cena většinou mnohem vyšší, předpokládám tedy okolo 1 mil. Kč. Dále je nutné počítat s terénními úpravami, které by se mohly pohybovat, vzhledem k velikosti pozemku, okolo 4 mil. Kč. Velkou položkou rozpočtu je zpracování projektové dokumentace, jejíž cena může být okolo 8 mil. Kč.

Jednou z nejdůležitějších částí rozpočtu je stavba venkovní R 110 kV, včetně stání transformátorů. Do této části jsou započítány i všechny konstrukce pro umístění technologií a jejich uzemnění. Předběžný odhad nákladů na tyto stavební úkony je 17 mil. Kč. Cenu samotných technologií bez transformátorů 110/22 kV jsem odhadl na 16 mil. Kč. Cena transformátoru 110/22 kV, 25 MVA se pohybuje okolo 15 mil. Kč, celkem za oba transformátory tedy odhad činí 30 mil. Kč.

Další důležitou položkou stavby je budova společných prostor, ve které bude umístěn zapouzdřený rozvaděč R 22 kV. Předběžně odhadnuté náklady na stavbu bez technologií jsou 13 mil. Kč, uvažuji pouze stavbu samotnou bez technologií. Cena ostatních položek, např. vybavení budovy, ochranné a pracovní pomůcky, přenosová zařízení, měřící systémy, telekomunikační a silové kabely atd., může dosáhnout přibližně dalších 3 mil. Kč. Dále jsem odhadl náklady na rozvaděče AJA, AJB a všechny další technologie umístěné v BSP, včetně řídícího systému. Do ceny také zahrnuji všechny přístroje a systémy pro provoz ochran, vlastní spotřeby a náhradního napájení. Odhad dosahuje částky 34 mil. Kč, jedná se tedy dohromady o nejdražší položku celé stavby.

Poslední cenový odhad obsahuje náklady na osvětlení v celém objektu a jeho oplocení. Dále také obsahuje stavbu místní a účelové komunikace, kanalizace dešťové i splaškové, vodovodní přípojku a náklady na vlastní studnu. Celková odhadovaná cena za tyto položky činí 8 mil. Kč.

Celková cena po sečtení všech položek je tedy 134 mil. Kč. Jedná se pouze o předběžný odhad ceny, přesné částky nelze uvádět. Navíc nelze znát přesnou cenu stavby, dokud nebude zcela dokončena. Náklady mohou být vyšší nebo nižší, záleží na změnách během stavby. Při nečekaných problémech může cena narůst i o několik milionů Kč.

6.2 Přínos rozvodny

Přínos stavby nové transformační stanice většinou není čistě ekonomický, při plánování těchto staveb se uvažuje spíše nad technickými přínosy. Často se stává, že stavba nové rozvodny ekonomický přínos nemá, ale z jiných důvodů je její realizace nutná.

Hlavním přínosem stavby R Náchod je zálohování R Tábor a její výkonové odlehčení. Díky tomu bude R Tábor splňovat kritérium N-1, protože při výpadku jednoho transformátoru bude možný provoz pouze s druhým transformátorem. Výstavba dále poskytne lepší možnost rekonstrukce VN sítí v oblasti, omezení kapacitního proudu a zlepšení zkratové odolnosti.

Stavba má i další přínosy, které nemusí být tolik patrné, ale jsou také velmi důležité. Zahuštění rozvoden a linek VN bude mít vliv na menší omezení zákazníků při poruše, zároveň tedy i na ukazatele spolehlivosti dodávky elektrické energie SAIDI a SAIFI. Lepší hodnoty těchto ukazatelů se poté projeví v ekonomice společnosti. Dalším vlivem stavby bude snížení ztrát, což je opět ekonomicky výhodné. Modernizace vedení a stavba nových rozvoden je také výhodou do budoucna, protože bude možné lépe splňovat požadavky na připojení nových zákazníků, nebo požadavky na navýšení dodávaného příkonu.

Závěr

Cílem práce bylo zpracovat návrh nové distribuční transformovny 110/22 kV Tábor – Náchod.

Na začátku práce jsem se pokusil uvést čtenáře do problematiky. Začal jsem popisem druhů rozvodů a napěťových hladin. Soustředil jsem se pouze na hladiny týkající se mé rozvodny, tedy VVN, VN a krátce NN. Dále jsem uvedl základní druhy elektrických stanic, se kterými se můžeme setkat. Přidal jsem ještě jedno dělení stanic, ale tentokrát dle EG.D, neboť jejich dělení vychází více z praxe a je zaměřeno více na distribuční rozvodny.

Důležitou součástí návrhu rozvodny je zdůvodnění, proč je nutné ji stavět. Zjistil jsem, že hlavním důvodem je přetížení R Tábor, která napájí velkou oblast. S využitím naměřených hodnot zatížení transformátorů jsem v práci ukázal, že při výpadku jednoho transformátoru by druhý nebyl schopen transformovat veškerý výkon rozvodny sám. Rozvodna tak nesplňuje kritérium N-1. Dalším důvodem je návaznost výstavby rozvodny na rekonstrukci sítě VN. Severní část Táborska je napájena sedmi kmenovými linkami, které jsou vedeny z R Tábor pomocí více než 65 let starého venkovního vedení, které již přesahuje svou životnost. Poté jsem se rozhodl popsat volbu umístění nové rozvodny. Vzhledem k možnosti spojení stavby s rekonstrukcí velkého množství linek VN je vhodné, aby rozvodna byla postavena v jejich těsné blízkosti a blízko vedení 110 kV. V souladu s požadavky jsem v práci odůvodnil výběr umístění a pozemku.

V práci bylo nutné soustředit se na zpracování technického řešení rozvodny. Nejdříve jsem provedl výpočet potřebného výkonu pro napájení dané oblasti. Spočítal jsem, že je vhodné rozvodnu vybavit dvěma transformátory o jmenovitém výkonu 25 MVA. Poté jsem se věnoval zdůvodnění volby přípojnicového systému. Zjistil jsem, že rozvodna bude vřazena do série rozvoden mezi dvě velké rozvodny se systémem dvou přípojnic a bude mít dvě přívodní vedení 110 kV. Systém více přípojnic by zde tedy postrádal smysl, proto byl zvolen jednoduchý systém typu H. Naučil jsem se, že veškeré přístrojové vybavení R 110 kV je v praxi dáno standardy provozovatele a je stejné na všech nových nebo zrekonstruovaných rozvodnách. R 22 kV bude provedena dle standardu pomocí zapouzdřeného rozvaděče umístěného v budově společných prostor. U tohoto typu rozvodny se dle standardu volí systém dvou přípojnic s příčným spínačem.

Důležitým úkolem při návrhu rozvodny je vypočítat její zkratovou odolnost. Já jsem se rozhodl nejdříve vypočítat zkratové proudy při plánovaném zapojení sítě VVN. Zjistil jsem si, že jsou v napájené oblasti dva zdroje, a to nadřazená soustava 220 kV v Táboře a teplárna

v Plané nad Lužnicí. Konzultant mi poskytl potřebné parametry vedení. Nakreslil jsem náhradní schéma sítě a vypočítal jsem zkratové proudy na přípojnicích 110 kV a 22 kV. Znalost aktuální velikosti maximálních zkratových proudů je důležitá spíše při provozu rozvodny a mění se změnou zapojení sítě nebo připojením (a odpojením) zdrojů. Pro návrh rozvodny je potřebné vypočítat oteplení přípojnic a jejich odolnost proti dynamickému působení zkratového proudu. Abych to mohl spočítat, sehnal jsem si potřebné normy a hodnoty ekvivalentního oteplovacího a dynamického zkratového proudu, na které mám přípojnice dimenzovat. Tyto hodnoty jsou dané typem a velikostí rozvodny. Pomocí norem jsem vypočítal oteplení přípojnic i lana propojujícího přípojnici s odpojovačem. Poté jsem počítal dynamické působení zkratového proudu, kde se rozlišuje výpočet s uvažováním OZ a bez OZ. Studiem norem jsem zjistil, že lze pro výpočty využít dvě metody. Při uvažování OZ je vhodné počítat pomocí metody se zvláštním ohledem na kmitání vodiče, která je přesnější. Druhou možností je zjednodušená metoda, která se ale v praxi tolik nepoužívá. Já jsem zkusil počítat oběma způsoby. Zjistil jsem, že výsledky obou metod se velmi liší, síly působící na podpěry při výpočtu zjednodušenou metodou mi vyšly více jak 2x větší, než při výpočtu druhou metodou. Uvažoval bych tedy vždy horší výsledek. Vyšlo mi, že navržené přípojnice jsou při všech metodách odolné proti tepelným i dynamickým účinkům zkratových proudů.

Když jsem měl technické řešení rozvodny hotové, věnoval jsem se kmenovým linkám VN, které bude rozvodna napájet. Konzultant mi poskytl model sítě v programu Bizon, který jsem si upravil do podoby před stavbou rozvodny a po ní. Následně jsem porovnával zatížení sítí a pozoroval vliv rozvodny. Zjistil jsem, že výstavbou R Náchod dojde ke snížení celkového zatížení R Tábor přibližně o 50 %. Mým úkolem bylo navrhnout optimální zapojení rozvodny. Vypracoval jsem tedy návrh zapojení s ohledem na dispečerské požadavky a zatížení přípojnic. Tento návrh jsem konzultoval s technikem řízení sítí EG.D a je možné, že bude využit v praxi jako jedna z možností zapojení R 22 kV.

Nakonec jsem řešil technicko-ekonomický přínos rozvodny. Uvedl jsem přibližné náklady na stavbu rozvodny. Musel jsem vycházet pouze z obecných nákladů, které mi byly poskytnuty, protože přesné částky jsou bohužel neveřejné. Vypracoval jsem tedy odhad ceny stavby, který mi vyšel 134 mil. Kč. Poté jsem uvedl přínosy stavby rozvodny z technického i ekonomického hlediska.

Považuji za důležité zmínit, že během psaní této práce se rozvodna začala stavět a v současné době, kdy práci budu odevzdávat, je již téměř dokončena. Jsem zaměstnán jako brigádník u společnosti EG.D na Správě rozvoden v Táboře, což mi dalo možnost sledovat stavbu od začátku do konce a získal jsem tak zkušenosti, které bych z písemných podkladů nevyčetl. Také jsem mohl v práci použít nejaktuálnější informace o rozvodně a reálné fotky technologií, které byly v průběhu psaní práce v rozvodně namontovány. Diplomová práce pro mě byla tak obrovským přínosem, neboť mi dala možnost seznámit se s prostředím mého snad budoucího zaměstnání.

7 Zdroje

[1] E.ON. *Přenosová a distribuční soustava 1. – 5. část* [online]. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: https://www.eon-distribuce.cz/clanek/prenosova-distribucni-soustava-1-cast

[2] doc. Ing. Ladislav Rudolf, Ph.D. *Elektrické stanice* [online]. Ostrava [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: https://projekty.osu.cz/akreditace2017/Elektricke%20stanice.html

[3] HEREJK, Jakub. *Návrh nové distribuční transformovny* [online]. Plzeň, 2019 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11025/38330. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.

[4] PETÝREK, Lukáš. *Zaústění nové transformační stanice 110/22 kV Střed v Českých Budějovicích* [online]. Plzeň, 2020 [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11025/40213. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.

[5] *Koncepce rozvoje distribuční soustavy 110 kV* – interní soubor společnosti EG.D. [cit. 2020-12-13].

[6] RTS Stavební online. *Uložení kabelů v zemi.* [online]. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: https://stavebnionline.cz/Profily/dokument.asp?Priloha=26893&FN=Vzorov%E9%20ulo%9Een%ED%20kabel%F9.pdf

[7] Technické sítě Brno, *Druhy kolektorů.* [online]. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: https://www.tsb.cz/sluzby/tsb-kolektory-brno/druhy-kolektoru/

[8] Orságová, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. [online]. Brno, 2004. [cit. 2020-12-13]. Dostupné z: https://docplayer.cz/16989703-Rozvodna-zarizeni-autor-textu-ing-jaroslava-orsagova.html#show_full_text

[9] *Zadání stavby TR 110/22 kV Tábor - Náchod – nová TR.* Interní soubor společnosti EG.D. [cit. 2020-12-13].

[10] *Letecké mapy*. [online]. Dostupné z: https://mapy.cz/

[11] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – výpočet proudů*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 62 s. Třídící znak 33 3022.

[12] ČSN 30 1754. *Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů.* Praha: Český normalizační institut, 1976. 40 s. Třídící znak 38 1754.

[13] ČSN EN 60865-1. *Zkratové proudy – Výpočet účinků – Část 1: Definice a výpočetní metody*. Praha: Český normalizační institut, 2012. 45 s. Třídící znak 33 3040.

[14] PNE 33 3041 ed. 2.

[15] HLUBUČEK, Josef. *Nová transformovna 400 / 110 kV Rohatec.* [online]. Plzeň, 2020 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11025/40205

[16] Tabulky s hodnotami zatížení rozvoden. Interní soubory společnosti EG.D.

[17] *Provozní schémata*. Interní soubory společnosti EG.D. [cit. 2021-05-12].

[18] NOHÁČOVÁ, Lucie. *Přednášky předmětu ELS: Elektrické stanice a vedení*. [cit. 2021-05-12].

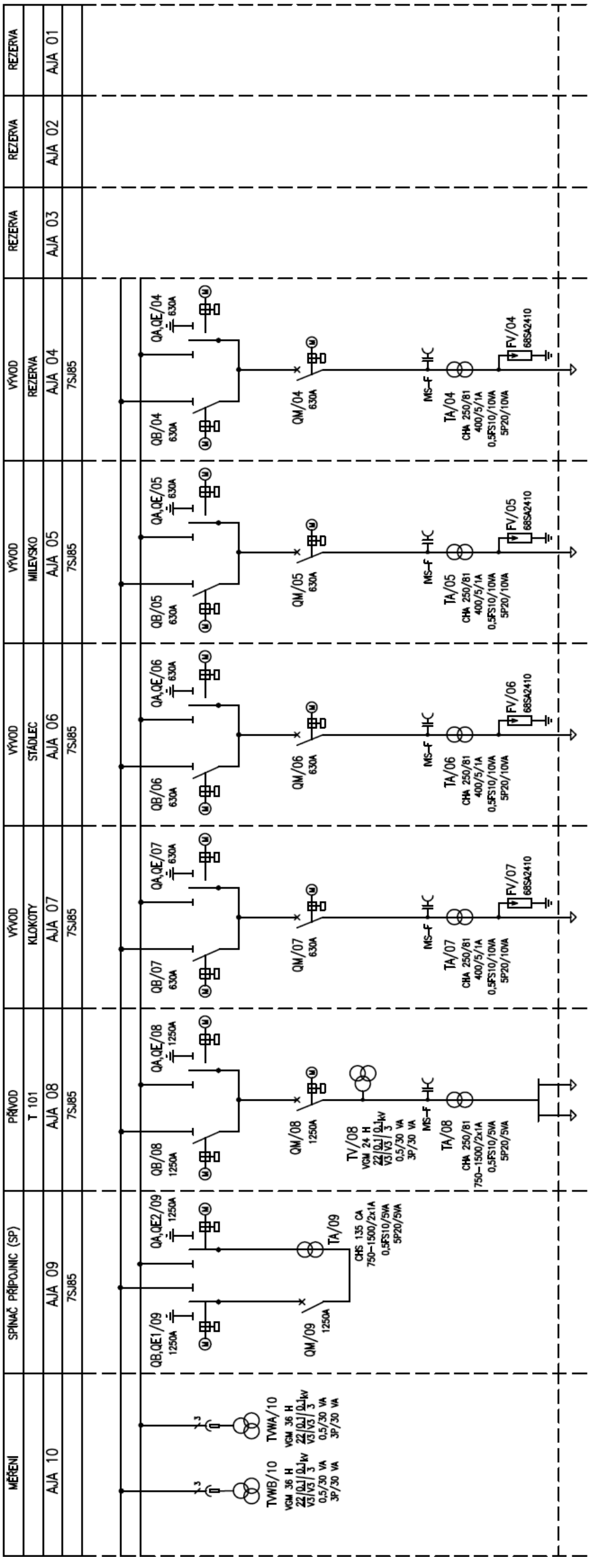
[19] TNS 30 8020.00. *Venkovní transformovny 110/22 kV – Transformovna typu H klasického venkovního provedení.* Technická norma společnosti E.ON Česká republika, s.r.o. [cit. 2021-05-12].

[20] Schneider Electric. *Rozváděč VN izolovaný plynem SF_6, typ GHA – Návod k obsluze.* [online]. [cit. 2021-05-12].
Dostupné z: https://www.se.com/cz/cs/download/document/S1334/

[21] *Katalogový list trubkové přípojnice EN-AW 6101B.*

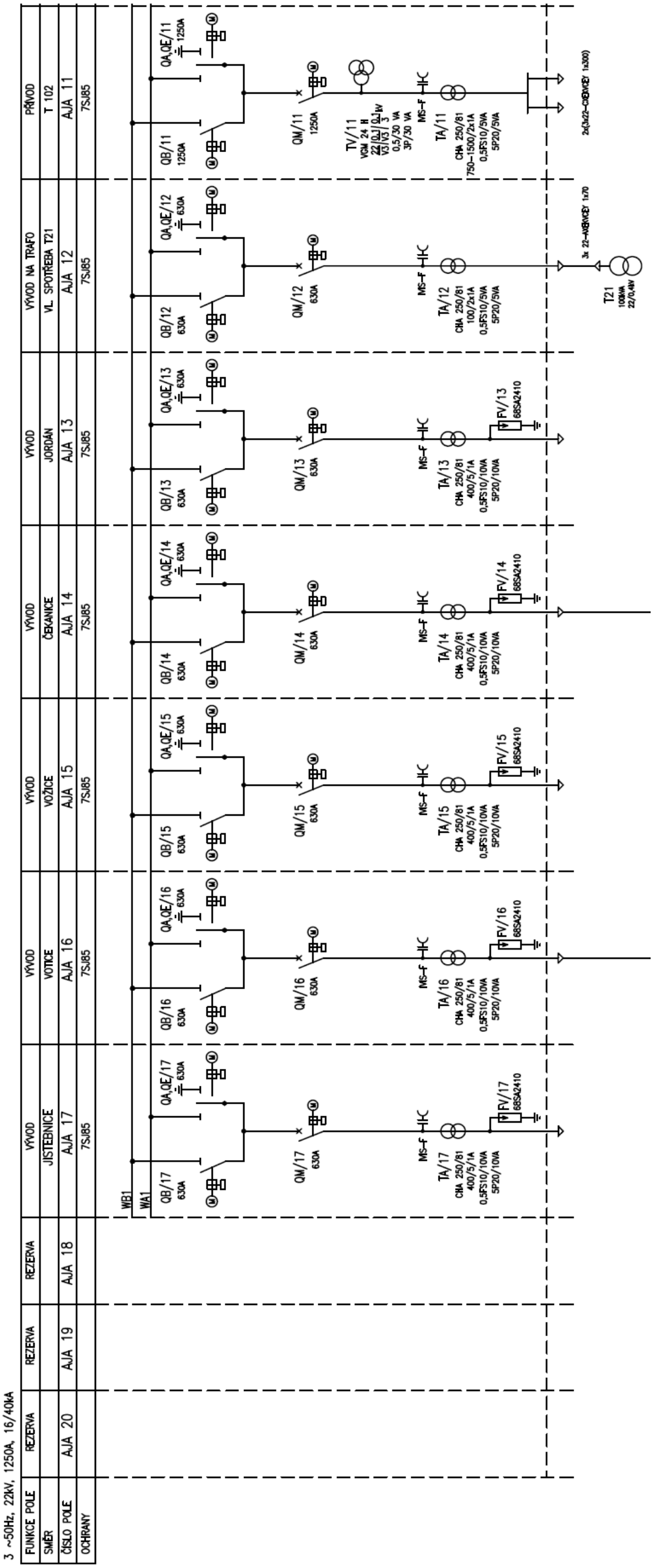
8 Přílohy

Příloha A – Jednopólové schéma R 22 kV, pole 01 - 10



Obr. A.1 – Jednopólové schéma R 22 kV, pole 01 – 10

Příloha B – Schéma rozvaděče AJA, R 22 kV, pole 11 - 20



Obr. A.2 – Jednopólové schéma R 22 kV, pole 11 – 20