



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

PROJEKT REVITALIZACE NAPÁJENÍ PRŮMYSLOVÉHO VÝROBNÍHO ZÁVODU

PROJECT FOR THE REVITALIZATION OF THE POWER SUPPLY OF AN INDUSTRIAL FACTORY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Šilha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

BRNO 2025



Diplomová práce

magisterský navazující studijní program Elektroenergetika

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Jakub Šilha

ID: 211130

Ročník: 2

Akademický rok: 2024/25

NÁZEV TÉMATU:

Projekt revitalizace napájení průmyslového výrobního závodu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Analýza stávajících rozvodů a potřeb provozu pro nový návrh rozvodů VN a NN s řízením LDS a obnovitelných zdrojů v síti
2. Vyhodnocení stávající bilance zatížení v rozvodech (cca 40 výrobních hal od kalírny po administrativní objekty, zahrnuje 5 VN rozvoden s přibližně 12x1 MVA transformátorech)
3. Návrh a optimalizace nové topologie po úpravě areálu (výstavba obytné čtvrti - 100 bytů, 35 domů, drobná výroba a administrativní objekty)
4. Zahmutí stávajícího obnovitelného zdroje FVE 980 kWp + příprava rezervy pro 1,1 MWp
5. Analýza zkratových poměrů v síti VN a NN, n-1 pro některé objekty důležité výroby

DOPORUČENÁ LITERATURA:

doporučená literatura podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 10.2.2025

Termín odevzdání: 26.5.2025

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Diplomová práce se zaměřuje na návrh revitalizace rozvodné sítě vysokého napětí v průmyslovém areálu. Cílem je posoudit technický stav stávajících zařízení, analyzovat odběry a navrhnout nové řešení sítě. Nový návrh má zohledňovat budoucí rozvoj areálu v podobě nové obytné a komerční čtvrti. Navržené řešení je ověřeno výpočty dle současných standardů a norem.

Klíčová slova

rozvodná síť, návrh, revitalizace, bilance zatížení, elektrické vedení, zkrat, zatížení

Abstract

The thesis focuses on the design of a high-voltage distribution network revitalization in an industrial complex. The aim is to assess the technical condition of the existing equipment, analyze power consumption, and propose a new network solution. The new design takes into account the future development of the site, including a new residential and commercial district. The proposed solution is verified through calculations in accordance with current standards and regulations.

Keywords

distribution network, design, revitalization, load balancing, power lines, short circuit, load

Bibliografická citace

ŠILHA, JAKUB. *Projekt revitalizace napájení průmyslového výrobního závodu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky, 2024. 58 s., 10 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta:	Bc. Šilha Jakub
VUT ID studenta:	211130
Typ práce:	<i>Diplomová práce</i>
Akademický rok:	2024/25
Téma závěrečné práce:	<i>Projekt revitalizace napájení průmyslového výrobního závodu</i>

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 26. května 2025

podpis autora

Poděkování

Děkuji Ing. Tomáši Ryšavému za odborné vedení, konstruktivní připomínky, trpělivost a pomoc při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 26. květen 2025

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK.....	11
ÚVOD	12
1. PLÁN INVESTORA	13
1.1 DOHODNUTÁ NÁPLŇ PRÁCE.....	14
2. SOUČASNÁ SITUACE	15
2.1 POPIS STÁVAJÍCÍ ROZVODNÉ SÍTĚ	15
2.1.1 <i>Spínací stanice ČEZ</i>	16
2.1.2 <i>Spínací stanice SS01</i>	16
2.1.3 <i>Hlavní transformační stanice TSH</i>	16
2.1.4 <i>Transformační stanice TS1</i>	17
2.1.5 <i>Transformační stanice TS2</i>	18
2.1 TRANSFORMAČNÍ STANICE TS03.....	19
2.1.1 <i>TS35</i>	20
2.1.2 <i>Stav zařízení v síti</i>	20
2.2 SOUČASNÁ SPOTŘEBA AREÁLU	21
3. NOVÝ STAV	24
3.1 NAPOJENÍ NA DISTRIBUČNÍ SÍŤ.....	24
3.2 MODERNIZACE AREÁLU.....	24
3.2.1 <i>Varianta 1</i>	25
3.2.2 <i>Varianta 2</i>	27
3.2.3 <i>Varianta 3</i>	29
3.2.4 <i>Doporučená varianta</i>	31
4. NÁVRH NOVÉ ČTVRTI	32
4.1 STANOVENÍ VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ.....	32
4.1.1 <i>Normy</i>	32
4.1.2 <i>Požité vzorce</i>	33
4.1.1 <i>Výpočtový proud</i>	33
4.2 NOVÁ ČTVRŤ	34
4.2.1 <i>Podklady pro novou čtvrť</i>	34
4.2.2 <i>Výpočet zatížení</i>	34
4.3 POČET TS A JEJICH TRANSFORMAČNÍ VÝKON	36
4.3.1 <i>Instalovaný výkon transformátorů v transformační stanici</i>	37
4.3.2 <i>Výpočty výkonů transformační stanice</i>	38
4.3.3 <i>Posouzení variant transformační stanice</i>	39
4.4 SHRUTÍ DOPORUČENÉHO ROZMÍSTĚNÍ TRANSFORMAČNÍCH STANIC.....	39
5. VÝBĚR KABELU NA PROPOJENÍ STANIC	41
5.1 MECHANICKÁ PEVNOST	41
5.2 HOSPODÁRNOST	41
5.3 TEPELNÁ ODOLNOST.....	41
5.3.1 <i>Vybraný referenční kabel</i>	43

5.1	ULOŽENÍ KABELOVÝCH TRAS	43
5.2	ÚBYTEK NAPĚTÍ NA VEDENÍ.....	43
5.2.1	<i>Výpočet ustáleného chodu jako nelineární úloha.....</i>	<i>44</i>
5.2.2	<i>Klasifikace uzlů a podmínky určitosti chodu sítě.....</i>	<i>44</i>
5.3	VÝPOČET V PROGRAMU LUG.....	45
6.	ZKRATOVÁ ODOLNOST	48
6.1	VÝPOČET ZKRATOVÉHO PROUDU.....	48
6.1.1	<i>Vzorové výpočty pro jednotlivé prvky sítě.....</i>	<i>49</i>
6.2	OVĚŘOVÁNÍ MÍSTA ZKRATU	50
6.2.1	<i>Výpočet celkové zkratové impedance pro místo zkratu 1</i>	<i>51</i>
6.2.2	<i>Tepelné účinky zkratu navedení místě 1</i>	<i>51</i>
6.2.3	<i>Dynamické účinky zkratu v místě jedna</i>	<i>52</i>
6.2.4	<i>Ověřování místa zkratu 2 a 3</i>	<i>53</i>
6.2.5	<i>Ověřování místa zkratu 4, 5 a 6</i>	<i>53</i>
7.	NÁVRH OSAZENÍ STANIC	55
7.1	VYBAVENÍ POLÍ ROZVADĚČŮ.....	56
7.2	ROZVADĚČE NN.....	56
8.	ZÁVĚR.....	57
	LITERATURA.....	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Výřez plánu průmyslového areálu	13
Obr. 2: Zjednodušené znázornění VN sítě v areálu	15
Obr. 3: Jednopolové schéma transformovny TSH na hladině 22 kV	17
Obr. 4: Jednopolové schéma transformační stanice TS03 na hladině 22 kV	18
Obr. 5: Jednopolové schéma transformační stanice TS2 na hladině 22 kV	19
Obr. 6: Jednopolové schéma transformační stanice TS03 na hladině 22 kV	19
Obr. 7: Jednopolové schéma transformační stanice TS35 na hladině 22 kV	20
Obr. 8: Graf spotřeby během vybraného lednového týdne	23
Obr. 9: Graf spotřeby během vybraného červencového týdne	23
Obr. 10: Zjednodušené zobrazení varianty 1	27
Obr. 11: Znázornění varianty 2 se zachovanou rozvodnou SSH	29
Obr. 12: Vizualizace varianty 3	30
Obr. 13: Podkladní mapka k projektu Jižní park.....	34
Obr. 14: Mapa nové čtvrti s vyznačenými TS	37
Obr. 15: Znázornění umístění stanic dle doporučených variant stávající a nové části areálu	40
Obr. 16: Ukázka simulace ustáleného stavu navrhnuté sítě	45
Obr. 17: Zjednodušené jednopolového schéma ověřované sítě s vyznačenými místy zkratů.....	49
Obr. 18: Omezovací charakteristika pojistky PM45 [16].....	53

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Shrnutí varianty 1	26
Tab. 2: Shrnutí varianty 2 a 2B.....	28
Tab. 3: Shrnutí varianty 3	30
Tab. 4: Výpočet maximálního zatížení nebytových odběrů [3]	33
Tab. 5: Zjištěné hodnoty výpočtového zatížení pro jednotlivé typy budov	36
Tab. 6: Hodnoty výpočtového zatížení pro navrhnuté trafostanice.....	38
Tab. 7: Výpočet potřebného počtu transformátorů do TS.....	39
Tab. 8: Určené hodnoty dovoleného zatížení kabelového vedení.....	42
Tab. 9: Parametry vybraného referenčního vodiče [8].....	43
Tab. 10: Parametry jednotlivých vedení v areálu [8].....	46
Tab. 11: Výsledky stanic ustáleného chodu navrhnuté sítě	46
Tab. 12: Výsledky vedení ustáleného chodu navrhnuté sítě	47
Tab. 13: Hodnoty zkratů v místě 1, 2 a 3.....	53
Tab. 14: Hodnoty zkratů v místě 4, 5 a 6.....	54

ÚVOD

Tato diplomová práce se věnuje návrhu revitalizace napájení průmyslového výrobního závodu. Na základě této diplomové práce a jejích výsledků by měla vzniknout studie zabývající se analýzou současného stavu a návrhem řešení revitalizace elektrizační soustavy určeného průmyslového areálu. Starší průmyslové areály, jejichž infrastruktura často vychází z původních návrhů z druhé poloviny 20. století, dnes mnohdy čelí situaci, kdy technický stav zařízení a provozní náklady přestávají být únosné.

Hlavním cílem práce je návrh modernizace rozvodné sítě 22 kV, která se stará o hlavní rozvod elektrické energie po areálu. Návrh by měl zohledňovat jak stávající situaci odběrů v areálu, tak jeho možný budoucí rozvoj dle požadavků investora. Zadání této práce vzniklo ve spolupráci se společností JETPRO s.r.o., která se věnuje zpracováním komplexní projektové dokumentace pro výstavbu v energetice, průmyslu a na dráze.

Úvodní část práce seznamuje s průmyslovým areálem, kterého se revitalizace napájecí sítě týká. Dále jsou uvedeny podmínky a požadavky na návrh nové sítě od investora.

Následuje komplexní analýza stávajícího stavu sítě, jejího zatížení, konfigurace a odběru, na jejímž základě je vypracován návrh nové napájecí sítě. Nový návrh by měl brát v úvahu nejen výsledky této analýzy, ale měl by také reflektovat požadavky investora na změny a budoucí rozvoj průmyslového areálu. Mezi ně patří zejména vyčlenění některých budov z areálu, plánovaná výstavba nové obytné a komerční čtvrti, a příprava na možnou budoucí stavbu fotovoltaických elektráren.

Prvním krokem je návrh počtu a umístění jednotlivých transformačních stanic v areálu včetně transformační stanice obsluhující novou čtvrť. Následuje určení kabelového vedení mezi stanicemi. Navrhnuté řešení by mělo být ověřeno výpočty dle dnešních standardů a norem. Poslední část práce se věnuje návrhu rozvaděčů vysokého napětí pro jednotlivé transformační stanice a vybavení jednotlivých jejich polí.

1. PLÁN INVESTORA

Investorovým zájmem je projekt kompletní revitalizace rozvodné sítě vysokého napětí (VN) v jednom z jeho průmyslových areálů, projektování přípojky VN k nově vznikající čtvrti v rámci areálu a příprava přípojky VN pro jeho další rozšíření.

Investor má v plánu v současném výrobním areálu provést majetkové změny. V rámci nich se budou některé objekty vylučovat ze současného uspořádání rozvodné sítě. Z toho plyne nutnost návrhu částečně nové sítě s novým uspořádáním.

Stávající uspořádání výrobního areálu je znázorněno na Obr. 1. Budovy zvýrazněné zeleně zůstanou součástí průmyslového komplexu. Růžová barva označuje budovy, které budou vyčleněny z nové rozvodné sítě. Přejdou na jiného vlastníka nebo se u nich plánuje demolice. Celkový plán a popis jednotlivých budov lze nalézt v Příloha B.



Obr. 1: Výřez plánu průmyslového areálu

Projekt počítá s náhradou veškerého kabelového vedení za nové. Transformační stanice TS 1 a TS 2, které se nacházejí v budově číslo 34 kuličkárna, budou vyčleněny

z nového návrhu rozvodné sítě. Důvodem je plánovaná změna vlastníka budovy. U zbylých trafostanic TSH, TS03 a TS35 bude zpracována optimalizace počtu transformátorů na současný provoz a přidání nových transformačních stanic pro novou čtvrť.

Budovy s čísly 6, 11 a 16 mají mít na projektovanou přípravu pro budoucí instalaci fotovoltaické elektrárny. Celkový instalovaný výkon plánovaných výroben by měl být 750 kW_p.

V rámci areálu podniku má investor zájem vybudovat novou čtvrť. Z tohoto důvodu se budou muset zjistit odhadované odběry nové čtvrti. Oblast nové čtvrti je vyznačena oranžově ve spodní části na Obr. 1. Její součástí mají být rodinné domy, bytové domy, haly pro lehkou výrobu, skladování a komerční budovy. Pro tuto novou čtvrť nemá investor zpracovaný žádný závazný projekt. Počet plánovaných jednotlivých budov byl poskytnut.

1.1 Dohodnutá náplň práce

Požadavky investora na návrh nové sítě jsou dány zadáním a specifikací projektu dle níže uvedených bodů.

1. Na základě poskytnutých naměřených hodnot výkonů na vývodech transformačních stanic a naměřených či odhadnutých příkonů jednotlivých napájených objektů napětím NN bude proveden návrh optimalizace zatížení transformátorů a jednotlivých kabelových tras. Zároveň bude na základě těchto hodnot navržena redukce počtu jednotlivých transformačních stanic.
2. Transformační stanice TS35 zůstane volitelně zachována, avšak optimalizuje se v ní zatížení jednotlivých transformátorů.
3. Transformační stanice TSH a TS03 budou v případě potřeby pro optimalizaci ES zachovány, v opačném případě bude navržena jejich demontáž.
4. Veškerá původní VN kabeláž bude demontována a nahrazena novou. Nová VN kabeláž bude i po novu vedena z budovy ve vlastnictví ČEZ distribuce.
5. Měření spotřeby areálu zůstane zachováno v objektu č. 31 a tento objekt zároveň nebude podléhat demontáži.
6. Transformační stanice TS1 a TS2 budou demontovány.
7. Na objektech č. 6, 11, 16 je uvažováno s možností přidání fotovoltaiky o výkonu 750 kW. Studie bude pouze respektovat její příkon, nebude se věnovat samotnému návrhu FVE.
8. Návrh nové ES počítá s realizací nové čtvrti Jižní park dle poskytnutých podkladů
9. V areálu se nepočítá se zálohovaným napájením z externího zdroje.

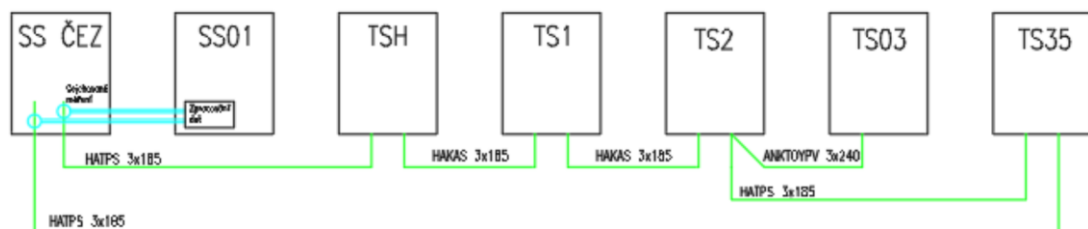
2. SOUČASNÁ SITUACE

Areál investora se nachází na distribučním území ČEZ Distribuce a.s. V areálu jsou provozovány kabelové rozvody vysokého napětí na hladině 22kV a nízkého napětí 400 V. V areálu jsou provozovány kabelové rozvody vysokého napětí na hladině 22 kV a nízkého napětí 400 V. Součástí sítě je pět transformačních stanic (TS) s přidruženými rozvodnami na hladině nízkého napětí.

Připojení je provedeno v jednom bodě ze spínací stanice (SS) ČEZ v severní části areálu, která je napájena z transformační stanice TS Komenského. Ze spínací stanice SS ČEZ distribuce vede kabelové vedení do trafostanice hlavní TSH, následně do trafostanice TS1 a z ní do stanice TS2. V trafostanici TS2 v poli kabelové smyčky, jeden vývod napájí transformační stanici TS03 a druhý vývod pokračuje do transformační stanice TS35. V TS35 v poli kabelové smyčky se VN vedení vrací do spínací stanice ČEZ distribuce a tvoří tak smyčku. Součástí všech TS jsou provozovány rozsáhlé rozvodny na hladině NN. Na střeše budovy 35 se nachází fotovoltaická elektrárna (FVE) s přípojkou na straně NN v přílehlající rozvodně NN k TS35.

Na spínací stanici ČEZ je připojena spínací stanice SS1, která zajišťuje měření areálové spotřeby.

Zjednodušený zakres VN sítě v areálu je znázorněn na Obr. 2.



Obr. 2: Zjednodušené znázornění VN sítě v areálu

2.1 Popis stávající rozvodné sítě

Investor do současné doby nedodal kompletní topologii stávající sítě s odůvodněním, že byla nenávratně ztracena při majetkových sporech o výrobní areál. Správce zařízení bohužel není schopen dodat aktuální zprávu zabývající se rozvržením sítě. Schéma rozvodné sítě se všemi daty bylo vyhotoveno na základě podkladů, které byly shromážděny při osobní obhlídce areálu projekčním týmem firmy JETPRO s.r.o.

V areálu investora se nachází celkem 11 výkonových transformátorů s převodem 22/0,4 kV, výkonem 1000 kVA a jsou provozovány se zapojením Dyn1. Z důvodu postupného uzavírání technologických budov v areálu a obecného snižování odebíraného

výkonu je instalovaný výkon ve výkonových transformátorech předimenzovaný. Aktuální rezervovaný příkon areálu je dle smlouvy o připojení 2,03 MW.

Celkové jednopólové schéma stávající rozvodné sítě zachycuje Příloha A.

2.1.1 Spínací stanice ČEZ

Jedná se o zděnou budovu v severní části areálu. Celý výrobní podnik je připojen přes tuto spínací stanici k distribuční síti. Jelikož se jedná o budovu, která nespadá do správy investora, nejsou k této spínací stanici ČEZ poskytnuty žádné podklady.

V minulosti (do prosince 1999), byl areál napájen ze spínací stanice SS1. Poté proběhlo rozpojení vývodových kabelů ze vstupní stanice a proběhlo naspojování na kabely ze spínací stanice ČEZ.

V původní spínací stanici SS1 (vstupní stanici), jsou doposud zachovány přístroje pro vyhodnocení odběru areálu.

V budově je instalováno vybavení ČEZ Distribuce a měřicí přístroje sloužící k fakturačnímu měření odebíraného výkonu areálu. Ze stanice jsou vyvedeny dva vývody tvořené kabely HATPS 3x185. První vývod je propojen s transformovnou TSH a druhý vývod vede do transformovny TS35.

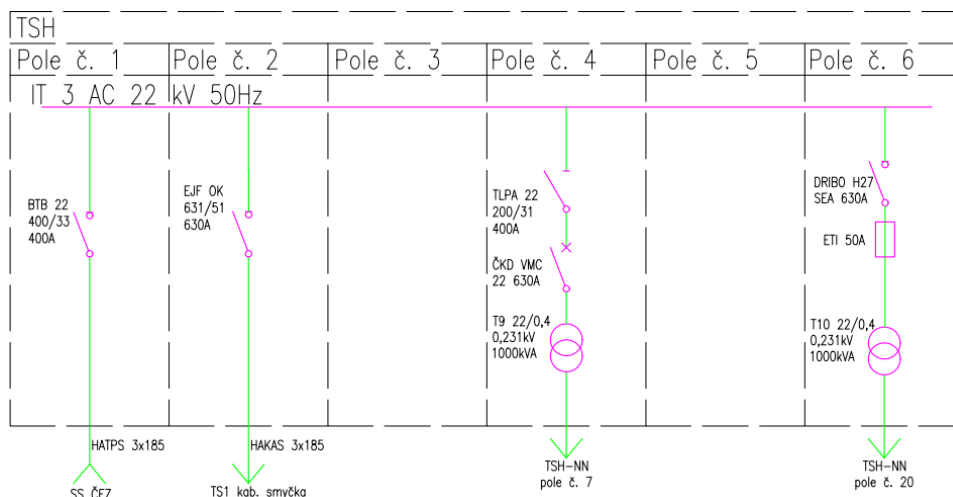
2.1.2 Spínací stanice SS01

V rámci dispozice areálu je označena číslem 31 a nachází se v blízkosti SS ČEZ. Jde o zděnou budovu, kde probíhá zpracování a vyhodnocení dat měření odběru areálu. Data jsou poskytována pomocí datového propojení z budovy spínací stanice SS ČEZ.

2.1.3 Hlavní transformační stanice TSH

Transformační stanice TSH je součástí budovy kalírny s číslem budovy v dispozici č. 7. Jednopólové schéma TSH na hladině VN je znázorněno na Obr. 3. Pole číslo 1 je přívodním polem ze spínací stanice ČEZ, do kterého jsou zaústěny kabely HATPS 3x185. Pole je pro manipulaci osazeno odpínačem na 22 kV. Pole číslo 2 je polem vývodovým, ze kterého vede kabelové vedení HAKAS 3x185 do transformační stanice TS1. TSH obsahuje dvě prázdná pole č. 3 a č. 5. Z polí č. 4 a č. 6 jsou napájeny transformátory T9 a T10, každý s výkonem 1 MVA. Pole č. 4 pro transformátor T9 je vybaveno odpojovačem TLPA 22 200/51 a vypínačem VMC 22/630A. T10 je jištěn novějším pojistkovým odpínačem DRIBO H27 SEA.

Podle poslední revizní zprávy nevyhovuje olej v transformátoru T9 z důvodu vysokého obsahu vody. Transformátor je z tohoto důvodu dlouhodobě odpojen.



Obr. 3: Jednopolové schéma transformovny TSH na hladině 22 kV

Součástí trafostanice je rozsáhlá rozvodna na hladině 0,4 kV, která obsahuje 21 polí. Na pole číslo 7 se připojuje vývod z transformátoru T9 a na pole č. 20 je připojen vývod od transformátoru T10. V rozváděči se nachází kompenzace, které jsou vyhrazeny pole č. 10 až č. 16. Zapojení, funkčnost, či přesnější technické parametry kompenzace jsou neznámé.

Jednopolové schéma NN rozváděče NN trafostanice TSH je součástí Příloha T a seznam vývodů zobrazuj Příloha Q. Skříně ovládání kompenzace jsou podle získané fotodokumentace aktivní, aktivita jednotlivých skříní kompenzace však není známá.

U aktivního stavu vývodu se počítá se zachováním daného vývodu a v rámci nového stavu se pouze vymění jištění se stejnou jisticí hodnotou, jaká je původní.

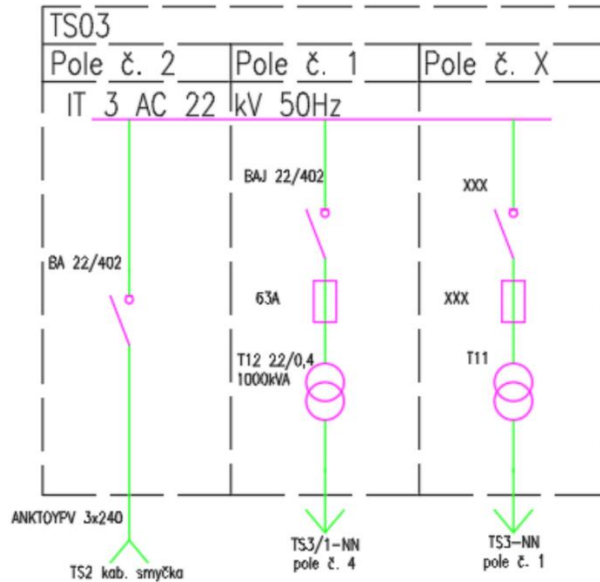
Označení „ruší se“ popisuje vývod, který je momentálně aktivní, ale v rámci modernizace sítě se nepočítá s jeho zachováním a bude nahrazen prostorovou rezervou.

Označení „Zrušeno“ popisuje vývod, který již není aktivní a v rámci nového stavu se jeho vybavení demontuje a stane se z něj prostorová rezerva.

2.1.4 Transformační stanice TS1

Transformační stanice TS1 se nachází v západní části budovy kuličárny pod číslem 34. Transformovna obsahuje pole kabelové smyčky, které je propojeno s přípojnici transformátorů pomocí odpojovače TLPA22 200/31 v poli č. 1 podélného dělení. Přívody kabelové smyčky jsou vedeny z TSH a TS2. Obě vedení jsou tvořena kabely HAKAS 3x185. Nachází se zde pět polí, kdy pole číslo 1 je využito k podélnému propojení s polem kabelové smyčky. Pole číslo 2 a 4 jsou nevystrojenými rezervami. Transformátor T7 s výkonem 1 MVA je napájen z pole č. 3. V poli se dle dostupné dokumentace nachází také odpojovač TLPA22, pojistky 63 A a odpojovač OKJ 631/52/8/MS. Transformátor T8 je napájen z pole č. 5 a pole je vybaveno odpojovačem TLPA22 a odpínačem ČDK VMC.

Celá transformační stanice TS1 bude demontována. Schéma zapojení její NN části nebylo pořízeno, nebyly k němu poskytnuty dokumenty, a tedy není předmětem této studie. Stanice a všechny obsluhované vývody se vyčleňují z nového návrhu rozvodné sítě.



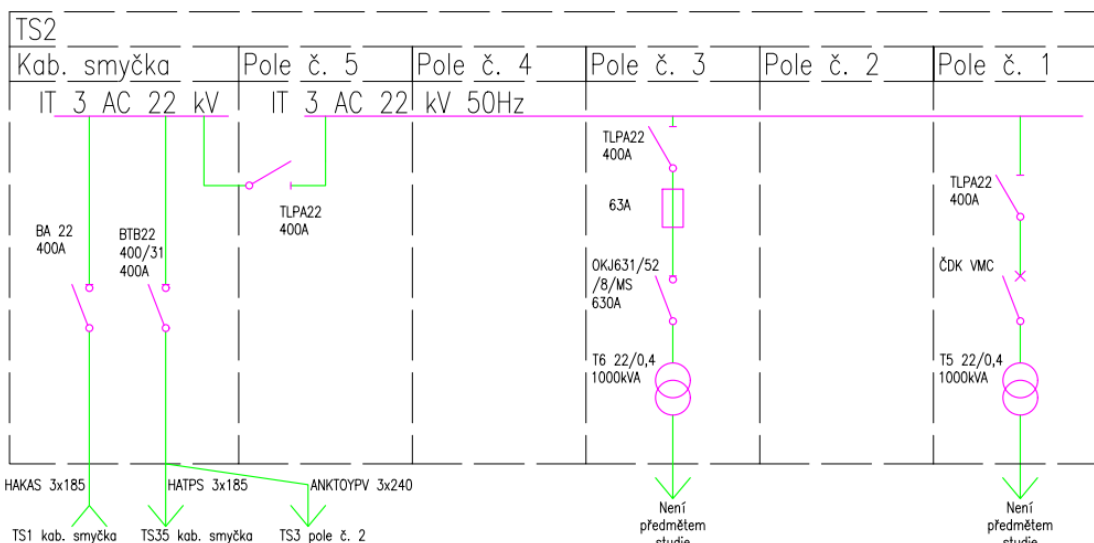
Obr. 4: Jednopolové schéma transformační stanice TS03 na hladině 22 kV

2.1.5 Transformační stanice TS2

Transformační stanice TS2 se nachází v budově kuličárny číslo 34 ve východní části. Tato transformační stanice je svým uspořádáním podobná předchozí stanici TS1. Přívodní kabelové vedení je přivedeno z transformační stanice TS1 a druhé je vedeno z TS35. Z pole kabelové smyčky navíc vede kabelové vedení, které paprskově napájí transformační stanici TS03, pomocí vedení ANKTOYPV 3x240.

V transformační stanici TS2 se nachází dva výkonové transformátory T5 a T6, každý o výkonu 1 MVA, které napájí přidruženou rozvodnu na hladině NN. V poslední revizní zprávě je uvedeno, že oba transformátory jsou v nevyhovujícím stavu a nejsou schopny bezpečného provozu. Stejně jako TS1, TS2 se stará o napájení části kuličárny budovy č. 34.

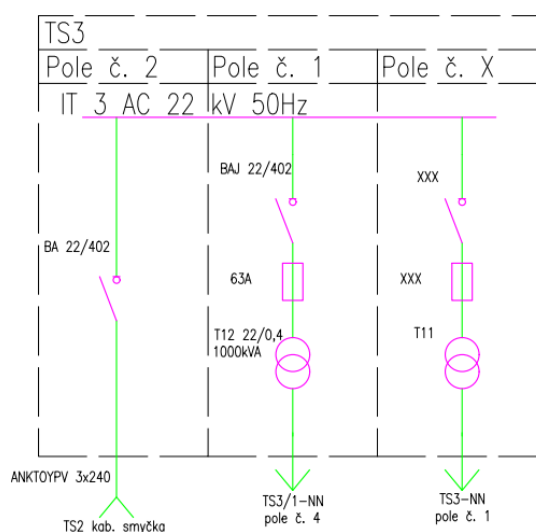
Celá transformační stanice TS2 bude demontována. Schéma zapojení její NN části nebylo pořízeno. Nebyly k němu poskytnuty dokumenty a není předmětem této studie. Stanice a všechny obsluhované vývody se vyčleňují z nového návrhu rozvodné sítě.



Obr. 5: Jednopolové schéma transformační stanice TS2 na hladině 22 kV

2.1 Transformační stanice TS03

Transformační stanice TS03 je součástí zděné budovy haly III (v dispozici s označením číslo 6). K transformační stanici TS3 patří přidružený zděný objekt TS3.1, kam je přiveden kabelový vývod z transformační stanice TS2. Vývod je tvořen kabely ANKTOYPV 3x240. Dle dokumentace se zde nacházejí dva transformátory T11 a T12. Oba transformátory mají nominální výkon 1 MVA. Dle pořízené fotodokumentace je evidentní, že transformátor T11 není osazen a provoz přidružené rozvodny na hladině 0,4 kV v transformační stanici TS03 je ukončen. Epoxidový transformátor T12 je stále v provozu a je doplněn na straně VN o odpínač BAJ 22/402.



Obr. 6: Jednopolové schéma transformační stanice TS03 na hladině 22 kV

Rozvodna na hladině 0,4 kV se také nalézá v budově TS3/1. Je zásadním vývodem pro napájení nové kalírny, která je součástí budovy č. 7.

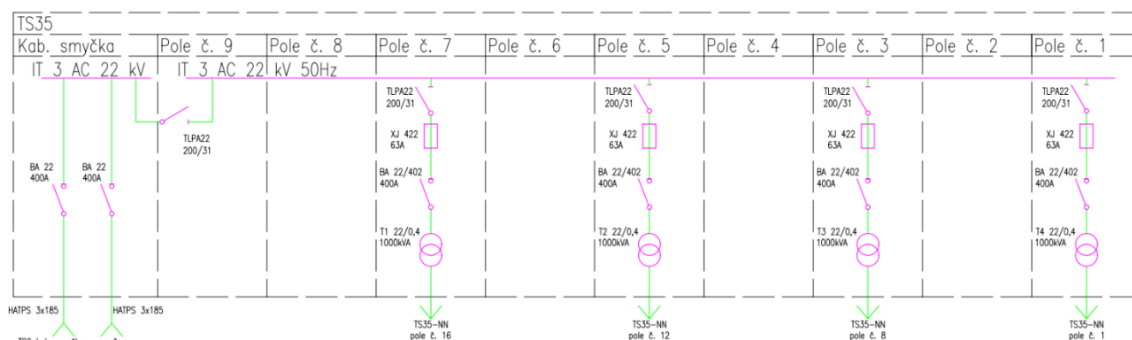
Schéma NN rozváděče trafostanice TS03 a TS3/1 je obsažen v Příloha U. Seznam jednotlivých polí rozvodny zobrazuje Příloha R.

2.1.1 TS35

Transformační stanice se nachází v prostorách výrobní haly s číslem 35. Jedná se o největší transformační stanici v areálu. Přívody kabelového vedení jsou napojeny do pole kabelové smyčky. První kabelový přívod je přiveden z transformační stanice TS2 a je tvořen kabely HATPS 3x185. Stejná sestava kabelů tvoří druhý přívod, a to ze spínací stanice ČEZ.

Díky poli č. 9 podélného dělení, disponuje kabelová smyčka stanice TS35 schopností propojení přívodního vedení bez připojení zbytku části transformovny k síti. Tuto sekci propojuje odpojovač TLPA 22 200/31 s přípojnicí napájející instalované transformátory.

Nacházejí se zde čtyři transformátory a jejich označení je T1, T2, T3 a T4. Společný transformační výkon je 4 MVA, kdy každý přispívá výkonem 1 MVA. Transformátory jsou napojeny na VN přípojnicí stanice přes odpojovače TLPA22 200/31, přes pojistky XJ 422 63A a odpínače BA 22/402.



Obr. 7: Jednopolové schéma transformační stanice TS35 na hladině 22 kV

Přidružená rozvodna na hladině NN disponuje 22 poli. Stará se o napájení výrobní haly budova číslo 35, budovy číslo 35.1 a budovy číslo 224 válečkové. Seznam osazení polí shrnuje Příloha S. Jednopolové schéma je vyobrazeno v příloze Příloha V.

Z fotodokumentace vyplývá, že pole číslo 21 a 22 jsou dodělány dodatečně. V dokumentaci rozvodny nejsou zaneseny vývody a z fotografií nelze určit popis.

Do přidružené rozvodny NN je také připojena fotovoltaická elektrárna o výkonu 980 kWp. V rozvodné části jsou instalovány střídače a ostatní potřebné prvky.

2.1.2 Stav zařízení v síti

Životnost většiny zařízení v síti se blíží ke konci nebo přesluhuje dobu svého životního

cyklu. Transformátory byly vyrobeny mezi lety 1961 a 1962. Stáří se mohlo podepsat na izolaci vedení. Jedná se o olejové transformátory, u kterých je kladen důraz na těsnost nádoby nejen z důvodu úniku oleje, ale i kvůli možnosti jeho kontaminace vodou.

Mnoho instalovaných ochranných, manipulačních a měřících prvků v elektrizační soustavě areálu je zastaralých, a to klade vyšší nároky na jejich údržbu. Pravděpodobnost selhání jejich primárních funkcí s opotřebením zdatelně roste.

Starší vypínače nelze skloubit s novějšími ochranami a tím klesá možnost zvýšení jejich bezpečnosti. Omezená dostupnost vyráběných pojistek na stávající instalované spodky komplikuje údržbu elektrizační soustavy. Nejzásadnější překážkou provozu stávající sítě je složitá údržba a servis stávajícího zařízení. Obtížně se shání náhradní díly na zařízení stará až 60 let včetně problémů s jejich servisem. Provozní náklady na udržení takovéto sítě v bezpečném a spolehlivém stavu jsou, nebo brzy budou za mezi únosnosti. Nově vybudovaná síť dle dnešních platných norem a standardů zlepšší spolehlivost, bezpečnost a sníží provozní náklady.

2.2 Současná spotřeba areálu

V rámci obeznámení se s chodem sítě byl poskytnut odběrový diagram areálu za rok 2023 a část roku 2024 do 17.7.2024. Vyhodnocení těchto dat je důležité pro vytvoření uceleného pohledu na současný provoz sítě a pro budoucí návrhy optimalizace provozu nové sítě. Dále ukáže vliv zprovozněné FVE o instalovaném výkonu 980 kWp.

Z celoročního odběrového diagramu vyplývá očekávatelný průběh sinusové křivky. V zimních měsících je odběr areálu s nejvyšším s maximem 2263 kW v roce 2023. Pokud tuto hodnotu srovnáme s hodnotou maximálního rezervovaného výkonu 2030 kW, jenž je zaslavně, zjistíme, že došlo k jeho značnému překročení ve 74 měřených čtvrtodinách. Z těchto porušení plynou postihy, které v součtu ročně přesahují milionové částky. V roce 2024 se stav zlepšil s prozatímním nejvyšším odběrem 2144 kW a bylo zjištěno pouze osm překročení. Tyto hodnoty ukazují, jak je důležité optimalizovat provoz hlavně během zimních měsíců. Minimální odběry během zimy se pohybují kolem 750 kW. V letních měsících není problém s překračováním rezervovaného výkonu, protože klesá maximální spotřeba pod 1500 kW a denní minima klesají pod 500 kW. V celoročním odběrovém diagramu dochází na přelomu července a srpna ke dvoutýdennímu výraznému snížení spotřeby z důvodu celopodnikové dovolené.

Předchozí analýza prvků sítě nám určila celkový transformační výkon v transformačních stanicích na 11 MVA. Při srovnání s velikostí maximálního odběru je viditelná značná dysbalance. Je tedy pravděpodobné, že nový návrh sítě bude optimalizován a dojde k zániku některých TS.

Týdenní odběrový diagram průmyslového areálu vykazuje pravidelný průběh zatížení s jasně rozpoznatelnými denními cykly. Pro porovnání jsou zde vyobrazeny dva obrázky Obr. 8 a Obr. 9. Znázorňují odběrový diagram vybraného týdne v lednu a v červenci pro daný rok. Během pracovních dnů dochází ke zvýšení odběru od brzkých ranních hodin.

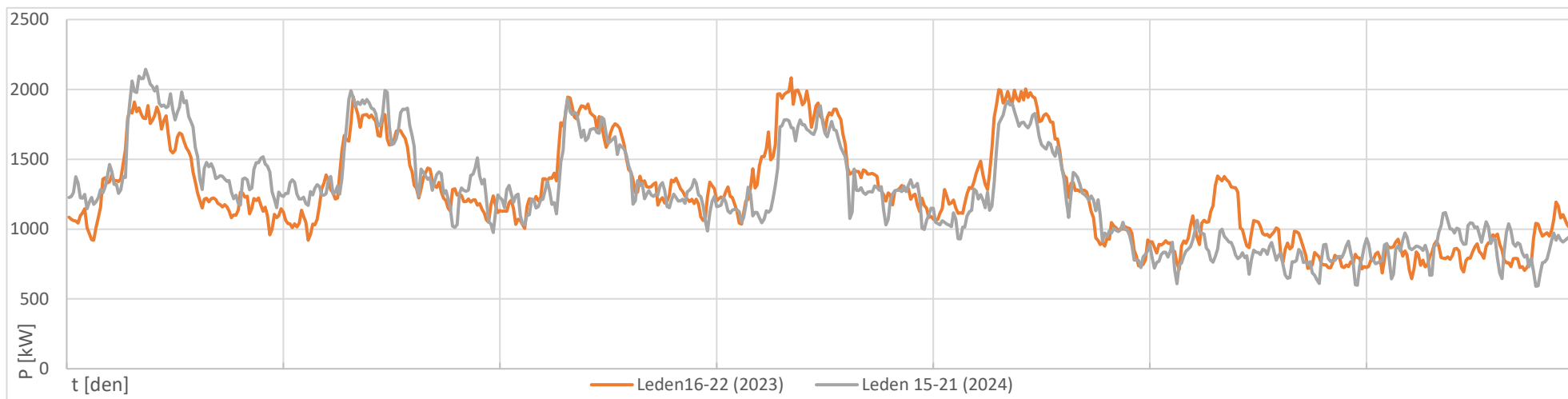
Přibližně od 6:00 začíná spotřeba strmě stoupat s vrcholem mezi 10:00–12:00 hodinou. Po poledni zatížení mírně klesá, avšak zůstává na vyšší úrovni až do pozdního odpoledne. Noční odběry jsou výrazně nižší, což ukazuje na omezený provoz mimo obvyklou pracovní dobu. Víkendové dny vykazují stabilní a podstatně nižší odběr.

Během června roku 2024 byla zprovozněna FVE o výkonu 980 kWp. Její vliv je viditelný na Obr. 9. Na diagramu jsou patrné výraznější propady odběru během dne, což odpovídá momentům, kdy je výkon fotovoltaické elektrárny na maximu. Naopak v roce 2023 tyto propady chybí a odběr je stabilnější, protože veškerá spotřeba byla pokryta z externí sítě. Noční spotřeba zůstává v obou letech přibližně stejná, jelikož FVE v těchto hodinách nevyrobí. Zajímavostí je minimální vliv na změnu průběhu během víkendu. Tento trend se vyskytuje při srovnání více týdnů stejně. Proto jsem vyloučil závislost na počasí. Z pohledu instalace plánovaných nových FVE je tu určitě prostor, aby se ještě více snížil odběr elektrické energie z distribuční sítě v době slunečních dní.

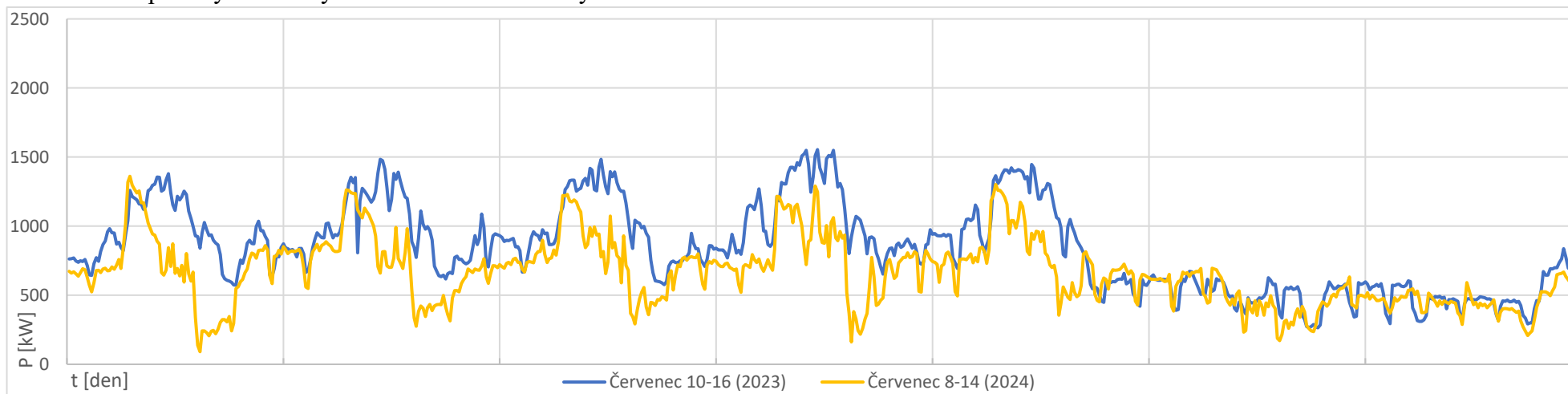
Celkově analýza odběrového diagramu ukazuje na stabilní a předvídatelné zatížení během pracovních dnů, což umožňuje efektivní plánování provozu a optimalizaci nákladů. Pro návrh nové sítě má analýza význam pro optimalizaci odběrů a pro případné zavedení opatření na snížení počtu odběrových špiček nad nasmlouvané maximum.

Pro plnohodnotný nový návrh sítě by bylo potřeba provést rozsáhlé měření spotřeby jak transformačních stanic, tak jednotlivých odběrů v čase. Dané měření by mělo trvat alespoň dva týdny. Nejlépe v zimním období, kdy je nejvyšší spotřeba elektrické energie v celém areálu.

Obr. 8: Graf spotřeby během vybraného lednového týdne



Obr. 9: Graf spotřeby během vybraného červencového týdne



3. NOVÝ STAV

Návrh nového stavu je rozdělen na dvě části. První část se zabývá optimálním návrhem zatížení transformátorů a jednotlivých kabelových tras. Podle výsledků optimálního zatížení byla navržena redukce jednotlivých transformačních stanic. Druhá část nového stavu se zaměřuje na řešení výkonové rezervy pro plánovanou novou čtvrť.

3.1 Napojení na distribuční síť

V novém návrhu se bod napojení na distribuční síť nezmění a je stejně proveden ve všech navrhovaných variantách. Napojení je provedeno v budově spínací stanice SS ČEZ. Zde je umístěno cejchované obchodní měření dvou vývodů, které napájí areál. Měřící přístroje jsou propojeny se stanicí SS01 v budově číslo 31 a tento objekt nebude podléhat demontáži. Zde jsou data zpracována pro obchodní měření příslušnou vyhodnocovací jednotkou. Vyvedené vedení následně vede do určených transformačních stanic dle zvolené varianty. Celá síť v areálu je ve všech variantách kruhová kromě varianty 3. Ta je napájena dvěma samostatnými vedeními.

3.2 Modernizace areálu

V areálu se nachází pět transformačních stanic 22/0,4 kV. S transformovnými TS1 a TS2 se pro nový návrh soustavy nepočítá. Zázemí rozvoden TSH, TS03 a TS35 s jejich přidruženými rozvodnami na hladině 0,4 kV lze využít pro nový návrh. Hodnoty odběru jednotlivých transformačních stanic vychází z předešlé části o stávajícím stavu sítě. Zpracovány jsou tři návrhy možností, jak by mohlo vypadat uspořádání nových transformačních stanic 22/0,4 kV.

Návrh počítá s instalací nových transformátorů, bez možnosti použít stávajících. Důvodem je jejich stáří a technický stav. Možnost repasovat transformátory tu je, ale studie s touto možností nepočítá. Instalovaný výkon osazených transformátorů je navrhován tak, aby se blížil hodnotě 50 – 60 % zatížení. Tato hodnota zatížení vychází ze standardního zatížení v energetice a zajišťuje výkonovou rezervu a hospodárny provoz s ohledem na pořizovací náklady a na ztráty v transformátoru. Hodnota je mírně nižší, než je standardní z důvodu rezervy pro budoucí možný rozvoj a modernizaci areálu. Druhým důvodem je potřeba rezervy pro stávající hodnotu odběru transformačních stanic z důvodu použité metody měření poskytnutých dat. Poskytnuté naměřené hodnoty ukazují pouze orientační hodnotu. Pro vypovídající data by mělo měření vycházet z delšího časového úseku, během kterého by byly hodnoty zaznamenávány. Změřené hodnoty, které byly pro účely této studie poskytnuty objednavatelem, jsou hodnotami okamžitými, jelikož byly změřeny v jednom okamžiku měření a nezohledňují „špičkový“ odběr daných vývodů.

Investorovi byl nabídnut pasport areálu společností JETPRO s.r.o., který by zahrnoval dlouhodobé měření (např. 1 měsíc) a zakreslení skutečného zapojení sítě areálu. Tato nabídka byla investorem odmítnuta.

3.2.1 Varianta 1

Varianta 1 uvažuje s revitalizací všech tří stávajících transformačních stanic. To by znamenalo zachování transformačních stanic TSH, TS03 a TS35. Stanice TSH má odběr dle poskytnutých dat 365 kVA s instalovaným transformačním výkonem 1000 kVA. Návrh počítá s osazením jednoho transformátoru o výkonu 630 kVA se zatížením 58 %. Důvodem snížení transformačního výkonu v rozvodně je nižší stávající odběr rozvodny, a tedy i využití transformátoru. Snížením transformačního výkonu na 630 kVA se zvýší procentuální zatížení transformátoru a omezí se přebytečná stávající rezerva.

Stejné řešení je navrženo i pro transformační stanici TS03 se spotřebou 300 kVA. Návrh pracuje s novým transformátorem 630 kVA se zatížením 48 %. Zachování transformačního výkonu na dnešní hodnotě 1000 kVA nemá v takové velikosti význam. Zatížitelnost transformátoru by byla na hodnotě 33 %, takto velká rezerva nemá opodstatnění z technického ani ekonomického hlediska. Význam by dávalo zachovat výkon v případě, že by se do stanice připojovala plánovaná fotovoltaická elektrárna. Na objektech číslo 6, 11, 16 je uvažováno s možností přidání fotovoltaických elektráren o celkovém instalovaném výkonu 750 kWp. Mohlo by dojít k přetěžování transformátoru o instalovaném výkonu 630 kVA při dodávání elektřiny do nadřazené sítě 22 kV a sníženém odběru v rozvodně TS03. K těmto okolnostem může dojít například ve víkendových dnech, kdy by se vyrobená energie v areálu prodávala do distribuční sítě. Druhým řešením je instalace řídicího systému do skříně AXY, která by ovládala střídače instalované FVE tak, aby transformátor v TS03 nebyl dlouhodobě přetěžován, ale aby zároveň FVE maximálně pokrývala vlastní spotřebu i v okolních transformačních stanicích.

Transformační stanice TS35 s odběrem 1330 kVA je dostatečně prostorná a dobře umístěna, aby její provoz byl zachován ve stávajícím rozsahu. Jsou navrženy dvě možnosti sestav transformátorů. První možností osazení dvěma transformátory, každý o výkonu 1250 kVA. Tomuto návrhu odpovídá zatížitelnost 53 %. Je zde dostatečná výkonová rezerva na budoucí možný rozvoj areálu. Druhou možností je použití dvou transformátorů 1000 kVA, tak jak je transformovna provozována v současné době. Se zachováním transformačního výkonu rozvodny hrozí komplikace při možném budoucím rozvoji hal a areálu, nebo Jižního parku.

Výhody tohoto řešení jsou ponechání stávajícího rozmístění transformačních stanic s přidruženými transformačními stanicemi. Není tedy nutno navrhovat umístění nových transformačních stanic a s tím spojená nutnost zastavění nového místa v areálu. Podobně se minimalizuje nutnost budovat nové kabelové trasy. Mohou se použít stávající trasy a pouze vyměnit stávající vodiče. Hlavní výhodou je zjednodušení návrhu a zhotovení těchto

vedení z důvodu kolizí s ostatními objekty. Tato varianta bude mít také nejlepší provozní vlastnosti ze všech třech navrhovaných variant. Důvodem je minimalizace provozních ztrát při přenosu výkonu na hladině nízkého napětí. Transformovny jsou umístěny blízko všech velkých odběrů a tedy vedení, které je napájí, je velmi krátké.

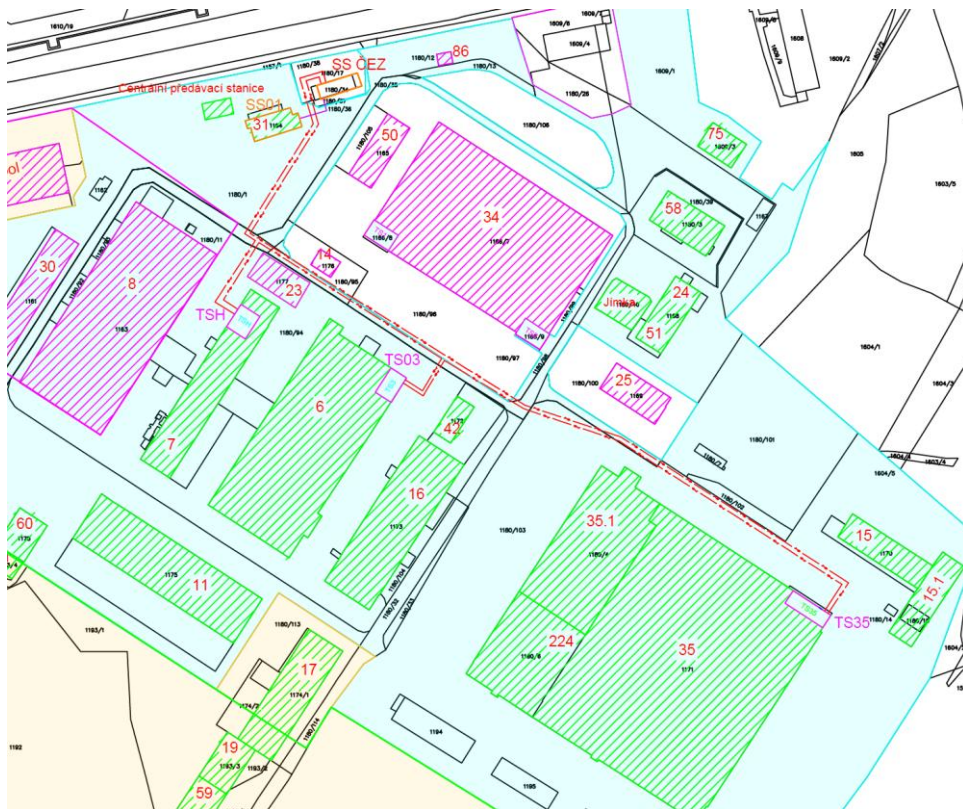
Nevýhodou je nutnost kompletně renovovat všechny stávající transformovny TSH, TS03 a TS35, což může zásadně komplikovat možnost provozu areálu při renovaci. S největší pravděpodobností by se v době rekonstrukce musela pozastavit výroba, protože v transformovnách TSH a TS35 by se muselo nahradit stávající vybavení.

Shrnutí informací a hodnot je znázorněno v Tab. 1.

Tab. 1: Shrnutí varianty 1

Transformovna	Varianta 1			
	TSH	TS03	TS35	
Návrh	1	1	1	2
Změřený odběr (kVA)	365	300	1330	1330
Výkon transformátoru (kVA)	630	630	1250	1000
Počet transformátorů (-)	1	1	2	2
Zatížení transformátorů (%)	58	48	53	67

V rámci varianty č. 1 by byly transformační stanice napájeny vysokým napětím ze dvou stran a tvořily tak okružní síť. První napájecí vedení VN by vedlo do transformační stanice TSH. Ze stanice TSH je navrženo vedení do transformační stanice TS03. Odtud by vedl propoj do transformační stanice TS35, do které je navrženo také druhé napájecí vedení. Na Obr. 10 je znázorněno umístění transformačních stanic a trasy navrhovaného kabelového vedení pro variantu 1.



Obr. 10: Zjednodušené zobrazení varianty 1

3.2.2 Varianta 2

Návrh počítá s dvěma transformačními stanicemi TS03 a TS35. Stanice TS3 by napájela spotřebu stávajících stanic TS3 a TSH s celkovým odběrem 665 kVA. Sloučené rozvodny jsou od sebe přibližně 75 m a tedy dává význam zachování pouze jedné transformační stanice. Výhodnější je zachovat stanici TS3 kvůli výhodnější poloze k budovám, kde by se měly realizovat fotovoltaické elektrárny o celkovém výkonu 750 kWp. Navrhovaný výkon nového transformátoru je 1250 kVA se zatížením stanice 53,2 %. Druhou možností je instalovat transformátor 1000 kVA jaký je již v rozvodně instalován. V této variantě nevzniká problém týkající se nedostatku transformačního výkonu pro možné plánované fotovoltaické elektrárny zapojené do přidružené rozvodny.

Aktuálně se v transformační stanici TS03 nachází celkem 10 rozváděčových polí NN, jejichž vývody jsou zrušeny. Demontáž NN polí vytvoří prostor pro instalaci nových rozváděčů NN, které by nahradily původní rozváděče NN z trafostanice TSH. To by znamenalo, že by trafostanice TS03 nově obstarávala napájení aktivních vývodů trafostanice TSH, pomocí nového transformátoru, a zároveň by obsahovala nové NN rozváděče, které by nahradily původní zastaralé ze stanice TSH. Stávající vývody z TS3/1 by se také přepojili do vzniklé rozvodny a veškeré vybavení transformovny by se demontovalo. Rozváděč NN stanice TSH by se po přepojení kompletně demontoval a vytvořil by se nový prostor. Přepojení by mohlo probíhat prakticky za provozu, pouze

s odstávkou při přepojení daných NN vývodů. Toto řešení má však zásadní komplikaci, kdy by bylo potřeba dohledat veškeré trasy stávajících NN vývodů ze stávající stanice TSH, aby se daly připravit trasy nové, které by vedly již od trafostanice TS03 do konkrétních napájených objektů. Bylo by tak potřeba vytvořit nové kabelové trasy pro celkem 11 až 14 kabelových vývodů NN. Chybějící dokumentace ke kabelovým trasám nízkého napětí komplikuje situaci.

Navržena byla varianta 2B která řeší tento nedostatek. Navrhuje zachovat rozvodnu pod trafostanicí TSH a vést do ní jedno silné vedení na hladině nízkého napětí. Vznikla by tak rozvodna nízkého napětí SSH. Napájení rozvodny SSH by bylo řešeno tak, že by se stávající transformátory odpojily a napájení do rozvodny SSH by bylo přivedeno pomocí silného kabelového vedení NN z trafostanice TS03. Tím vznikl značný prostor v rozvodně NN pod TS03, který se dá využít pro instalaci vybavení pro plánované fotovoltaické elektrárny. Varianta se tím vyhýbá problému dohledávání stávajících vývodů NN ze stanice TSH. Vytvořil by se pouze jedna kabelová trasa propojující stanice TS03 a SSH. Nevýhodou řešení je nutnost rozvodny SSH.

Technicky správným řešením je varianta 2, kde jsou zbudovány nové kabelové vedení od jednotlivých podružných rozvaděčů jednotlivých odběrů do rozvodny pod TS03. Nevýhodou je nutnost návrhu všech vedení a tím složitější realizace. Varianta 2B je jednodušší. Rozvodna SSH (dříve rozvodna NN stanice TSH) si zachová svoji funkci v plném rozsahu z toho plyne nevýhoda nutnosti modernizace a údržby další rozvodny. Výhodou je jednoduchost řešení a možnost revitalizovat VN síť dle nového návrhu bez velkých zásahů do rozvodů nízkého napětí.

S pravděpodobností by se ve trafostanici TS03 měla umístit kompenzace jalového výkonu, která také zabere několik polí v rozvodně NN. Je tedy potřeba počítat s dostatečnou rezervou v dané rozvodně. Stanice TS03 je rozsáhlá a toto rozšíření by nemělo vyžadovat zásadní rozšíření stávajících prostor.

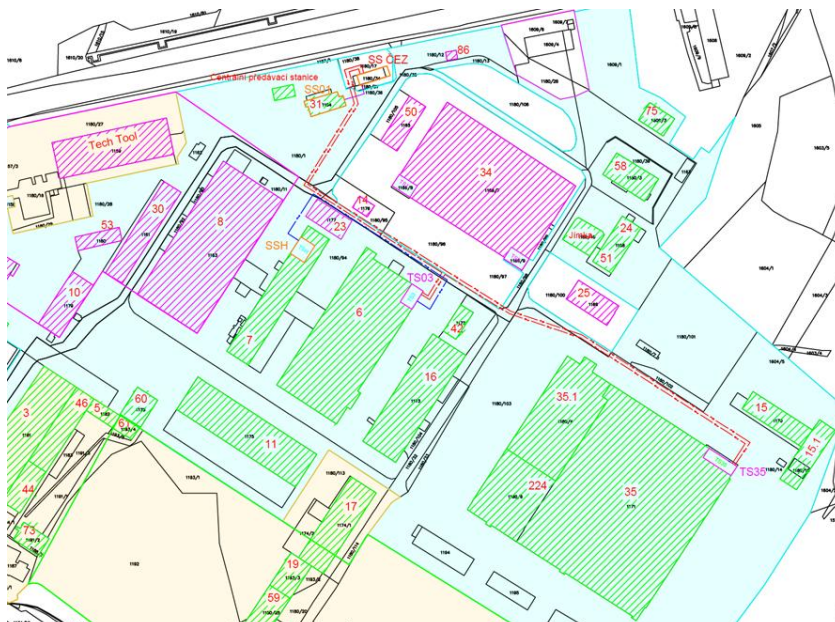
Trafostanice TS35 je řešena stejně jako v předešlé variantě, tady návrh plánuje osadit dva transformátory 1250 kVA se zatížením 53 % a s provozem přidružené rozvodny NN.

Tab. 2: Shrnutí varianty 2 a 2B

Transformovna	Varianta 2			
	TS03		TS35	
Návrh	1	2	1	2
Změřený odběr (kVA)	630	630	1330	1330
Výkon transformátoru (kVA)	1250	1000	1250	1000
Počet transformátorů (-)	1	1	2	2
Zatížení transformátorů (%)	50	63	53	67

V rámci varianty 2 by byla transformační stanice TS03 napájena přímo ze stanice SS ČEZ. Do stanice TS03 by bylo připojeno také VN vedení z transformační stanice

TS35. Druhé napájecí vedení vede z SS ČEZ do stanice TS35, tvořící tak okružní VN síť. Poloha transformačních stanic a trasy plánovaných kabelových tras je znázorněna na Obr. 11. Obrázek obsahuje i znázornění se zachovanou rozvodnou nízkého napětí SSH. Vedení vysokého napětí je vyznačeno červeně a vedení pro nízké napětí modře.



Obr. 11: Znázornění varianty 2 se zachovanou rozvodnou SSH

3.2.3 Varianta 3

Návrh uvažuje jednu centrální transformační stanici. Využity by byly prostory transformační stanice TS35, kde by byly umístěny všechny transformátory. Nevýhodou je její poloha na východním kraji areálu. Jelikož nemá rozvodna NN pod TS35 dostatek místa pro všechny potřebné vývody, které by měla převzít, museli by se zachovat stávající rozvodny nízkého napětí pod TSH a TS03. Označeny v situaci jako SSH a SS03. Druhou možností by bylo vybudovat nové rozvodny NN, ale to přináší komplikace na umístění. Více rozveden NN má také výhodu ve zkrácení jednotlivých kabelových tras. Kabelové vedení vedoucí k budovám napájeným dnes ze stanic TSH a TS03 by muselo být přes 230 metrů dlouhé a bylo by potřeba přenášet celkově výkon 1000 kW. Přenášet tyto velikosti výkonů na hladině nízkého napětí způsobuje velké provozní ztráty. S velkým přenášeným výkonem jsou spojené vysoké provozní teploty použitých kabelů, které komplikují návrh. Jednalo by se o vyšší jednotky paralelně zapojených kabelů, které by vedly do stávajících rozveden pod trafostanicemi TSH a TS03. V situaci na Obr. 12 jsou již vyznačeny jako rozvodny SSH a SS03. Vedení vysokého napětí je vyznačeno červeně a vedení pro nízké napětí modře. Vedení vysokého napětí je vyznačeno červeně a vedení pro nízké napětí modře.

Jedinou výhodou této varianty je provoz pouze jedné transformační stanice. Instalované tři transformátory splňují podmínku na zvýšenou bezpečnost N-1. Nevýhody

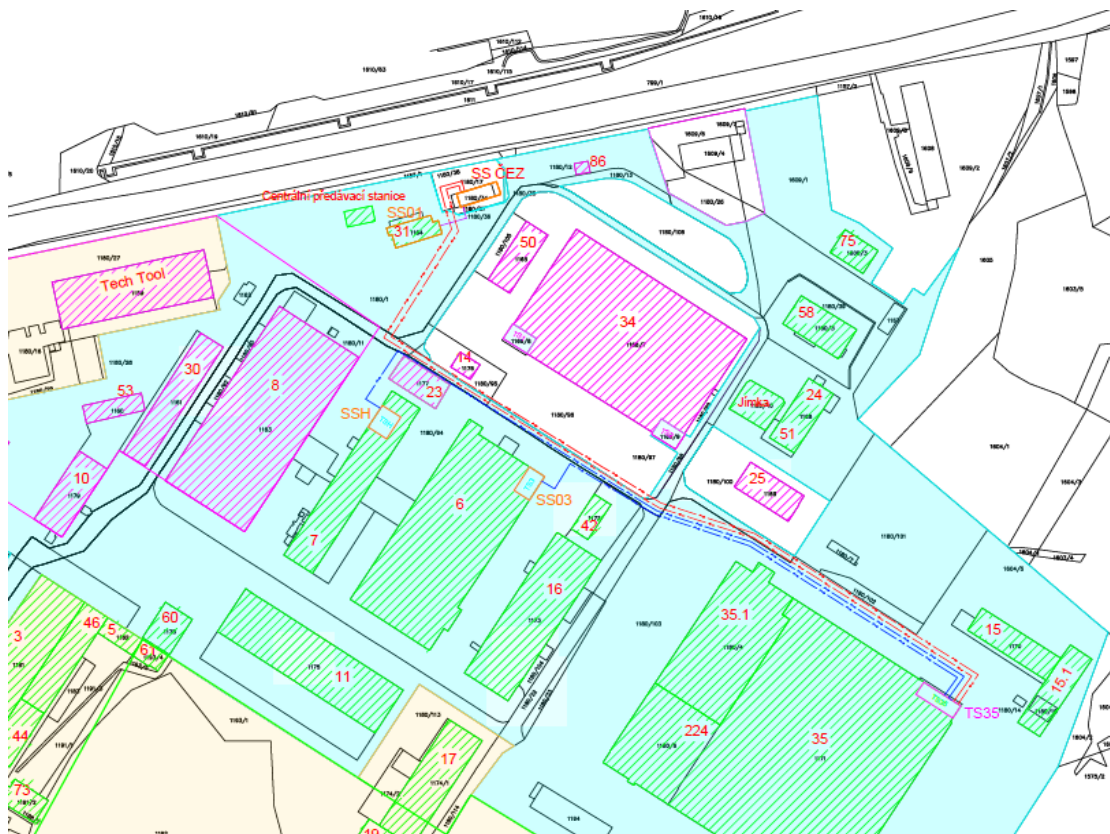
tohoto řešení je vybudování takto silných a dlouhých vedení znamená velké výkopové práce při realizaci. Přestože by se jednotlivá vedení skládali z více paralelních vodičů, jejich ztráty by byly značné a v dlouholetém provozu ekonomicky nevýhodné.

Tab. 3: Shrnutí varianty 3

Varianta 3			
Transformovna	TS 35		
Návrh	1	2	3
Změřený odběr (kVA)	1960	1960	1960
Výkon transformátoru (kVA)	1000	1250	1600
Počet transformátorů (-)	3	3	2
Zatížení transformátorů (%)	65,3	52,3	61,3

V rámci varianty č. 3 by bylo napájení transformační stanice TS35 provedeno dvěma vývody přímo z předávací stanice SS ČEZ. Každé vedení by mělo mít vlastní napojení s jističem na rozvaděč, aby byla zaručena základní rezerva v případě poruchy či servisu na zařízení ve stanici SS ČEZ.

Tato varianta byla zpracována na žádost investora.



Obr. 12: Vizualizace varianty 3

3.2.4 Doporučená varianta

Doporučeným návrhem je varianta 2. Snižuje počet stávajících transformačních stanic na dvě TS03 a TS35. Výhodou je snížení počtu realizovaných a provozovaných stanic čímž se sníží pořizovací a provozní náklady. Transformační stanice TS03 by převzala VN napájení za transformační stanicí TSH. Díky tomu by se dalo přepojit vývody a realizovat nové kabelové trasy do rozvodny NN pod TS03. Ve stanici by měl být instalován transformátor 1250 kVA. Pokud by se měla realizovat modernizace pouze sítě vysokého napětí je tu možnost využít návrhu varianty 2B. Tím by odpadla nutnost budovat nové rozvody nízkého napětí k jednotlivým podružným rozvaděčům. Zachování transformovny TS35 je zásadní pro současný provoz a poroto se sní počítalo ve všech třech variantách. Ve vybrané druhé variantě by měla projít zásadní modernizací. Instalovány by měly být dva transformátory o výkonu 1250 kVA. Přebudovány by měly být všechna pole na hladině vysokého napětí a rekonstruována přílehlá rozvodna NN. V rámci rozvodny TS35 by měla zůstat ve stávajících prostorách, a tedy bude nutno demontovat stávající vybavení. Pokud by se tomuto chtěl investor vyhnout musel by vybudovat blízko novou rozvodnu a po dokončení přepojit jednotlivé vývody.

4. NÁVRH NOVÉ ČTVRTI

Investor plánuje na části areálu vybudovat novou zástavbu obytných a komerčních budov. Tento záměr ovlivní i návrh revitalizace transformačních stanic v rozvodné síti. Návrh nové čtvrti je zobrazen na Obr. 13. Pomocí výpočtového zatížení všech odběrů čtvrtě a určení předpokládaného umístění nových TS se zjistí potřebný transformační výkon. Následně lze určit počet transformátorů v dané transformační stanici.

4.1 Stanovení výpočtového zatížení

Správný návrh elektrické sítě vyžaduje přesné stanovení výpočtového zatížení, což je proces zahrnující analýzu instalovaného výkonu, provozních charakteristik spotřebičů a způsobu jejich využití. Krok je zásadní pro dimenzování jednotlivých prvků elektrické sítě, jako jsou transformátory, kabelová vedení, rozvaděče a další zařízení, která ovlivňují spolehlivost a efektivitu sítě.

4.1.1 Normy

Výpočtové zatížení se vypočítává jako součin instalovaného výkonu všech spotřebičů a součinitele náročnosti. V případech, kdy nejsou dostupná přesná data o odběru, lze využít normy, jako jsou ČSN 34 1610 [1] pro průmyslové budovy nebo ČSN 33 2130 ed. 3 [2] pro obytné budovy. Poskytují možný postup určení potřebného výpočtového zatížení. Například v obytných budovách se používají třídy elektrizace, které zohledňují různé stupně využití elektrické energie, od jednoduchého osvětlení až po komplexní vytápěcí systémy. V průmyslovém sektoru se výpočtové hodnoty určují na základě charakteristik jednotlivých provozů a zařízení. Tento přístup zajišťuje, že prvky sítě budou dimenzovány správně a bezpečně pro očekávané provozní podmínky.

ČSN 33 2130 ed. 3 [2] klasifikuje bytových odběrných míst podle stupně elektrizace umožňuje efektivní návrh elektrických instalací, které odpovídají různým úrovním využití elektrické energie v domácnostech. Stupeň elektrizace A zahrnuje byty s minimálním odběrem, kde elektřina slouží pouze k osvětlení a napájení běžných spotřebičů s příkonem do 3,5 kVA a maximálním soudobým příkonem do 7 kW. Vyšší nároky na odběr pokrývá stupeň elektrizace B, který zahrnuje navíc spotřebiče určené pro vaření a pečení s příkonem nad 3,5 kVA, přičemž maximální soudobý příkon činí 11 kW. Nejvyšší kategorii představuje stupeň elektrizace C, který zahrnuje zařízení pro vytápění nebo klimatizaci, a je určen zejména pro domácnosti s vyšším odběrem, kde elektřina nahrazuje jiné zdroje tepla. Maximální výkon v této kategorii není pevně stanoven a závisí na návrhu projektanta. Stejná norma také uvádí, jak vypočítat s hodnota soudobosti pro určitý počet obytných jednotek a přikládá i tabulku pro základní počty.

Distribuční společnosti mají možnost upravit obecné rozdělení podle stupně elektrizace na základě svých zkušeností a dlouhodobých měření různých typů odběrů. Takto stanovené kategorie umožňují lépe reflektovat specifické potřeby odběratelů a přesněji dimenzovat připojení a infrastrukturu. Proto je v práci použita podniková norma společnosti Pražská energetika PN KA 101- ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ SÍTÍ NN [3]. Podniková norma stanovuje maximální soudobý příkon na vstupu do bytové jednotky či rodinného domu následovně.

4.1.2 Požité vzorce

Dle mapy a doplňujících informací od investora známe počty, plochu a druh užití daných budov. Hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5. Podniková norma PN KA 101 [3] stanovuje stejný výpočet pro obytné jednotky jako zmíněná norma ČSN. Výpočet se provádí pomocí vzorce.

$$P_p = n \cdot \beta_n \cdot P_b \quad (4-1)$$

Průmyslové a komerční budovy řeší podniková norma pomocí vzorce přímé úměry závislé dle zastavěné plochy dané budovy a jejího užití. Jednotlivé předpisy dle účelu jsou zobrazeny v Tab. 4. Hodnota A označuje plochu dané budovy.

Tab. 4: Výpočet maximálního zatížení nebytových odběrů [3]

Zařízení	Provozovny služeb	Sklady a výroba	Sklady a výroba	Hala
Typ účelu	Administrativní	Skladová	Skladová	Skladová
	Maloodběr podnikatelé	$S < 10000 \text{ m}^2$	$S < 10000 \text{ m}^2$	$S < 10000 \text{ m}^2$
P_p (kA)	$40 \cdot 0,02 \cdot A$	$52 \cdot 0,02 \cdot A$	$52 \cdot 0,02 \cdot A$	$52 \cdot 0,02 \cdot A$

4.1.1 Výpočtový proud

Po stanovení hodnoty výpočtového zatížení P_p je možné určit výpočtový proud I_p , který je klíčový pro návrh NN rozvodů a přívodních vedení na hladině VN. Dle ČSN 33 2130 ed. 3 [2] použijeme vztah:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad (4-2)$$

Neboť nemám údaje o středním účinníku při návrhu LDS budu uvažovat s nezanedbatelnou výší nárůstu spotřeby a její změny charakteru, budu uvažovat nejhorší přípustný účinník, tedy $\cos \varphi = 0,95$.

4.2 Nová čtvrť

Nově navrhovaná rozvodná síť má být připravena na plánovaný rozvoj areálu. V jižní části areálu investor plánuje vybudovat novou zástavbu obytných a komerčních budov. Tento záměr by měl být reflektován v novém návrhu a rozmístění transformačních stanic v rozvodné síti. Pomocí poskytnutého seznamu plánovaných budov se stanovilo výpočtové zatížení jednotlivých odběrů budov nové čtvrtě a určilo se možné umístění nových transformačních stanic. K transformačním stanicím jsou přiděleny jednotlivé odběry budov a je stanoven potřebný transformační výkon se zjistí potřebný transformační výkon. Návrh pokračuje optimálním osazením transformačních stanic transformátory.

4.2.1 Podklady pro novou čtvrť

Podkladními materiály pro tuto část projektu byl výpis počtu odhadovaných objektů, a to:

- 1) Bytové jednotky: 100 ks,
- 2) Rodinné domy: 15 ks,
- 3) Provozovny služeb do 100 m²: 10 ks,
- 4) Boxy pro skladování a drobnou výrobu (provozovny 250-400 m²): 10 ks,
- 5) Skladová hala/drobná výroba cca 1500 m² (cca 300 A): 3 ks.

Posledním podkladem pro novou čtvrť s pracovním názvem Jižní park je mapa na Obr. 13.



Obr. 13: Podkladní mapka k projektu Jižní park

4.2.2 Výpočet zatížení

Dle mapy a doplňujících informací od investora známe počty, plochu a druh užití daných budov. Hodnoty jsou uvedeny v Tab. 5.

Hodnota soudobého příkonu pro rodinné domy byla zařazena do kategorie C. Je velmi pravděpodobné, že rodinné domy budou vytápěny pomocí tepelného čerpadla nebo jiného elektrického zdroje tepla. U bytů je volba pro kategorii C těžší a hůře obhajitelná. Důvodem pro toto rozhodnutí je nedostatek informací, zda bude využita možnost centrálního vytápění nebo jiný typ zdroje tepla jako je např. plyn. Proto se počítá s nejhorsí možnou variantou.

Soudobost u bytů je určena dvakrát. Důvodem jsou varianty, kdy jsou všechny byty zapojeny do jedné TS nebo každá polovina do jiné transformační stanice. Pokud by nebyla provedena tato úprava, výsledné výpočtové zatížení skupiny by bylo menší a dopustili bychom se chyby.

V dnešní době nastupují elektrické automobily a je veliká pravděpodobnost jejich dominance v budoucnu. Proto se dnes nově budované čtvrti projektují už s přípravou na budoucí elektrické nabíjecí stanice automobilů. Podniková norma přidává za každou obytnou jednotku jeden kilowatt navíc pokud nejsou řešeny nabíjecí stanice jinak. Pravidlo bylo použito také u rodinných domů, kde je vysoká pravděpodobnost požadavků na instalaci vlastního nabíjení. Byty jsou řešeny spolu s komerčními budovami a sklady s možnou drobnou výrobou. Důvodem je plánované společné sdílené parkovacích míst.

Zvolen byl nabíjecí výkon 11 kW jedné nabíjecí stanice. To má své odůvodnění v dostatečné rychlosti nabíjení a ceně řešení. Nabíjení elektromobilu je možné během pracovního dne nebo v noci. Levné řešení je to proto, že není potřeba kupovat nabíjecí stanici s drahým usměrňovačem. Dnešní elektrická auta jsou čím dál více osazována vlastními měniči o podobném výkonu. Pro snížení potřebného příkonu se počítá s dálkovým omezením při překročení odběru. Pro toto řešení lze využít koeficient soudobosti počtu dobíjecích stanic a snížit tak nároky na připojení. Podniková norma [3] stanovuje stejnou hodnotu soudobosti jak pro 40 tak pro 80 nabíjecích stanic. Nevzniká tak problém jako u bytů.

Provozovny služeb byly posouzeny jako administrativní maloodběr podnikatelé účel. Obě varianty budov skladů a výroby jsou zařazeni do účelu skladová do velikosti plochy 10000 m². Komerční budovy jsou posouzený jako obchod.

Přehled typů a počtu budov s výsledky výpočtového proudu nalezneme v Tab. 5.

Tab. 5: Zjištěné hodnoty výpočtového zatížení pro jednotlivé typy budov

Zástavba	Dům	Byty	Byty	Elektrická nabíječka aut	Provozovny služeb	Skлады a výroba	Skлады a výroba	Hala
Počet (-)	15	100	2x50	2x40	10	5	5	3
Plocha (m ²)					100	250	400	1500
Koef. soudobosti β_n (-)	0,35	0,12	0,16	0,35	1	1	1	1
P_{IOM} (kW)	22+1	22	22	11				
Typ účelu					Administrativní	Skladová	Skladová	Obchody
					Maloodběr podnikatelé	S < 10000 m ²	S < 10000 m ²	
P_p (kW)	183,5	401,1	534,8	468,0	638,1	433,0	455,8	373,8
I_p (A)	120,8	264,0	352,0	308,0	420,0	285,0	300,0	246,0
P_{pl} (kW)	12,2	4,0	5,3	5,8	63,8	86,6	91,2	124,6
I_{pl} (A)	8,1	2,6	3,5	3,9	42,0	57,0	60,0	82,0

4.3 Počet TS a jejich transformační výkon

Počet a rozmístění transformačních stanic ovlivňuje mnoho faktorů. Hlavními jsou prostor, typ a charakter odběrů, nutnost spolehlivosti dodávky nebo třeba hustota zátěže v oblasti. Při návrhu počtu, velikosti a způsobu zapojení transformátorů je klíčové zajistit, aby jejich využití v běžných i poruchových provozních stavech nepřekročilo dovolenou přetížitelnost jednotek. Z tohoto důvodu je vhodné návrh řešit ve více variantách, které umožní porovnání různých konfigurací z hlediska spolehlivosti, ekonomiky a provozní flexibility.

Dle velikosti možné zastavěné plochy nové čtvrti a seznamu plánovaných budov lze uvažovat o variantě s jednou nebo se dvěma transformačními stanicemi. V návrhu je počítáno s použitím prefabrikovaných betonových trafostanic. V návrhu je počítáno s použitím prefabrikovaných betonových trafostanic. Omezení nastává u maximální velikosti uloženého trafo. Tato hodnota se často nahrazuje výkonem, jelikož velikosti transformátorů se řídí normami a standardy odpovídající jejich výkonu. Obvykle se vyrábějí se stáním pro transformátory o maximálním výkonu 1600 kVA.

Výhody použití jedné centrální trafostanice jsou jednodušší návrh, topologie sítě a levnější pořizovací náklady. Nevýhodou jsou delší kabelové trasy z čehož plynou větší ztráty na vedení, a tedy dražší dlouhodobý provoz i za předpokladu nižších ztrát na prázdno při provozu transformátorů.

Výhodou použití dvou transformačních stanic jsou menší ztráty na rozvodech, možnost přesunutí napájení některých stávajících budov a při výpadku jedné transformační stanice druhá část areálu má zajištěné napájení. Tím by se také zkrátily kabelové trasy a díky tomu provozní náklady. Nevýhodou je složitější návrh a vyšší pořizovací náklady.

Pro další postup ve druhé variantě bylo potřeba přiřazení jednotlivých odběrů dané trafostanici. Snahou bylo rozdělit odběr na dvě stejné poloviny. Přidělení jednotlivých odběrů je znázorněno Tab. 6.



Obr. 14: Mapa nové čtvrti s vyznačenými TS

Umístění trafostanic je vyznačeno na Obr. 14.

- 1) Červeně – varianta 1 s transformační stanicí TS06
- 2) Růžově – varianta 2 transformační stanice TS04 a TS05

4.3.1 Instalovaný výkon transformátorů v transformační stanici

Instalovaný výkon závodní trafostanice, tj. celkový instalovaný výkon všech transformátorů se stanoví ze vztahu [4]:

$$n_T = \frac{P_{pc}}{S_T \cdot \gamma \cdot \cos \varphi} \quad (4-3)$$

Koeficient využití transformátoru se volí s ohledem na budoucí rozšiřování a spolehlivost sítě.

Vzhledem k ekonomickým aspektům a zavedené praxi je obvykle zvolen transformátor s nejbližší vyšší hodnotou S_n nebo optimální počet pro dosažení výkonu. Při volbě jmenovitého výkonu jednoho transformátoru platí vzorec [4]:

$$n_T \cdot S_n \geq S_T \quad (4-4)$$

4.3.2 Výpočty výkonů transformační stanice

Výpočet je jednoduchým součtem výpočtového zatížení daného počtu a typu budov. Pro další postup ve druhé variantě bylo potřeba přiřazení jednotlivých odběrů dané trafostanici. Snahou bylo rozdělit odběr na dvě stejné poloviny

Tab. 6: Hodnoty výpočtového zatížení pro navržené trafostanice

Varianta	1			2					
TS	TS06			TS04			TS05		
Typ zástavby	Počet	P_p (kW)	I_p (A)	Počet	P_p (kW)	I_p (A)	Počet	P_p (kW)	I_p (A)
Dům	15	183,5	278,7	15	183,5	278,7	0	0,0	0,0
Byty	100	264,0	401,1	50	132,0	200,6	50	132,0	200,6
El. Nabíječky	80	308,0	468,0	40	154,0	234,0	40	154,0	234,0
Provozovny služeb	10	476,0	723,2	5	238,0	361,6	5	238,0	361,6
Sklady a výroba (250)	5	285,0	433,0	2	114,0	173,2	3	171,0	259,8
Sklady a výroba (400)	5	300,0	455,8	2	120,0	182,3	3	180,0	273,5
Hala	3	246,0	373,8	1	82,0	124,6	2	164,0	249,2
Celkem		2062,5	3133,6		1023,5	1555,0		1039,0	1578,6

Z takto získaných hodnot se dá dále vypočítat potřebný počet transformátorů pro osazení TS. Výpočet se provádí přes vzorec (4.3) pro jednotlivé trafostanice. Výkon transformátorů byl volen s ohledem na nabídky výrobců. Rozmezí výkonů bylo zvoleno od 800kVA do 1600kVA. Maximální zátěž transformátoru není nikde pevně stanovena a její volba je na projektantovi. Obvykle se pohybuje v hodnotách mezi 50 % až 80 %. Zvolena byla více konzervativní hodnota 55 %, z důvodu vysoké pravděpodobnosti budoucích změn v projektu. Všechny napájené budovy spadají do stupně 3. dodávky elektrické energie. Nebylo tedy potřeba splňovat podmínku N- 1 pro počet transformátorů v TS.

Tab. 7: Výpočet potřebného počtu transformátorů do TS

Varianta		1	2	
Určení počtu transformátorů		TS06	TS04	TS05
Parametry transformátorů	P_{pc} (kW)	2062,5	1023,5	1039,0
Při $S_i = 800$ kVA; $\cos \varphi = 0,95$; zatížení 55 %	Počet transformátorů	4,69	2,33	2,36
Při $S_i = 1000$ kVA; $\cos \varphi = 0,95$; zatížení 55 %		3,75	1,86	1,89
Při $S_i = 1250$ kVA; $\cos \varphi = 0,95$; zatížení 55 %		3,00	1,49	1,51
Při $S_i = 1600$ kVA; $\cos \varphi = 0,95$; zatížení 55 %		2,34	1,16	1,18

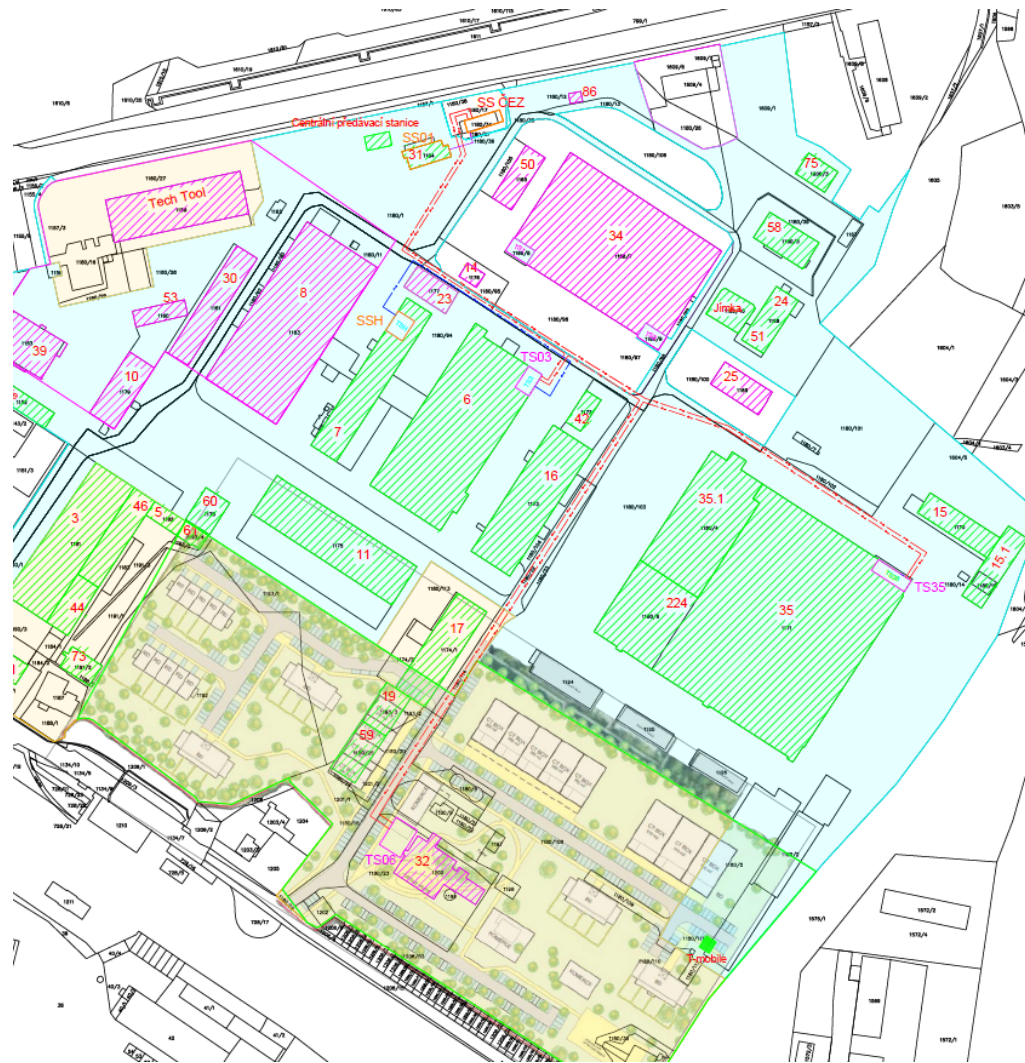
4.3.3 Posouzení variant transformační stanice

Pro první variantu, která počítá se stavbou jedné transformační stanice, by měly být použity tři transformátory každý o výkonu 1250 kVA. Za současných podmínek se toto řešení zdá být lepší z důvodu jednoduchosti řešení. Provoz jedné rozvodny má výhody při provozu a možnosti optimalizace provozu transformátorů. Kabelová vedení VN by se uložily do jedné kabelové trasy, tím se snižují náklady na realizaci. Jedinou nevýhodou je nutnost realizace delších vedení na hladině NN a s tím pokrytí dodatečných ztrát na nich vzniklé.

Ve variantě dvě vychází osazení transformačních stanic TS04 a TS05 dvěma transformátory o výkonu 1000 kVA. Tato varianta lépe reaguje na případné změny v návrhu nové čtvrti. Umožňuje přepojit blízké budovy s čísly 3, 11 a 17 do transformační stanice TS04, a tak lépe rozvrhnout nově navrhovanou síť.

4.4 Shrnutí doporučeného rozmístění transformačních stanic

Celkový návrh počítá s variantou dva pro stávající část areálu a umístění jedné rozvodny pro Jižní park. Varianta dva počítá s ponecháním rozvodny SSH v plném rozsahu, jelikož se jedná o nejpravděpodobnější variantu k realizaci. Návrh sítě je znázorněn na Obr. 15. Nová transformační stanice pro novou čtvrt' je označena jako TS06.



Obr. 15: Znárodnění umístění stanic dle doporučených variant stávající a nové části areálu

5. VÝBĚR KABELU NA PROPOJENÍ STANIC

Při návrhu a ukládání kabelů je třeba dbát na následující kritéria a tyto kritéria platí jak pro VN tak pro NN hladinu:

- **Tepelná odolnost** – vodič nesmí v provozu překročit dovolenou teplotu izolace
- **Hospodárnost** – průřez se volí s ohledem na minimální součet pořizovacích a provozních nákladů.
- **Úbytek napětí** – nedocházelo k příliš vysokým úbytkům napětí
- **Zkratová odolnost** – vodič musí vydržet tepelné a mechanické účinky zkratových proudů
- **Mechanická pevnost** – vodiče musí být odolné vůči tahu, ohybu a vibracím.

5.1 Mechanická pevnost

Mechanickou pevnost vedení nebyla určována z důvodu uložení kabelu přímo v zemi, a tedy není kabelové vedení zásadně mechanicky namáháno. U kabelových rozvodů jsou vodiče mechanicky namáhány zejména při pokládce kabelů, při zatahování vodičů do trubek apod. Pro větší mechanickou odolnost kabelu budou preferovaný typ kabelu se zesílenou izolací z důvodu pravděpodobného vedení kabelových tras pro vozovkou.

5.2 Hospodárnost

Hospodárnost průřezu navrhovaného kabelového vedení není stanovena z důvodu nedostatku dat o odběru. Jak už bylo zmíněno dříve, pro získání relevantních hodnot je potřeba provést rozsáhlé měření.

Vzorec pro určení hospodárného průřezu:

$$A = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T} \quad (5-1)$$

5.3 Tepelná odolnost

Výrobci kabelů sami udávají parametr proudové zatížitelnosti pro standartní normou stanovené typy uložení. V areálu se počítá s uložení kabelů do země v trojúhelníku. Průřez takovéto kabelové trasy je vyobrazen v Příloha D. Výrobci kabelů udávají proudovou zatížitelnost I_n pro uložení v hloubce 0,7 m s měrným tepelným odporem 0,7 K·m/W a teplotě země 20 °C. Uvedené hodnoty vycházejí a shodují se s nornou [7]. Hodnota tepelného odporu odpovídá standartním podmínkám ve střední Evropě. Použité hodnoty proudové zatížitelnosti kabelu pocházejí od zvoleného referenčního kabelu 22 – AXEKVCEY od výrobce NKX [8].

Jelikož je navrhovaná síť provedena do kruhu, tak dimenzované kabelové vedení musí dokázat přenést celou zátěž odběru areálu z obou stran napájení. Je to z důvodu možnosti odpojení jedné ze stran napájení z důvodu poruchy a údržby. Výpočtové zatížení má hodnotu 4023 kW odpovídající nové spotřebě areálu. Vedení mezi transformovkami TS35, TS06 a TS03 může být pravděpodobně na dimenzováno s nižším průřezem, ale z důvodu standardizace vybavení proběhla domluva s investorem na použití stejného kabelu i na tyto vedení.

Při teplotním dimenzování kabelového vedení musí platit vzorec [9]:

$$I_v \leq I_{dov} \leq I_n \quad (5-2)$$

Výpočet výpočtového proudu I_v :

$$I_v = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} = \frac{4023000}{\sqrt{3} \cdot 22000 \cdot 0,95} = 111,13 \text{ A} \quad (5-3)$$

Protože nemám údaje o účinníku, a protože také při návrhu LDS budu uvažovat nezanedbatelnou výši nárůstu spotřeby a její změny charakteru, budu uvažovat nejhorší přípustný účinník, tedy $\cos \varphi = 0,95$.

Materiál jádra byl zvolen hliník z důvodu nižších pořizovacích nákladů kabelu. Na izolaci kabelů určených pro napěťovou hladinu 22 kV se obvykle používají kabely s izolací ze zesíťovaného polyetylénu (XLPE), a tento typ bude použit i v tomto případě. Výhodou je vyšší teplotní odolnost na maximální provozní teplotě 90° oproti PVC s 70 °C [5].

Vzorec výpočtu dovoleného zatížení kabelového vedení:

$$I_{dov} = k \cdot I_n \quad (5-4)$$

Po konzultaci s pracovníkem JETPRO s.r.o. byl stanoven koeficient proudové rezervy k hodnotou 0,5. Rezerva je použita z důvodu možného zvýšení spotřeby nebo rozšíření areálu. Také poskytuje rezervu pro možný souběh dvou kabelových vedení. Pro ověření byly vybrány kabely s průřezy 70 a 95 mm². Výsledky jsou uvedeny v Tab. 8

Tab. 8: Určené hodnoty dovoleného zatížení kabelového vedení

Průřez (mm ²)	I_v (A)	I_{dov} (A)	I_n (A)
70	111,13	105	210
95	111,13	125,5	251

5.3.1 Vybraný referenční kabel

Na základě zjištěných hodnot byl vybrán kabel 22-AXEKVCEY 1x 95/16 pro další ověření návrhu. Kabelové vedení na hladině 22 kV se bude skládat ze tří kabelů, kdy každý přenáší jednu z fází sítě. Kabel disponuje měděným stíněním pro eliminaci elektromagnetického pole. Disponuje dvojitým pláštěm z polyvinylchloridu (PVC) a vnějším z polyethylenu (PE). Pro ověření dalších kritérií byl zvolen referenční kabel požadovaného typu od firmy NKT. Potřebné parametry kabelu jsou uvedeny v Tab. 9.

Tab. 9: Parametry vybraného referenčního vodiče [8]

Kabel	Činný odpor při 20°C (Ω/km)	Indukčnost v zemi paralelně (mH/km)	Kapacita ($\mu\text{F}/\text{km}$)
22-AXEKVCEY 1x 95/16	0,32	0,67	0,21

5.1 Uložení kabelových tras

Při ukládání kabelového vedení do země je třeba respektovat nejmenší dovolené odstupové vzdálenosti při křížení a souběhu sítí, společně s krytím daného vedení. Těmto tématům se věnuje ČSN 73 6005 [6]. Nejmenší dovolené krytí NN kabelů je ve vozovce 1 m a ve volném terénu 0,7 m. U VN kabelů jsou hloubky krytí 1 m. Konkrétní vzdálenosti mezi 22 kV VN a NN kabely jsou uvedeny níže.

- 22 kV VN kabel – 22 kV VN kabel: 200 mm
- 22 kV VN kabel – NN kabel: 200 mm
- NN kabel – NN kabel: 50 mm

Při ukládání do volného terénu se kabely, chráničky, žlaby ukládají na tzv. vyrovnávací vrstvu, která je vysoká min. 80 mm. Po položení se kabely obsypou pískem tak, aby krycí a boční obsyp byl silný min. 100 mm. Nad kabelovými trasami musí být ve výšce 200 mm uloženy výstražné fólie, které musí kabely přesahovat alespoň o 40 mm. Pro silové kabely norma ČSN 73 6006 [10] ukládá použít červenou fólii.

Vzorové řezy kabelových tras jsou znázorněny v Příloha D.

5.2 Úbytek napětí na vedení

V rámci distribučních sítí jsou obecně přípustné odchylky napětí $\pm 10\%$ jmenovité hodnoty [11]. Pod tuto odchylku spadá i úbytek napětí způsobený ztrátami na vedení. U vzdálených lokalit napájených na hladině NN lze uplatnit výjimku a zvětšit velikost odchylky. Ověření velikosti úbytku napětí v navrhované síti je provedeno přes výpočet ustáleného stavu sítě pro hraniční stavy navrhované sítě.

Ustálený stav rozvodných sítí označuje takový provozní režim, kdy v elektrickém zařízení neprobíhají přechodné jevy. Tyto přechodné jevy mohou být způsobeny například poruchami nebo manipulací jednotlivých částí sítě, změnou nastavení regulačních transformátorů nebo jinými rychlými změnami v síti. V praxi však ustálený stav v absolutním smyslu nenastává, protože zatížení připojených spotřebičů a výkon zdrojů se v čase dynamicky mění.

Výpočet ustáleného chodu obvykle zahrnuje simulaci maximálního a minimálního zatížení sítě a předpokládá symetrický provoz, což umožňuje zjednodušení analýzy na jednofázovou síť. Pro stanovení parametrů se využívají metody, jako je uzlová napěťová metoda nebo metoda smyčkových proudů. V praxi jsou odběry a dodávky elektřiny zadány pomocí činných a jalových výkonů a kvůli tomu se úloha komplikuje, jelikož se soustava rovnic stává nelineární, a proto pro její řešení musejí být použity iterační metody.

5.2.1 Výpočet ustáleného chodu jako nelineární úloha

Uzlové rovnice v soustavě jsou nelineární, protože hledaná uzlová napětí se vyskytují nejen jako neznámé ve vektoru, ale i ve jmenovateli rovnic na levé straně. Každá numerická metoda zpravidla začíná počátečním odhadem neznámých veličin. Tento odhad je vstupem do výpočetního algoritmu. Každý krok výpočtu, tzv. iterace, poskytuje nový odhad, který by měl být blíže skutečnému řešení. Starý odhad se nahrazuje novým a výpočet se opakuje, dokud se hodnoty mezi jednotlivými iteracemi nezačnou měnit jen nepatrně – což znamená, že bylo dosaženo tzv. konvergence. Aby bylo možné určit, kdy ke konvergenci došlo, porovnává se rozdíl mezi předchozí a novou hodnotou s předem zvolenou malou hodnotou tolerance ε . Pokud by výpočetní proces začal "kmitat" a hodnoty by se výrazně měnily, nastavuje se maximální počet iterací (p_{\max}), po jehož dosažení se výpočet zastaví.

Pro výpočet ustáleného chodu elektrické sítě se obvykle používají dvě osvědčené numerické metody:

- **Gauss-Seidelova metoda** – jednodušší, ale méně rychlá a stabilní při složitějších soustavách.
- **Newton-Raphsonova metoda** – výkonnější, rychleji konvergující a vhodná pro rozsáhlejší síť.

5.2.2 Klasifikace uzlů a podmínky určitosti chodu sítě

Ustálený chod je jednoznačně určen znalostí čtyř uzlových veličin: modul napětí U , úhel napětí φ , činný výkon P a jalový výkon Q . Uzly potom dělíme do následujících tříd podle:

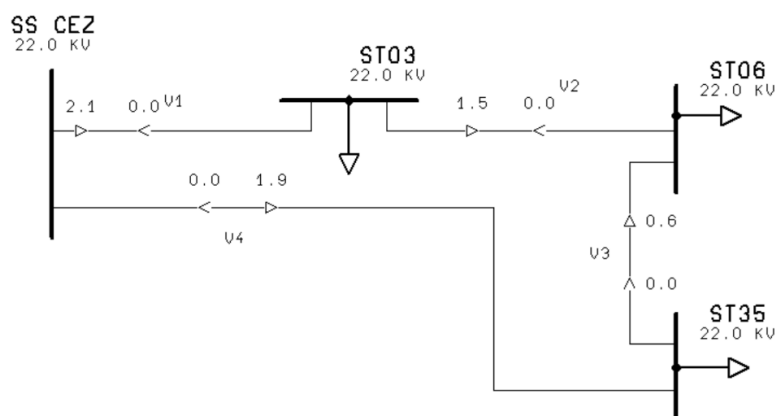
- **Třída (U, δ)** - bilanční uzel: je zadán napětím a jeho úhlem, dopočítává se činný a jalový výkon. Úkolem bilančního uzlu je zajistit rovnovážnou bilanci uzlových

výkonů a krýt ztráty v síti.

- **Třída (P, Q)** - uzly odběrové nebo zdrojové: je zadán činný a jalový výkon, dopočítáváme napětí a jeho úhel.
- **Třída (U, P)** - uzly regulační nebo kompenzační: je zadán činný výkon a modul napětí. Dopočítává se jalový výkon, který je potřebný k dodržení zadané hodnoty napětí. Dále se určuje ještě úhel tohoto napětí.

5.3 Výpočet v programu LUG

Samotný výpočet byl proveden pomocí programu LUG, který slouží pro simulaci chodu přenosových a distribučních sítí. Zde byl vytvořen model navrhované varianty rozvodné sítě VN v areálu. Model reflektuje mnou dříve vybraný kabel 22-AXEKVCEY 1x 95/16, která propojuje navrhované transformovny. Pro výpočet simulací byla využita iterační Gauss-Seidlovou metoda. Ukázka simulované sítě je vyobrazena na Obr. 16.



Obr. 16: Ukázka simulace ustáleného stavu navrhnuté sítě

Vzdálenosti jednotlivých vedení byly odečteny ze situační mapy pro variantu 2 z Příloha B. Typy použitých kabelů na vedení s délkami a parametry jednotlivých tras jsou zobrazeny v Tab. 10. Odběr jednotlivých transformačních stanic je nastaven na hodnoty výpočtového zatížení určených v předešlých kapitolách. Uzel stanice SS CEZ byl nastaven jako bilanční uzel. Ostatní uzly v síti byly nastaveny jako odběrové. Možná výroba z instalované FVE byla zanedbána z důvodu ověření nejhorších možných stavů.

Tab. 10: Parametry jednotlivých vedení v areálu [8]

Vedení	Kabel	Délka (m)	Činný odpor při 20°C (Ω/km)	Indukčnost v zemi (paralelně) (mH/km)	Kapacita ($\mu\text{F}/\text{km}$)
V1	3x 22-AXEKVCEY 1x95/16	200	0,32	0,67	0,21
V2	3x 22-AXEKVCEY 1x95/16	325	0,32	0,67	0,21
V3	3x 22-AXEKVCEY 1x95/16	430	0,32	0,67	0,21
V4	3x 22-AXEKVCEY 1x95/16	360	0,32	0,67	0,21

Prověřeny byly tři stavy provozu sítě. V prvním případě je síť provozována do kruhu a zbylé dva stavy provozují síť z každé strany kruhu jako jednu napájecí větev. Výsledky hodnot napětí pro jednotlivé stanice jsou zobrazeny v

Tab. 11. Pokles napětí v síti ve všech ověřovaných provozních stavech vyhovuje dodržení podmínky na odchylku do $\pm 10\%$. Pokles napětí je velmi malý z důvodu krátkých vzdáleností mezi stanicemi a žádná odběr stanic nemá zásadní velikost, aby způsobil razantní pokles napětí.

Tab. 11: Výsledky stanic ustáleného chodu navržené sítě

Stanice	Okružní režim		Napájení ze strany ST03		Napájení ze strany ST35	
	U (kV)	δ (°)	U (kV)	δ (°)	U (kV)	δ (°)
SS CEZ	22,000	0,000	22,000	0,000	22,000	0,000
ST03	21,994	-0,001	21,988	-0,013	21,959	-0,050
ST06	21,987	-0,015	21,972	-0,030	21,962	-0,042
ST35	21,990	-0,011	21,964	-0,040	21,979	-0,023

Simulace ukázala také proudové zatížení jednotlivých vedení při různých nastaveních provozu sítě. Výsledky jsou rozřazeny v Tab. 12. V tabulce nalezneme i hodnoty ztrát činného a jalového výkonu. Činné ztráty pro okružní síť jsou poloviční oproti zbylým variantám s celkovou hodnotou 2,04 kV. Hodnoty ztrát jalového výkonu jsou zásadně větší. Tyto ztráty jsou kapacitního charakteru a lze je kompenzovat. Kompenzace se provádí instalací dekompenzační tlumivky na hladině nízkého napětí. Celkové jalové ztráty se pohybují mezi 41,38 až 58,29 kvar mezi variantami. Navrženo je tedy umístit dvou dekompenzačních tlumivek. První tlumivka je umístěna v transformovně TS06 s kompenzačním výkonem 25 kvar. Druhá je umístěna v transformačním výkonem 20 kvar.

Tab. 12: Výsledky vedení ustáleného chodu navrhnuté sítě

Vedení	Okružní režim			Napájení ze strany ST03			Napájení ze strany ST35		
	I (A)	P_z (kW)	Q_z (kvar)	I (A)	P_z (kW)	Q_z (kvar)	I (A)	P_z (kW)	Q_z (kvar)
V1	56,13	0,6	-8,88	105,71	2,15	-8,24	0,00	0	0
V2	39,59	0,5	-14,62	89,16	2,48	-13,78	16,56	0,09	-14,75
V3	14,59	0,09	-19,57	34,95	0,5	-19,36	70,79	2,07	-18,72
V4	49,51	0,85	-16,07	0,00	0,00	0,00	105,73	3,86	-14,82

6. ZKRATOVÁ ODOLNOST

Zkrat je podle normy ČSN EN 60909-0 ed. 2 [12] definován jako „náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule“. Pro většinu zkratových výpočtů není nutné detailně analyzovat každý možný průběh zkratových proudů. Hlavním cílem projektantů a provozovatelů je zajistit, aby navržená zařízení spolehlivě a bezpečně plnila své funkce v reálných provozních podmínkách. Proto se obvykle pracuje s jednoduššími výpočty, jejichž výsledkem jsou charakteristické hodnoty zkratových proudů. Tyto parametry představují mezní hodnoty, které mohou zkratové proudy dosahovat v různých situacích.

Výsledné parametry zkratového proudu umožňují posoudit správné dimenzování ochranných prvků, vodičů a dalších komponent elektrické sítě. Používají se při navrhování ochranných systémů, při analýze stability sítě nebo při posuzování rizik spojených s přetížením a poruchami. Každý výpočet zkratů pro dimenzování elektrických zařízení by měl zahrnovat počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' . Jedná se o efektivní hodnotu střídavého zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu. Tento proud se používá při návrhu a kontrole mechanické odolnosti elektrických zařízení, jako jsou rozvaděče, přípojnicové systémy, kabely nebo transformátory. Správně navržené vedení musí odolat jak dynamickým, tak i tepelným účinkům zkratových proudů, které přicházejí v daném místě rozvodu v úvahu.

Řešení nesouměrných zkratů lze usnadnit rozkladem proudů a napětí na souměrné složky. Podstatou této metody je rozklad nesouměrného děje na několik jednoduchých souměrných dějů, které podle zákona superpozice můžeme opět složit do celkového děje nesouměrného.

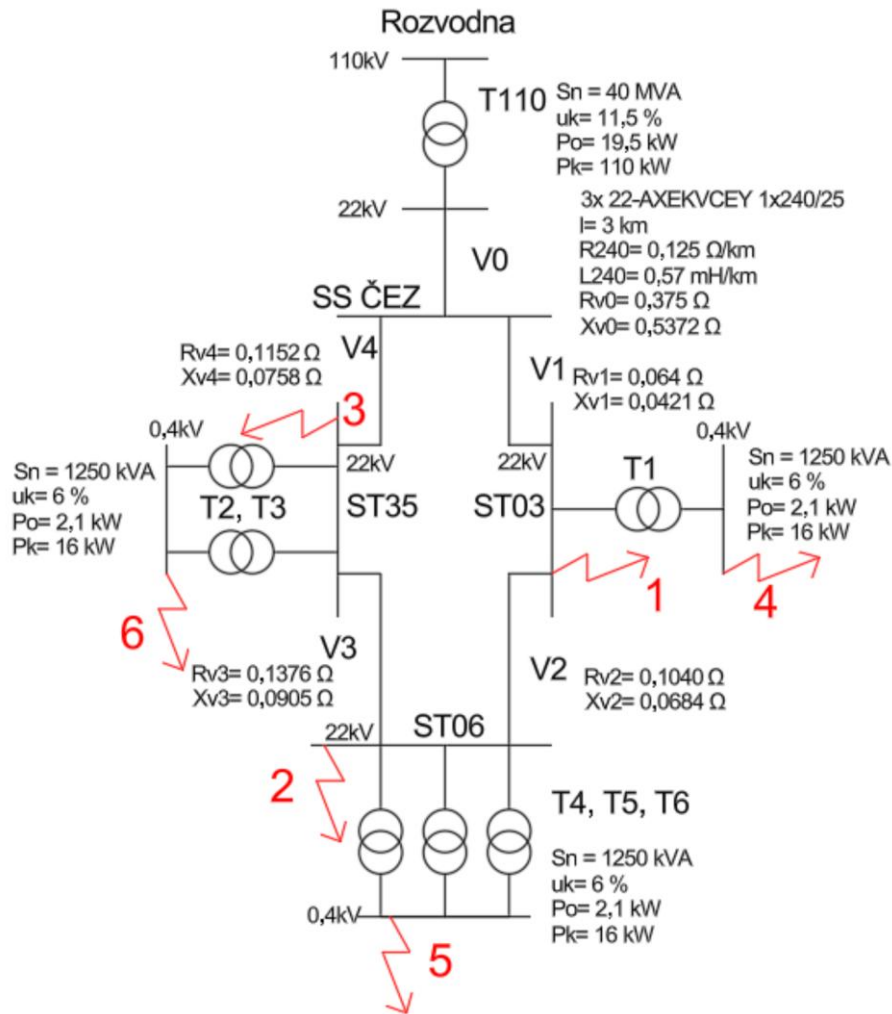
6.1 Výpočet zkratového proudu

Vztahy v této kapitole jsou převzaty z normy ČSN EN 60909-0 ed.2. [13], která se zabývá výpočtem zkratů. Metoda souměrných složek spočívá v nahrazení skutečné sítě zjednodušeným obvodem, ve kterém jsou jednotlivé prvky (generátory, transformátory, vedení, motory, spotřebiče) reprezentovány svými ekvivalentními impedancemi. Síť je tímto způsobem převedena do zjednodušeného schématu, které umožňuje výpočet zkratového proudu v místě poruchy.

Jelikož investor neposkytl informace o zkratových parametrech nadřazené sítě, do které je navrhovaná síť připojena. Byl přímo osloven provozovatel sítě ČEZ distribuce a.s., bohužel se zamítnutím žádosti. Bez těchto parametrů by se měl výpočet provést bez vlivu nadřazené sítě. Výsledky zkratového proudu by nabývali vysokých hodnot, na které by se mělo dimenzovat kabely a transformovny. Proto nadřazená síť je

zastoupena transformátorem T110 s výkonem 40 MVA a kabelovým vedením V0. Parametry těchto přidaných prvků jsou vyznačeny na Obr. 17.

Při výpočtech počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' navrhované sítě počítáme s nejhorsími stavy pro vznik zkratu. Navrhovaná síť lze provozovat jako okružní. To nese nevýhody při vzniku zkratu snížením impedance



Obr. 17: Zjednodušené jednopólového schéma ověřované sítě s vyznačenými místy zkratů

6.1.1 Vzorové výpočty pro jednotlivé prvky sítě

Pro získání potřebných parametrů jednotlivých prvků v prověřované síti byly zvoleny konkrétní zařízení. Technické parametry transformátoru T110 [14], transformátorů TOHn 408/22 1250 kVA [15] a vedení V0 3x 22-AXEKVCEY 1x 240/25 [8] byly učeny podle dohledaných dat.

Vzorový postup výpočtu impedance vedení V0

$$R_{v0} = R_{240} \cdot l_{v0} = 0,125 \cdot 3 = 0,375 \Omega \quad (6-1)$$

$$X_{v0} = 2\pi \cdot f \cdot L_{240} \cdot l_{v0} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,00057 \cdot 3 = 0,5372 \Omega \quad (6-2)$$

$$\bar{Z}_{v0} = R_{v0} + X_{v0} \cdot j = 0,375 + 0,5372j \Omega \quad (6-3)$$

Vzorový postup výpočtu impedance transformátoru T110

$$R_{t110} = P_{k110} \cdot \frac{U_n^2}{S_{t110}^2} = 110000 \cdot \frac{22000^2}{(40 \cdot 10^6)^2} = 0,0333 \Omega \quad (6-4)$$

$$Z_{t110} = u_{k110} \cdot \frac{U_n^2}{S_{t110}} = 0,115 \cdot \frac{22000^2}{40 \cdot 10^6} = 1,3915 \Omega \quad (6-5)$$

$$X_{t110} = \sqrt{Z_{t110}^2 - R_{t110}^2} = \sqrt{1,3915^2 - 0,0333^2} = 1,3911 \Omega \quad (6-6)$$

$$x_{t110} = \frac{X_{t110} \cdot S_{t110}}{U_n^2} = \frac{1,3911 \cdot 40 \cdot 10^6}{22000^2} = 0,115 \Omega \quad (6-7)$$

$$K_{t110} = 0,95 \cdot \frac{c_{\max}}{1 + (0,6 \cdot x_{t110})} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + (0,6 \cdot 0,115)} = 0,9779 \Omega \quad (6-8)$$

Impedanci souslednou, zpětnou i netočivou transformátorů je nutné při výpočtech korigovat pomocí součinitelů K_t . Kde x_t je poměrná reaktance transformátoru a c_{\max} se vybere pro jmenovité napětí sítě připojené ke straně nižšího napětí síťového transformátoru.

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{t110k} &= K_{t110} \cdot (R_{t110} + X_{t110} \cdot j) = 0,9779 \cdot (0,0333 + 1,3915 \cdot j) \\ &= 0,0336 + 1,4043j \Omega \end{aligned} \quad (6-9)$$

Elektrárenské bloky s plnovýkoným měničem se mohou zanedbat, pokud jejich příspěvek není větší než 5 % rázového zkratového proudu bez těchto elektrárenských bloků.[13] Toto pravidlo platí pro FVE 980 kWp umístěnou na budově číslo 35.

6.2 Ověřování místa zkratu

Nejhoršímu stav pro navrhovanou síť nastane, pokud by došlo ke zkratu na vedeních V1 nebo V2. O jistění těchto prvků se, ale starají hlavně jistící prvky ve stanici SS ČEZ.

Prvním prověřovaným místem označené číslem 1 je možný zkrat na přípojnících v transformovně TS03. Je to z důvodu blízkého napájení pomocí vedení V1. Zkratové impedance navrhované sítě tak bude nejnižší.

6.2.1 Výpočet celkové zkratové impedance pro místo zkratu 1

Pomocí pravidel pro sčítání sériově či paralelně řazených impedancí a s ohledem na místo, kde vznikl zkrat, jednotlivé impedance prvků sečteme.

$$\bar{Z}_{kcel1} = \bar{Z}_{t110k} + \bar{Z}_{v0} + \frac{\bar{Z}_{v1} \cdot (\bar{Z}_{v2} + \bar{Z}_{v3} + \bar{Z}_{v4})}{\bar{Z}_{v1} + \bar{Z}_{v2} + \bar{Z}_{v3} + \bar{Z}_{v4}}$$

$$\begin{aligned} & \bar{Z}_{kcel1} \\ &= (0,0336 + 1,4043j) + (0,375 + 0,5372j) \\ &+ \frac{(0,064 + 0,0421j) \cdot (1,04 + 0,0684j + 0,1376 + 0,0905j + 0,1152 + 0,0758j)}{(0,064 + 0,0421j) + (1,04 + 0,0684j + 0,1376 + 0,0905j + 0,1152 + 0,0758j)} \end{aligned}$$

$$\bar{Z}_{kcel1} = 0,4629 + 1,9772j \Omega \quad (6-10)$$

Výpočet 3-fázového počátečního souměrného rázového proudu v místě 1 I_{3k1}''

$$I_{3k1}'' = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\bar{Z}_{kcel1}|} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot |0,4629 + 1,9772j|} = 6,884 \text{ kA} \quad (6-11)$$

Získání hodnota I_{3k1}'' je v rámci reálných mezí. Jelikož pro výpočet byly doplněny prvky zastupující nadřazenou síť a ne reálné parametry, lze brát výsledek pouze orientačně. Tato hodnota bude použita nejen k ověření tepelných účinků na kabelové vedení na hladině VN, ale i pro návrh jisticích prvků v transformovnách a rozvaděčů VN.

6.2.2 Tepelné účinky zkratu navedení místě 1

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} se získá pomocí vzorce (6-12). Odpovídá tepelným účinkům skutečného zkratového proudu a používá se při výběru vodičů především kabelových, kvůli jejich náchylnosti izolace.

$$I_{th} = I_{3k1}'' \cdot \sqrt{m+n} = 6884 \cdot \sqrt{1} = 6,884 \text{ kA} \quad (6-12)$$

m – součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu (pro zválené zkraty má hodnotu 1)

n – součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu (záleží na hodnotě t_k)

Norma dále dovoluje pro vzdálené zkraty v distribučních sítích uvažovat $n = 1$ a pro zkraty vzdálené s dobou trvání větší jak 0,5 s pak položit součet $m + n = 1$. Přesné hodnoty součinitelů m a n lze zjistit z příslušných diagramů, které jsou součástí normy. Pro výpočet se počítalo se splněním podmínky, kdy platí $m + n = 1$.

Při dimenzování vodiče se určuje minimální průřez jader vodičů S_{\min} , při kterém nenastane ohřátí vodiče nad nejvyšší dovolenou teplotu vodiče při zkratu u_k . Rovnice výpočtu s podmínkou pro správná návrh (6-13). Navržený kabel obstál a splnil podmínku na účinky zkratového proudu.

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0(v_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{u_f + u_k}{u_f + u_z}}} \leq S$$

$$S_{\min} = \frac{6884 \cdot \sqrt{0,5}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,0294} \cdot \ln \frac{228 + 250}{228 + 90}}} \leq 95 \text{ mm}^2$$

$$S_{\min} = 53,4 \leq 95 \text{ mm}^2 \quad (6-13)$$

6.2.3 Dynamické účinky zkratu v místě jedna

Při průchodu zkratového proudu vznikají mezi fázovými vodiči a jejich konstrukcemi velmi silné elektromagnetické síly, které mohou způsobit mechanické deformace nebo poškození. Počáteční souměrný rázový proud reprezentuje okamžitou hodnotu zkratového proudu v čase jeho vzniku, zatímco nárazový zkratový proud i_p popisuje jeho maximální špičkovou hodnotu, která má vliv zejména na mechanické namáhání a elektromagnetické síly v obvodu.

Nárazový zkratový proud i_p je použit při ověřování dynamických účinků zkratového proudu. Vzorec pro výpočet i_p vyjadřuje rovnice (6-14). Nárazový zkratový proud je použit při výpočtu působící síly na vodič. Toto ověřování se týká hlavně přípojnic a rozvaděčů. Kabelového vedené je uloženo v zemi, která poskytuje dostatečnou oporu při působení sil.

$$i_{p1} = \sqrt{2} \cdot \kappa \cdot I_{3k1}'' = \sqrt{2} \cdot 1,506 \cdot 6884 = 14,657 \text{ kA} \quad (6-14)$$

Výpočet součinitele nárazového zkratového proudu κ

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3R_{kcel1}/X_{kcel1}} = 1,02 + 0,98e^{-3 \cdot 0,4629/1,9772} = 1,506 \quad (6-15)$$

6.2.4 Ověřování místa zkratu 2 a 3

Obdobným postupem byly stanoveny jednotlivé zkratové proudy i_p pro místo zkratu 2 a 3. Výsledky zkratových proudů pro všechny místa jsou zobrazeny v Tab. 13. Tyto hodnoty jsou dále použity pro výpočet zkratových proudů na hladině nízkého napětí.

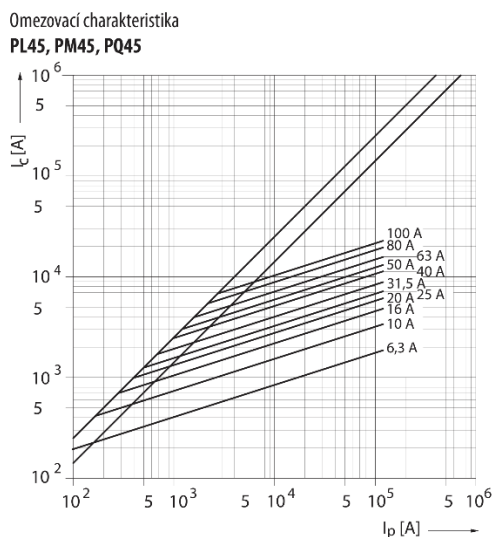
Tab. 13: Hodnoty zkratů v místě 1, 2 a 3

Místo zkratu	I_{3k}'' (kA)	i_p (kA)	X/R
1	6,884	14,657	4,271
2	6,745	14,095	3,941
3	6,795	14,296	4,056

6.2.5 Ověřování místa zkratu 4, 5 a 6

Na zjištění zkratů nacházející se za transformátory v rozvaděči NN jednotlivých transformačních stanic je použit výpočtový program Sichr. Hlavním účelem programu je návrh jištění rozvodů nízkého napětí. Výsledné hodnoty budou sloužit pro návrh rozvaděčů a ochran v rozvodnách NN.

Jelikož budou instalovány pojistky na jištění transformátorů bude omezena hodnota nárazového zkratového proudu i_p za pojistkou podle grafu na Obr. 18. Všechny transformátory budou jištěny pojistkami OEZ PM45 s jmenovitou hodnotou proudu 50 A a vypínací schopností 50 kA.[16] Jmenovitý proud pojistky byl zvolen dle doporučení výrobce pojistky odvíjející od výkonu jištěného transformátoru. Návrh počítá s transformátory TOHn 408/22 1250 kVA a tady určená pojistka bude použita u všech.



Obr. 18 Omezovací charakteristika pojistky PM45 [16]

Pomocí hodnot z Tab. 13 a přidáním správného počtu transformátorů a pojistek byly určeny zkratové proudy I_{3k}'' a i_p pro místa zkratu 4, 5 a 6. Výsledky se nacházejí v Tab. 14.

Tab. 14: Hodnoty zkratů v místě 4, 5 a 6

Místo zkratu	I_{3k}'' (kA)	i_p (kA)
1	27,9	60,2
2	83,4	180,0
3	55,7	120,0

Hodnoty zkratových proudů v místě zkratu 5 a 6 je vysoký. Je to z důvodu paralelního provozu transformátorů s připojením na jednu hlavní přípojnicí rozvaděče NN. To má za následek snížení impedance transformátorů při výpočtu zkratů. Aby se omezily velikosti zkratových proudů na přípojnicích je potřeba podélně rozpojit přípojnice a napájet určené pole rozvaděče samostatně. Více se této problematice bude věnovat další kapitola.

7. NÁVRH OSAZENÍ STANIC

V rámci návrhu nové sítě byl proveden návrh možného osazení polí rozvaděčů VN v transformačních stanicích. Vybavení rozvaděčů VN transformačních stanic je zpracováno v podobě jednopólového schématu, který představuje možné technické řešení. Na poli rozvaděčů vysokého napětí se pohybuje několik firem jako Siemens, ABB nebo Schneider Electric. Každý výrobce má několik řad rozvaděčů s různou možností osazení jednotlivých polí, proto nejde jednoznačně stanovit jedno nejlepší řešení. Stejně je tomu na poli použití jednotlivých ochran. Obecně jde říct, že rozvaděč, vybavení jednotlivých polí, zvolení ochran a jejich nastavení se obvykle řeší jako celek s výrobcem tohoto řešení. Navržené schéma rozvaděčů má přinést představu o možném řešení a možnost odhadu ceny pro celou realizaci sítě.

Volba použitého rozvaděče závisí na několika základních parametrech. Navržené rozvaděče by měly splňovat následující specifikace. Prvním je jmenovité napětí rozvaděče, které odpovídá síti, do které je připojen. V navrhovaném případě s jedná o síť 22 kV a pro tu se používají rozvaděče s jmenovitým napětím 24 kV. Druhým parametrem je jmenovitý proud hlavních přípojnic, který byl zvolen 630 A a jedná se o nejnižší standartně vyráběnou hodnotu. Přesto hodnota značně převyšuje hodnotu zjištěného maximálního zatěžujícího proudu dle Tab. 12.

Rozvaděč a jeho přípojnice by měly být schopny odolat zkratům v daném místě sítě. Odolnost je udávána hodnotami jmenovitého krátkodobého výdržného proudu a vrcholovou hodnotou proudu. První hodnota se porovnává a musí být vyšší než počáteční souměrný rázový proud I_k'' . Vrcholová hodnota proudu se porovnává s hodnotou nárazového zkratového proudu i_p . Hodnoty proudů, z kterých vycházíme jsou nízké, a tak vystačíme s nabídkou takzvaných sekundárních rozvaděčů. Ty mají nižší odolnost na zkratové účinky oproti primárním. Obvyklá hodnota sekundárních rozvaděčů jmenovitého krátkodobého výdržného proudu je 25 kA a pro vrcholovou hodnotu proudu 63 kA. Tyto parametry převyšují zjištěné hodnoty proudů.

Posledním kritériem by mělo být použití vzduchem izolovaných rozvaděčů z důvodu brzké platnosti nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/573 [17] ohledně použití fluorovaných skleníkových plynů. Od 1. ledna 2026 platí zákaz nových zařízení středního napětí do 24 kV obsahujících plyn SF₆.

Stejně nařízení platí i pro použití výkonových vypínačů používající plyn SF₆. Z tohoto důvodu by se mělo počítat s požitím vakuových vypínačů. Jejich určující parametry jsou stejné jako v případě rozvaděčů a obvykle mají i stejné hodnoty. To je důvodem, že navrhovaný vypínač má jmenovitou hodnotu proudu 630 A. Provozní hodnota je určena dle nastavení ochran pro dané umístění.

Možné řešení nabízí například rozvaděč SIMOSEC s vakuovým vypínačem typu 3AH5 od firmy Siemens.

7.1 Vybavení polí rozvaděčů

Navrhované rozvaděče VN jsou součástí transformačních stanic. Mají hlavní dvě funkce v síti. První funkcí je možnost nastavení provozu sítě při standardním provozu nebo reagovat přenastavením sítě v případě poruchy či revize zařízení. Druhá funkce je zajistit napájení a ochranu napájených transformátorů. Splnění těchto funkcí bylo hlavním kritériem při návrhu osazení jednotlivých polí rozvaděče VN.

Všechny transformační stanice jsou řešeny velmi podobně a liší se pouze počtem polí pro napájení transformátoru. Každé pole je vybaveno měřením proudu a napětí, které slouží ke sběru dat pro investora tak pro funkci ochrany. První dvě pole slouží k připojení přírodních kabelových vedení. Jsou osazeny vypínačem a třípolohovým odpínačem. Oba prvky jsou motorově ovládané. Třípolohový odpínač lze nahradit levnějším třípolohovým odpojovačem, ale při manipulaci v poli se instalovaný vypínač opotřebává.

Pole tři slouží k podélnému rozpojení hlavní přípojnice rozvaděče. Tím se odpojí pole napájející transformátory od polí s přírodním vedením. Díky tomu lze provozovat pole jedna a dva bez nutnosti mít pod napětím pole s vývody na transformátory.

Pole čtyři a dále slouží pro napájení transformátorů. Jsou vybaveny motorově ovládaným třípolohovým odpínačem a uzemňovačem. Mezi nimi jsou instalovány pojistkové podpěry s pojistkami. Toto řešení umožňuje rychlé a bezpečné řešení pro možnost rychlé výměny pojistek při poruše.

Poslední pole je přidáno jako rezerva pro budoucí možné použití. Příklad návrhu rozvaděče VN je vyobrazen v Příloha W.

Bezpečnostní a provozní kritérium N-1 na zálohu dodávky elektrické energie investor nepožadoval pro žádný odběr. Přesto transformační stanice TS06 splňuje tuto podmínku.

7.2 Rozvaděče NN

Návrh nových rozvaděčů NN byl konzultován s investorem a po domluvě nebyl vypracován. Pro optimalizovaný návrh rozvaděčů chybí dlouhodobá data odběrů. Rozvaděče by byly navrženy ve stávající konfiguraci se stávajícími hodnotami jistištění. Situaci komplikují neznámé osazení některých polí rozvaděčů, které byly při analýze stávajícího stavu nalezeny. V rozvaděčích je provozována kompenzace, ale nebyly poskytnuty její parametry.

Pro budoucí návrh rozvaděčů NN jsou důležité zjištěné zkratové poměry za výkonovými transformátory.

8. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá návrhem revitalizace napájecí sítě v průmyslovém výrobním areálu. Práce vznikla ve spolupráci s firmou JETPRO s.r.o., která výsledky této práce využije ve vznikající studii.

První kapitola práce seznamuje s průmyslovým areálem, kterého se revitalizace týká, a uvádí požadavky investora na nový návrh. Následuje detailní analýza současného stavu rozvodné sítě, včetně zpracování jednopólového schématu současného stavu sítě, vyhodnocení odběrů a technického stavu hlavních prvků sítě. Většina zařízení neodpovídá současným standardům a technickým požadavkům na provoz elektrické napájecí sítě. Současně bylo identifikováno překračování rezervovaného příkonu v zimních měsících.

Třetí kapitola se věnuje návrhu části nové sítě nahrazující v současnosti provozovanou napájecí síť areálu. Na základě získaných dat a požadavcích investora jsou navrženy tři varianty řešení. Každá varianta představuje jiný přístup k rozmístění transformačních stanic, výběru transformátorů a tras kabelového vedení. Důraz byl kladen na dosažení provozní efektivity, minimalizaci ztrát a připravenost na budoucí rozvoj. Doporučena byla varianta 2.

Řešení pro novou čtvrť Jižní park je navrženo v kapitole čtyři. Dle předloženého seznamu plánovaných budov je stanoven celkový výpočtový proud čtvrtě. Uvažováno je s dvěma variantami na počet a rozmístění transformačních stanic. Jako výhodnější je zvolena varianta 1. Závěr kapitoly čtyři se věnuje sloučení zvolených variant z kapitoly tři a čtyři do jednoho navrhovaného řešení. Nový návrh počítá se zachováním a rekonstrukcí transformačních stanic TS03 a TS35. Dále navrhuje vybudování nové transformační stanice TS06 pro napájení nové čtvrti. Jednotlivé stanice jsou propojeny kabelovým vedením do kruhové sítě.

Volbě kabelového vedení propojující jednotlivé stanice se věnuje kapitola pět. Navrhuje použít kabel 22-AXEKVCEY 1x 95/16 odvozený od proudového zatížení a podmínek jeho uložení. Pomocí simulace ustáleného stavu sítě byly ověřeny hodnoty úbytku napětí a ztráty na vedení pro optimální a hraniční stavy zapojení sítě.

Šestá kapitola se zabývá zkratovými poměry v navrhované síti. Stanovuje hodnoty jednotlivých zkratových proudů na vybraných místech sítě. Hodnoty jsou použity pro ověření zkratové odolnosti navrhovaného kabelového vedení.

Výběr rozvaděčů transformačních stanic a jejich vybavení je tématem kapitoly sedm. Návrh vychází ze zjištěných zkratových poměrů v síti. Řešení již respektuje nařízení Evropské rady o omezení použití plynu SF₆. Výsledky návrhu ukazuje vytvořené jednopólové schéma nové napájecí sítě pro napětíovou hladinu 22 kV.

Hlavními přínosy této práce jsou situační výkres areálu a zmíněné jednopólové schéma napájecí sítě. Vše je podloženo výpočty v souladu s příslušnými technickými normami ČSN. Výsledky práce budou použity jako výchozí dokument pro vznikající

studii pro investora. Práci lze také použít jako základní koncepční dokument pro další stupně projektové dokumentace. Přináší investorovy vhled do možného řešení revitalizace napájecí sítě areálu.

LITERATURA

- [1] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN 34 1610, *Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*. 1963.
- [2] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN 33 2130, *Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody*. Ed. č 4. 2024.
- [3] PRAŽSKÁ ENERGETIKA. PN KA 101, *ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ SÍTÍ NN*. Verze 4. 2022.
- [4] DOC. ING. ORSÁGOVÁ, PH.D., Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Skriptum. Brno: VUT-FEKT, 2015.
- [5] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN 33 2000-5-52, *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení*. Ed. 2. 2012.
- [6] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA. ČSN 73 6005, *Prostorové uspořádání vedení technického vybavení*. Ed. 1. 2020.
- [7] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN IEC 60287-3-1, *Elektrické kabely - Výpočet dovolených proudů - Část 3-1: Provozní podmínky - Místní referenční podmínky*. Ed. 1. 2019.
- [8] *Silové kabely s izolací ze zesíťného polyetylenu NKT cables: 22-AXEKVCEY*. Online. 2025. Dostupné také z: https://nkt.widen.net/content/tlg00rmu8x/pdf/22-AXEKVCEYDSCZENAPP_MV_DS_CS-EN.pdf?u=gj0n1y.
- [9] ING. MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektroenergetika 1*. Online. VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křižíka, 2016. ISBN 978-80-88058-81-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/260/03.html>. [cit. 2025-05-14].
- [10] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN 73 6006, *Výstražné fólie k identifikaci podzemních vedení technického vybavení*. Ed. 1. 2003.
- [11] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN EN 60038, *Jmenovitá napětí CENELEC*. Ed. 1. 2012.
- [12] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN EN 60909-0, *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. Ed. 2. 2016.
- [13] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA (ČSN). ČSN EN 60909-0 ED.2, *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách*. Ed. 2. 2016.
- [14] *Parametry transformátorů*. Online. Ostrava, 2000. Dostupné také z: https://feil.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/katalogy/parametry_transformatoru.pdf.

- [15] *Transformátory katalog: Transformátory.cz*. Online. Dyje, 2020. Dostupné také z: <https://transformatory.cz/files/file/souhrnny-katalog-KV.pdf>.
- [16] *Pojistkové vložky VN: OEZ*. Online. 2022. Dostupné také z: https://www.oez.cz/zbozi-prilohy/121746_0157-Z01-16_CZ_SK.pdf.
- [17] NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2024/573: o fluorovaných skleníkových plynech, o změně směrnice (EU) 2019/1937 a o zrušení nařízení (EU) č. 517/2014. In: . 2024. ISSN 1977-0626. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/573/oj>.

Seznam symbolů a zkratk

Zkratky:

FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	Vysoké učení technické v Brně
TS	Transformační stanice
SS	Spínací stanice
VN	Vysoké napětí
NN	Nízké napětí
FVE	Fotovoltaická elektrárna
ES	Elektrizační soustava

Symboly:

U	napětí	V
I	proud	A
P	činný výkon	W
S	zdánlivý výkon	VA
P_p	výpočtové zatížení	kW
n	počet jednotek	-
β_n	koeficient soudobosti	-
n_T	počet transformátorů	-
P_{ps}	výpočtový výkon odebíraný ze stanice	kW
S_T	transformační výkon	kVA
S_n	jmenovitý výkon jednoho transformátoru	kVA
$\cos\varphi$	účinnost výkonu jdoucího transformátoru	-
γ	koeficient využití transformátorů	-
P_p	výpočtové zatížení	kW
n	počet bytových jednotek	-
β_n	koeficient soudobosti	-
P_b	zatížení jedné bytové jednotky	kW
I_p	výpočtový proud	A
P_p	výpočtové zatížení	kW
U_s	sružené napětí	V
$\cos\varphi$	střední účinnost dané skupiny zařízení	-
I_{th}	ekvivalentní oteplovací proud	A
t_k	doba zkratu	s
ρ_{20}	rezistivita při 20°C	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
ϑ_f	fiktivní teplota	°C
ϑ_k	maximální dovolená teplota při zkratu	°C
ϑ_z	maximální dovolená teplota při provozu	°C
c_o	objemová hustota tepelné kapacity	J/(m ³ ·K)

κ	Součinitel nárazového zkratového proudu	-
I_v	výpočtový proud	A
I_{dov}	dovolené proudové zatížení	A
I_n	jmenovitá proudová zatížitelnost kabelu	A
n_T	<i>počet transformátorů</i>	-
γ	koeficient využití transformátorů	-
A	hospodárný průřez vodiče	mm ²
T	doba plných ztrát	s

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Stávající_stav.dwg
Příloha B	C.Situace.dwg
Příloha C	Odběrový diagram.xlsx
Příloha D	Vzorové řezy kabelových tras.pdf
Příloha E	Seznam vývodů NN.xlsx
Příloha F	Nový stav.pdf.pdf
Příloha G	Stávající stav NN_TS03+TS3_1.pdf
Příloha H	Stávající stav NN_TSH.pdf
Příloha I	Stávající stav NN_TS35.pdf
Příloha J	Stabilita_site.lug
Příloha K	C.situace_V1.pdf
Příloha L	C.situace_V2.pdf
Příloha M	C.situace_V2B.pdf
Příloha N	C.situace_V3.pdf
Příloha O	C.situace_V2B_TS6.pdf
Příloha P	C.situace_V2B_TS45.pdf

Zmíněné přílohy jsou uloženy zvlášť v souboru přílohy.zip

Příloha Q: Vývody přidružené rozvodny NN k transformační stanici TSH

Pole	Vývod	Jištění původní	Typ kabelu	Stav vývodu	Poskytnuté hodnoty zdánlivého výkonu transformátoru kVA
1	Požární signalizace	100 A	AYKY 4x16	Aktivní	0 A/0 kVA
	Rezerva			Zrušeno	
2	Objekt č.57+6	PH3 500 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	150A/104 kVA
	RM 05 II. Hala	PR3 400 A	AYKY 3x150+70	Ruší se	10 A/7 kVA
3	Obj.11 Sklad expedice	PR3 400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	25 A/17,3 kVA
	RM 10 III. Hala odstaveno	PR3 400 A	3xAYKY 3x240+120	Zrušeno	
4	Bernášek pronájem b. č.14	Deon 500A	AYKY 3x240+120	Ruší se	1 A/0,69 kVA
5	Dílna elektro	E33 60 A		Zrušeno	
	Ještěrky	E33 50 A		Zrušeno	
	Zásuvka 380V	25 A		Zrušeno	
	Litínový roz. mezi halami + Sklad výkovky mezi halami	PHO 100 A	2xAYKY 4x50	Zrušeno	
6	VŠÚ (Obj. 19. Hala I. č.3 tělocvična, Garáže, Olejovač I. Hala pravá strana	PH2 300 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	35 A/24,2 kVA
	RS 01 Nová kalírna č.7, RM1, RX1 Pračka RX2 L. Schwarz	PH2 350 A	3xAYKY 3x240+120	Aktivní	25 A/17,3 kVA
7	Prívod z T9			Aktivní	
8	RM 02 II. Hala č.8	PR 630 A	2xAYKY 3x240+120	Ruší se	
	RM4 Kalírna (obj. č. 7	PH3 630 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
9	Rezerva odpojeno		2xAYKY 3x240+120	Zrušeno	
	Objekt č. 57 Koudelka+ č. 6 Hala III.	400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
	RM12 Vyvážedka III. Hala odpojeno	PR 350 A	2xAYKY 3x240+120	Zrušeno	
10	Kompenzace			Neznámý	
11	Kompenzace			Neznámý	
12	Kompenzace			Neznámý	
13	Kompenzace			Neznámý	
14	Kompenzace			Neznámý	
15	Kompenzace			Neznámý	
16	Kompenzace			Neznámý	
17	RS 02 II. Hala č.8	PR3 300 A	AYKY 3x240+120	Ruší se	
	Rezerva odpojeno		ANKABV 3x240+120	Zrušeno	
	Rezerva odpojeno		ANKABV 3x240+120	Zrušeno	
18	RM 01 II. Hala č.8	PH 500 A	AYKY 3x240+120	Zrušeno	
	RM 10 OSV. III. Hala č. 6	PH1 250 A	AYKY 3x240+120	Zrušeno	
	RS 01 II. Hala č.8	PR 300 A	AYKY 3x240+120	Ruší se	50 A/34,6 kVA

19	BOS I. Hala č.3	500 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	130A/90,1kVA
	Kalírna nástrojů	PH 300 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
20	Přívod z T10			Vypnuto	
21	Správní budova č.1	PR 400 A	2xAYKY 3x150+70	Aktivní	80 A/55,4 kVA
	Kanceláře, zdravotní středisko č. 73	100 A	AYKY 3x150+70	Aktivní	20 A/13,9 kVA

Příloha R: Vývody přidružené rozvodny NN k transformační stanici TS3/1 a TS3

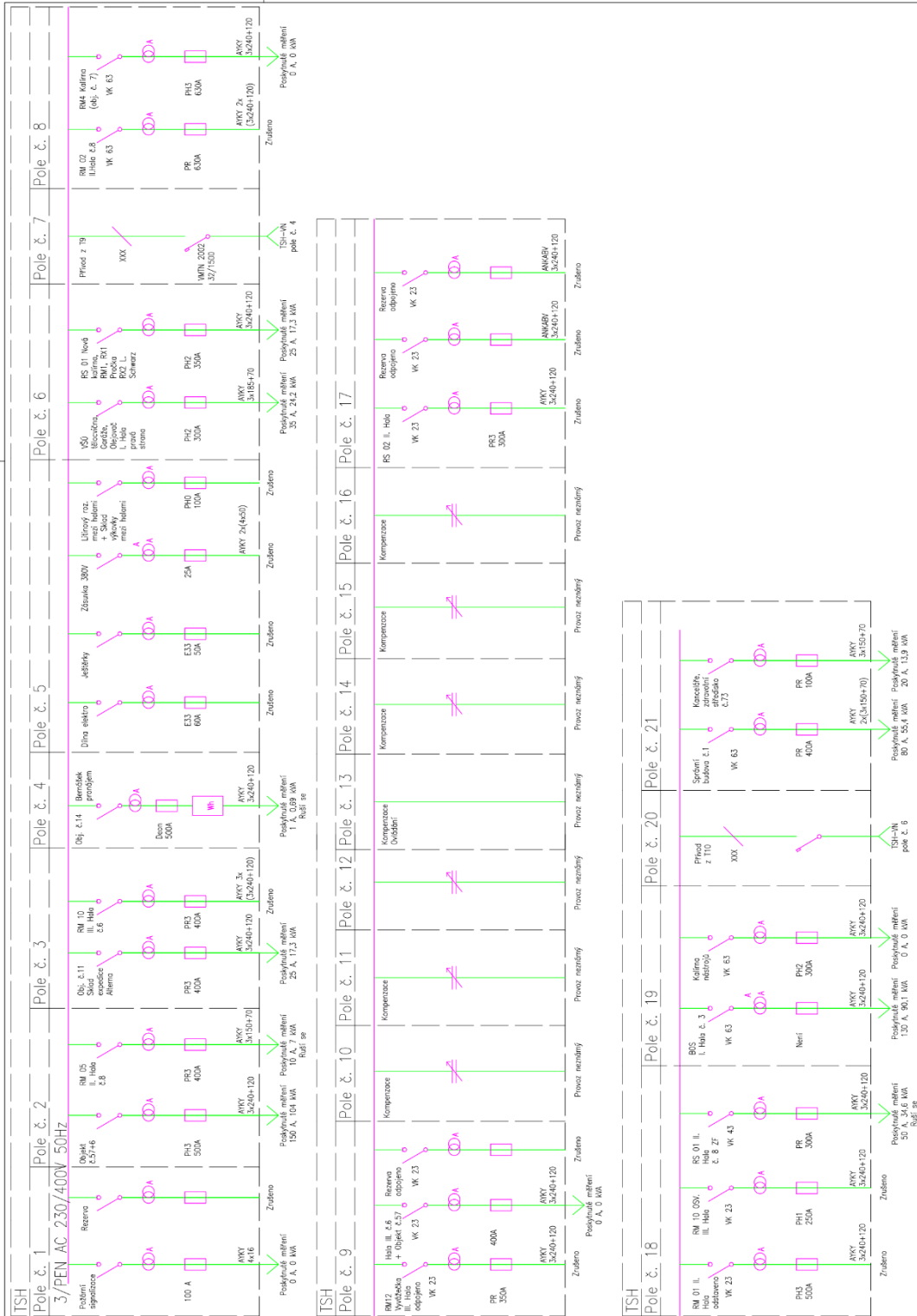
Pole	Vývod	Jištění	Typ kabelového vývodu	Stav	Poskytnuté hodnoty
NN rozváděč TS3/1					
1	Kalírna č.7	800 A	3xAYKY 3x150+70	Aktivní	400 A/277,1 kVA
2	Centrální lisovna č.42	400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	25 A/17,3 kVA
	VO spodní část firmy č. 17+ 19+ 59	B63/3	AYKY 4x16	Aktivní	10 A/6,9 kVA
	Nezjištěno	B32/3	AYKY 4x10	Aktivní	0 A/0 kVA
3	Rezerva			Zrušeno	
	Rezerva			Zrušeno	
	Rezerva			Zrušeno	
4	Přívod z T12			Aktivní	
NN rozváděč TS03					
1	Přívod z T11			Zrušeno	
2	RM1			Zrušeno	
	RM5			Zrušeno	
3	RM4			Zrušeno	
	RM3			Zrušeno	
4	RM2			Zrušeno	
	Rezerva			Zrušeno	
5	Pračka PUP			Zrušeno	
	Rezerva			Zrušeno	
6	Rezerva			Zrušeno	
	Zkušebna ložisek č.3			Zrušeno	
	Dílna motor			Zrušeno	
	Veřejné osvětlení			Zrušeno	
K1	Kompenzace ovládání			Zrušeno	
K2	Kompenzace			Zrušeno	
K3	Kompenzace			Zrušeno	
K4	Kompenzace			Zrušeno	

Příloha S: Seznam polí přidružené NN rozvodny NN k TS35

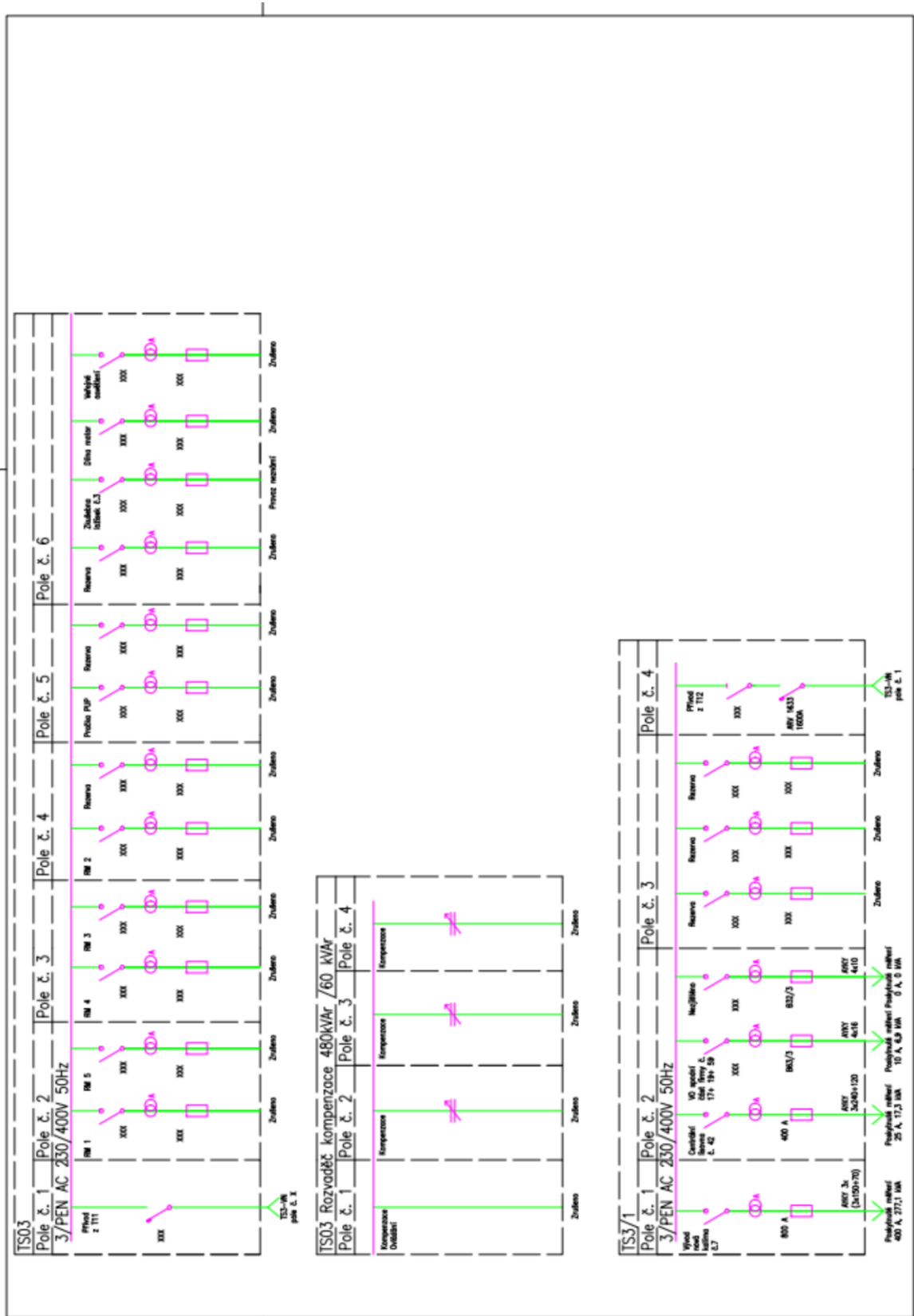
Pole	Vývod	Jištění	Typ kabelového vývodu	Stav	Poskytnuté měření zdánlivého výkonu transformátoru kVA
1	Přívod z T4			Aktivní	
2	Kompresorová stanice bud. č.25	1000 A	AYKY 3x240+120	Ruší se	
3	Podélné dělení			Aktivní	
4	TO Sekce 4	JF400 300 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	100 A/69,3 kVA
	Řada 32-32 Sekce 1 TO	JF400 300 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	30 A/20,8 kVA
	Odkalovač suterén RM 30	JF400 200 A		Aktivní	20 A/13,9 kVA
	Vymontováno	JP100 63 A		Zrušeno	
5	Klimatizace RM 31	JF400 250 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	140 A/97 kVA
	Klimatizace RM 32	JF400 200 A	AYKY 3x150+70	Aktivní	0 A/0 kVA
	RM 1a Montáž+agregát	F 630 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	20 A/13,9 kVA
	Pračka ložisek	F 200 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
6	RM 4,5 Brusné povrchy	JF400 250 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	12 A/8,3 kVA
	RM 3 Brusné povrchy	JF400 300 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
	RM 2 Klimatizace třískové hosp.	JF400 225 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
	TO Sekce 3	300 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	70 A/48,5 kVA
7	Kalírna HS 35 RM6	JF400 100 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
	RM 1.10 Fazoňáky MO32	400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	35 A/24,2 kVA
	RM 1.9 Fazoňák	JF400 400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	30 A/20,7 kVA
8	Přívod z T3			Vypnuto	
9	Podélné dělení			Aktivní	
10	RS01	Pojistka 100 A	AYKY 4x50	Aktivní	0 A/0 kVA
	VO RVO 01	Pojistka 80 A	AYKY 4x50	Aktivní	32 A/22,2 kVA
	ROT Osvětlené HS 35	Pojistka 35 A	AYKY 4x6	Aktivní	12 A/8,3 kVA
	Zásuvky 400/32A	Jistič B32/3	AYKY 4x6	Aktivní	0 A/0 kVA
	Kalové čerpadlo kab. Kanál	Pojistka 10 A	AYKY 4x2,5	Aktivní	0 A/0 kVA
11	RS 01 Osvětlení haly	JF400 400 A	AYKY 4x70	Aktivní	16 A/11,1 kVA
	RS 02 Osvětlení haly	JF400 400 A	AYKY 4x90	Aktivní	16 A/11,1 kVA
	RS 03 Osvětlení haly	JF400 200 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	40 A/27,7 kVA
	RS 03 Osvětlení haly	JF600 200 A	AYKY 4x90	Aktivní	18 A/12,47 kVA
	Automaty sekce 6a	JF600 630 A	2xAYKY 3x240+70	Zrušeno	
12	Přívod z T2			Vypnuto	
13	Nový šínovod	JF600 200 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	1 A/0,69 kVA
	Kosema Filtrace kalů	JF600 400 A	AYKY 3x185+95	Aktivní	170 A/117,8 kVA
	Pračka Finnsonic	JF600 160 A	AYKY 3x240+70	Aktivní	5 A/3,46 kVA
	Pec	JF600 400 A	AYKY 3x150+70	Aktivní	0 A/0 kVA

14	Dílna	JF400 125 A	AYKY 4x50	Aktivní	15 A/10,39 kVA
	Pračka ložisek TO	JF400 300 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
	MO-SP50 Sekce 8a	JF400 400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	5 A/3,46 kVA
	MO-SP50 Sekce 8	JF400 160 A		Zrušeno	
15	Podélné dělení			Aktivní	
16	Přívod z T1			Aktivní	
17	RIS 1, MPB 30	JF400 125 A		Zrušeno	
	T0 32 Sekce 2	JF400 300 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	55 A/38,1 kVA
	RM 8 Sklad hořlavin (bud. č.15/15.1		AYKY 4x35	Aktivní	0 A/0 kVA
	RM 8 Sklad hořlavin (bud. č.15/15.1	JF400 50 A	AYKY 4x50	Aktivní	7 A/4,85 kVA
18	MO-SP50 Sekce 7/ Nová linka (bud č.224	JF600 630 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	125 A/86,6 kVA
	MO-SP50 Sekce 7a	JF400 400 A	2xAYKY 3x240+70	Zrušeno	
	Dopravníky RM 29	JF600 400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	7 A/4,85 kVA
	Ultrazvuk Pračka TO	JF400 400 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	100 A/69,3 kVA
19	R01	Pojistka 200 A	AYKY 3x240+120	Aktivní	60 A/41,56 kVA
	T0 32-33 RM 1.3	Pojistka 250 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	70 A/48,5 kVA
20	TO strany a povrchy RM 1.4	Pojistka 630 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	0 A/0 kVA
	TO strany a povrchy RM 1.5	Pojistka 630 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	50 A/34,64 kVA
	TO 32-33 RM 1.2	Pojistka 400 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	65 A/45 kVA
	TO RM 1.1 TO	Pojistka 350 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	70 A/48,5 kVA
21	Kompresorovna RM 1.6	Pojistka 630 A	2xAYKY 3x240+120	Aktivní	380 A/263,3 kVA
	Neznámý			Zrušeno	
22	Neznámý			Zrušeno	
	Neznámý			Zrušeno	
FVE	FVE 980 kWp			Aktivní	

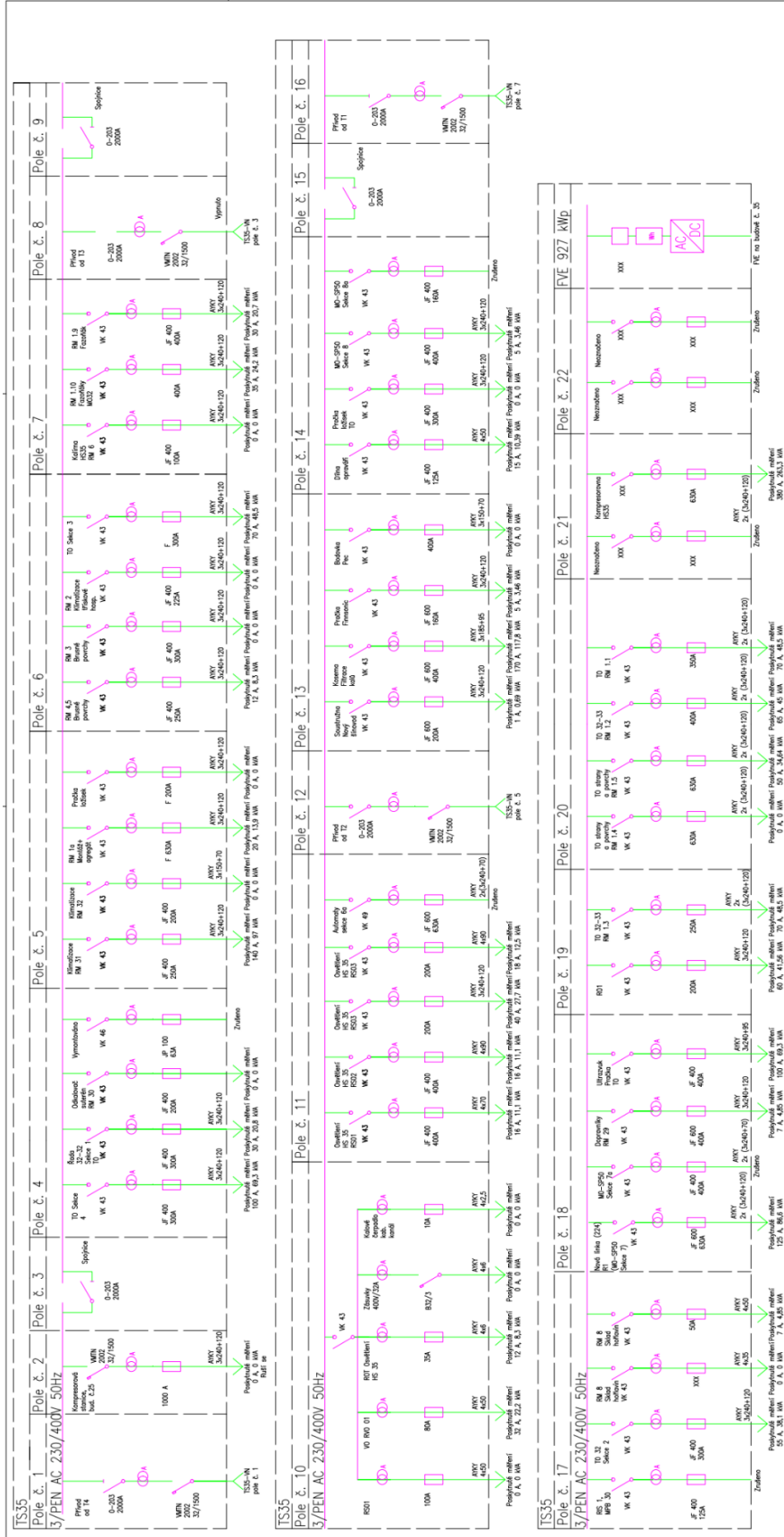
Příloha T: Jednopolové schéma rozváděče NN TSH



Příloha U: Jednopolové schéma rozváděče NN TS3/1 a TS3



Příloha V: Jednopolové schéma rozváděče NN TS35



Příloha W: Ukázka navrhnutého rozvaděče VN TS35

