



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH TRANSFORMAČNÍ STANICE PRO VYVEDENÍ VÝKONU Z KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

DESIGN THE TRANSFORMER STATION FOR THE OUTGOING POWER OF COGENERATION
UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAROSLAV PASTOREK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAVA ORSÁGOVÁ,
Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Jaroslav Pastorek

ID: 112055

Ročník: 2

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Návrh transformační stanice pro vyvedení výkonu z kogenerační jednotky

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Stanovení instalovaného výkonu a návrh transformátoru s ohledem na provozní vlastnosti zdroje.
2. Návrh rozváděče vn a hlavních rozvodů nn.
3. Návrh ochrany sítě v souladu s PPDS.
4. Návrh transformátoru z hlediska technicko-ekonomického porovnání nákladů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 18.5.2012

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

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

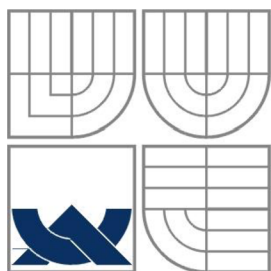
UPOZORNĚNÍ:

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

PASTOREK, J. *Návrh transformační stanice pro vyvedení výkonu z kogenerační jednotky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 59 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D..

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. Díl 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Návrh transformační stanice pro vyvedení výkonu z kogenerační jednotky

Bc. Jaroslav Pastorek

vedoucí: doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2012

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

Master's Thesis

Design the transformer station for the outgoing power of cogeneration unit

by

Bc. Jaroslav Pastorek

Supervisor: doc doc. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.

Brno University of Technology, 2012

Brno

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá problematikou návrhu transformačnej stanice pre vyvedenie výkonu z kogeneračnej jednotky o elektrickom výkone do 1 MW. V práci je vypracovaný postup navrhovania jednotlivých zariadení ako je transformátor s menovitým prevodom 22/0,4 kV, rozvádzač VN a rozvádzač NN. Pri správnom výbere transformátoru sa okrem technických parametrov posudzuje najmä jeho ekonomická výhodnosť, ktorá vychádza z jeho nákupnej ceny a nákladov na straty pri danej prevádzke transformátora. Na základe toho je vypracované ekonomické porovnanie vybraných typov olejových transformátorov na dobu 20 rokov. Ďalšia časť diplomovej práce je venovaná pre rozvodné zariadenia VN a NN, ktoré sa dimenzujú podľa skratových pomerov v trafostanici. V závere práce je riešená problematika uzemnenia trafo-stanice a návrhu ochrany v súlade PPDS.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: kogeneračná jednotka, transformačná stanica, transformátor, ochrana, rozvádzač, skratové pomery, poistka, istič, vypínač, káblové vedenie, uzemnenie, odpínač, odpojovač.

ABSTRACT

The thesis deals with the design of a transformer station for the outgoing power of cogeneration unit with an electric capacity of up to 1 MW. The thesis describes the design procedure of individual devices such as a transformer with a nominal ratio 22/0,4 kV, high voltage switchgears and low voltage switchgears. With the proper selection of the transformer, along with the technical parameters, the economic benefits that come from its purchasing and operating costs with the transformer operation are also considered. Based on this, the economic comparison of selected types of oil transformers during 20 years is also developed. Another part of the thesis deals with HV and LV switchgears, which are dimensioned according to short-circuit conditions in the transformer station. In conclusion this work deals with the grounding of a transformer station and design protection in accordance PPDS.

KEY WORDS: cogeneration unit, transformer station, transformer, protection, switchgear, short-circuit conditions, fuse, circuit breaker, cable management, grounding, switch disconnector, disconnector.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ZOZNAM OBRÁZKOV | 9 |
| ZOZNAM TABULIEK | 10 |
| ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK..... | 11 |
| 1 ÚVOD..... | 12 |
| 2 CIEĽ PRÁCE..... | 14 |
| 3 TRAFOSTANICA | 15 |
| 3.1 Vlastnosti použitej kogeneračnej jednotky | 15 |
| 3.2 Stanovenie inštalovaného výkonu transformovne | 17 |
| 3.2.1 Výpočet inštalovaného výkonu | 18 |
| 3.3 Návrh transformátora z ekonomickej výhodnosti..... | 18 |
| 3.3.1 Porovnanie nákladov transformátorov s rôznymi stratami..... | 20 |
| 3.3.2 Ochrana transformátora | 24 |
| 3.4 Stanovisko transformátora vn/nn | 25 |
| 3.4.1 Chladenie transformátora s prirodzeným vetraním | 25 |
| 3.4.2 Výpočet plochy vetracích otvorov | 27 |
| 4 ROZVODNÉ ZARIADENIA | 28 |
| 5 ROZVODNÉ ZARIADENIA VN | 30 |
| 5.1 Návrh rozvodného zariadenia vn | 31 |
| 5.2 Výbava polí rozvádzača vn..... | 36 |
| 6 ROZVODNÉ ZARIADENIE NN..... | 40 |
| 6.1 Návrh rozvodného zariadenia nn | 40 |
| 6.2 Výbava polí rozvádzača nn..... | 44 |
| 7 DISPOZÍCIA TRAFOSTANICE..... | 47 |
| 7.1 Uzemnenie trafostanice..... | 47 |
| 7.2 Ochranné pospojovanie..... | 49 |
| 8 NÁVRH OCHRANY V SÚLADE PPDS..... | 53 |
| 8.1 Nastavenie ochrany | 53 |
| 9 ZÁVER | 54 |
| POUŽITÁ LITERATÚRA | 55 |
| PRÍLOHY | 57 |

Zoznam obrázkov

| | |
|--|----|
| <i>Obr. 3-1: Závislosť účinnosti generátora na jeho zatažení [6]</i> | 16 |
| <i>Obr. 3-2: Kogeneračná jednotka Quanto D770 KON, Orlová</i> | 17 |
| <i>Obr. 3-3: Prevádzkové náklady transformátorov za n rokov</i> | 21 |
| <i>Obr. 3-4: Celkové náklady transformátorov za n rokov</i> | 22 |
| <i>Obr. 3-5: Rozdiel celkových nákladov transformátorov C_0C_k, E_0D_k od A_0A_k za n rokov</i> | 22 |
| <i>Obr. 3-6: Rozdiely bez uvažovania inflácie a odhadovaného ročného nárastu ceny el. energie</i> | 23 |
| <i>Obr. 3-7: Chladenie transformátora s prirodzeným vetraním</i> | 27 |
| <i>Obr. 4-1: Schémy jednoduchého systému prípojnic [15]</i> | 29 |
| <i>Obr. 5-1: Rez rozvádzačom vn [15]</i> | 30 |
| <i>Obr. 5-2: Prístrojové vybavenie odbočiek rozvádzača vn</i> | 31 |
| <i>Obr. 5-3: Schéma sústavy pri skrate na rozvádzači vn</i> | 31 |
| <i>Obr. 5-4: Náhradná schéma sústavy</i> | 32 |
| <i>Obr. 5-5: Jednopolové schéma rozvádzača VN</i> | 39 |
| <i>Obr. 6-1: Výzbroj odbočiek rozvádzača nn</i> | 40 |
| <i>Obr. 6-2: Schéma sústavy pri skrate na rozvádzači nn</i> | 41 |
| <i>Obr. 6-3: Náhradná schéma sústavy</i> | 41 |
| <i>Obr. 6-4: Jednopolové schéma rozvádzača NN</i> | 46 |
| <i>Obr. 7-1: Dispozícia trafostanice</i> | 50 |
| <i>Obr. 7-2: Uzemnenie trafostanice</i> | 51 |
| <i>Obr. 7-3: Ochranné pospojovanie</i> | 52 |

ZOZNAM TABULIEK

| | |
|--|----|
| <i>Tab. 1-1: Cenové rozhodnutie ERÚ pre spaľovanie bioplynu [3]</i> | 12 |
| <i>Tab. 1-2: Cenové rozhodnutie ERÚ pre kombinovanú výrobu elektriny a tepla [3]</i> | 13 |
| <i>Tab. 3-1: Základné technické údaje [5]</i> | 15 |
| <i>Tab. 3-2: Rozmery kogeneračnej jednotky [5]</i> | 16 |
| <i>Tab. 3-3: Technické údaje generátora MJB 400 LB4 [6]</i> | 16 |
| <i>Tab. 3-3: Technické údaje motora TCG 2016 16V [7]</i> | 16 |
| <i>Tab. 3-4: Technické údaje transformátorov [9]</i> | 20 |
| <i>Tab. 3-5: Spoločné údaje pre všetky transformátory</i> | 20 |
| <i>Tab. 3-6: Prevádzkové náklady transformátorov za n rokov</i> | 20 |
| <i>Tab. 3-7: Celkové náklady (vrátane nákupnej ceny) transformátorov za n rokov</i> | 21 |
| <i>Tab. 3-8: Technické údaje nízkostratového transformátora [10]</i> | 23 |
| <i>Tab. 3-9: Parametre VN poistky [12]</i> | 24 |
| <i>Tab. 3-10: Parametre ističa BL1600S [13]</i> | 25 |
| <i>Tab. 4-1: Doporučená rada skratových odolností [16]</i> | 28 |
| <i>Tab. 5-1: Technické údaje prívodného kábla 22-AXEKVCEY [17]</i> | 34 |
| <i>Tab. 5-2: Základné technické údaje rozvádzača vn [18]</i> | 36 |
| <i>Tab. 5-3: Parametre PTP CTS 25X Sch [20]</i> | 37 |
| <i>Tab. 5-4: Parametre MTN VTS 25 Sch [21]</i> | 37 |
| <i>Tab. 5-5: Parametre MTP CTS 25X Sch [20]</i> | 37 |
| <i>Tab. 5-6: Parametre káblov CYKY</i> | 37 |
| <i>Tab. 6-1: Technické údaje silového kábla 1-CHBU [22]</i> | 41 |
| <i>Tab. 6-2: Technické údaje silového kábla 1-CYKY [23]</i> | 43 |
| <i>Tab. 8-1: Funkcie ochrany nastavené podľa PPDS [34]</i> | 53 |

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

| Značka | Veličina | Značka jednotky |
|----------------------|--|--------------------------------------|
| <i>I</i> | prúd | A |
| <i>L</i> | indukčnosť | H |
| <i>M</i> | množstvo vetracieho vzduchu | kg·s ⁻¹ |
| <i>N</i> | náklady | Kč |
| <i>P</i> | činný výkon | W |
| <i>R</i> | odpor | Ω |
| <i>S</i> | zdanlivý výkon | VA |
| <i>S</i> | prierez | m ² |
| <i>T</i> | doba prevádzky | h |
| <i>U</i> | napätie | V |
| <i>X</i> | induktívna reaktancia | Ω |
| <i>Z</i> | impedancia | Ω |
| <i>c</i> | napät'ový súčiniteľ | - |
| <i>c</i> | merné špecifické teplo | J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹ |
| <i>d</i> | ročný nárast el. energie | % |
| <i>e</i> | inflácia | % |
| <i>f</i> | frekvencia | Hz |
| <i>k_e</i> | súčiniteľ | - |
| <i>j</i> | imaginárne číslo | - |
| <i>l</i> | dĺžka | m |
| <i>n</i> | počet | - |
| <i>u_k</i> | napätie nakrátko | - |
| <i>x</i> | pomerná reaktancia | - |
| <i>β</i> | činiteľ zaťaženia | - |
| <i>γ</i> | činiteľ využitia | - |
| <i>Δp</i> | pretlak | Pa |
| <i>η</i> | účinnosť | % |
| <i>κ</i> | súčiniteľ nárazového skratového prúdu | - |
| <i>μ</i> | výtokový súčiniteľ | - |
| <i>v</i> | rýchlosť vzduchu | m·s ⁻¹ |
| <i>π</i> | Ludolfovo číslo | - |
| <i>ρ</i> | hustota vzduchu | kg·m ⁻³ |
| <i>ρ</i> | merný odpor | Ω·mm ² ·m ⁻¹ |
| <i>φ</i> | fázový uhol | ° |
| <i>ω</i> | uhlová frekvencia | rad·s ⁻¹ |
| <i>θ</i> | teplota | °C |
| ERÚ | energetická regulačný úrad | |
| KJ | kogeneračná jednotka | |
| NN | nízke napätie | |
| PPDS | pravidlá prevádzkovania distribučnej sústavy | |
| VN | vysoké napätie | |

1 ÚVOD

Pod pojmom kogenerácia rozumieme kombinovanú výrobu elektrickej a tepelnej energie v zariadeniach, ktoré nazývame kogeneračné jednotky (KJ). V rámci decentralizovanej kogenerácie tieto jednotky predstavujú spaľovacie motory poháňajúce trojfázový generátor. Elektrický výkon týchto jednotiek sa pohybuje rádovo od desiatok kWe až do jednotiek MWe.

Technológia kogenerácie vychádza z myšlienky najefektívnejšieho využitia tepelnej energie uvoľnenej spaľovaním paliva. Princíp spočíva vo výrobe elektrickej energie v generátore, ktorý poháňa piestový motor. Pomocou sústavy výmenníkov získavame zase tepelnú energiu z chladenia spaľovacieho motora, mazacieho oleja a spalín. Tepelná energia sa potom využíva najmä na vykurovanie a ohrev vody. Takýmto spôsobom môžeme dosiahnuť vysokú účinnosť 80% až 85%, kde na el. energiu pripadá 30% až 35% a na teplo 65% až 70%. Ako zdroj elektrickej energie o výkone 100kW a vyššie sa používa najmä synchronný generátor s výstupným napätím 400V/50Hz, pre jeho širšie použitie. V prípade použitia asynchrónneho generátora môže kogeneračná jednotka pracovať iba v paralelnom režime.

Z hľadiska spolupráce kogeneračnej jednotky z nadradenou distribučnou sústavou rozoznávame tieto druhy prevádzky [1]:

- paralelná prevádzka so sieťou (P) – KJ dodáva elektrinu do nadradenej distribučnej sústavy
- ostrovná prevádzka (I) – KJ pracuje autonómne bez pripojenia na nadradenú distribučnú sústavu, dodáva elektrinu pre vlastnú spotrebu odberateľa
- núdzová prevádzka (E) – KJ plní funkciu záložného zdroja
- kombinácia P+I a P+E

Ako palivo pre kogeneračnú jednotku so spaľovacím motorom sa používa najmä zemný plyn, alebo je možné použitie aj kvapalného paliva ako je nafta. Po prijatí zákona 180/2005 Sb, ktorý pojednáva o podpore výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov energie sa v súčasnosti čoraz viac používa spaľovanie „zvláštnych plynov“ ako je napr. bioplyn. Použitie tohto plynu spočíva jednak kvôli výskytu (čerpačka odpadových vôd, poľnohospodársky priemysel atď.), jednak kvôli dobrej výhrevnosti [2]. Nižšie uvedené tabuľky môžu byť ďalšou motiváciou použitia technológie kogenerácie.

Tab. 1-1: Cenové rozhodnutie ERÚ pre spaľovanie bioplynu [3]

| Kategória | Výkupné ceny elektriny dodané do siete | Zelené bonusy |
|--|---|---------------|
| | [Kč/MWh] | [Kč/MWh] |
| Spaľovanie bioplynu v bioplynových staniciach kategórie AF1 | 4120 | 3070 |
| Spaľovanie bioplynu v bioplynových staniciach kategórie AF2 | 3550 | 2500 |

Tab. 1-2: Cenové rozhodnutie ERÚ pre kombinovanú výrobu elektriny a tepla [3]

| Výroba elektriny z kombinovanej | Výška príspevku k cene elektriny v Kč/MWh | | |
|--|---|------------|-------------|
| | Základné pásmo (24 hodín) | VT 8 hodín | VT 12 hodín |
| Výrobná s inštalovaným výkonom do 1 MW vrátane, s výnimkou výrobné využívajúcej obnoviteľné zdroje energie | 590 | 1630 | 1150 |
| Výrobná s inštalovaným výkonom do 1 MW až 5MW vrátane, s výnimkou výrobné využívajúcej obnoviteľné zdroje | 500 | 1250 | 870 |
| Výrobná s inštalovaným výkonom nad 5MW vrátane, s výnimkou výrobné využívajúcej obnoviteľné zdroje energie | 45 | - | - |
| Kombinovaná výroba elektriny a tepla využívajúca obnoviteľné zdroje energie | 45 | - | - |

Tak ako aj iné technológie na výrobu elektrickej energie, resp. tepelnej energie má použitie kogeneračnej jednotky svoje výhody a nevýhody, ktoré môžeme zhrnúť do nasledovných bodov

Výhody

- vysoká miera využitia primárneho paliva
- kompaktnosť zariadenia a ľahká obsluha
- vysoká účinnosť technológie, rýchly nábeh do prevádzky

Nevýhody

- pomerné vysoké investičné náklady
- nutnosť opatrenia zariadenia proti hluku
- pre dosiahnutie vysokej účinnosti je nutné KJ inštalovať do miesta spotreby tepelnej energie

2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom diplomovej práce sú prakticky body vymenované v jej zadaní:

1. Stanovenie inštalovaného výkonu trafostanice podľa použitej kogeneračnej jednotky o elektrickom výkone do 1MW.
2. Návrh transformátoru z technicko-ekonomického hľadiska.
3. Návrh rozvodného zariadenia VN a hlavných rozvodov NN podľa skratových pomerov v trafostanici.
4. Návrh ochrany v súlade PPDS (pravidlá prevádzkovania distribučnej siete).

3 TRAFOSTANICA

Transformovňa je elektrická stanica, v ktorej sa uskutočňuje transformácia elektrickej energie na požadované napätie a jej rozvod. V prípade vyvedenia výkonu z kogeneračnej jednotky budeme považovať túto elektrickú stanicu za výrobnú vnútorného prevedenia.

Všeobecne sa transformovňa skladá z troch hlavných častí a to sú: elektrická časť, pomocná časť a stavebná časť.[4]

Elektrická časť

- hlavné transformátory a transformátory vlastnej spotreby,
- rozvodné zariadenie a reaktory k obmedzeniu skratových prúdov,
- kompensačné zariadenie (rotačné kompenzátory, statické kondenzátory, tlmivky)
- spoločné zariadenia – dozorňa so všetkým vybavením pre riadenie prevádzky, vrátane meracích, riadiacich, signalizačných a ochranných zariadení. Ďalej sem patrí zariadenie pre napájanie a zaistenie vlastnej spotreby, uzemnenie (pracovné i ochranné) atď.

Pomocná časť

Táto časť zahŕňa vybavenie pre opravu a údržbu prístrojov a zariadení – dielne, revízna vež, garáže, sklady, zariadenia pre olejové hospodárstvo atď.

Stavebná časť

Sem patrí: pozemok, budovy, vonkajšia a vnútorná komunikácia, stavebná konštrukcia, oplatenie atď.

Pri dimenzovaní elektrického zariadenia transformovne sa vychádza z menovitých parametrov transformovne na strane vyššieho i nižšieho napätia a zo skratových údajov.

3.1 Vlastnosti použitej kogeneračnej jednotky

Kogeneračná jednotka bola vybraná od firmy TEDOM, ktorá sa v súčasnosti môže pýšiť s počtom viac než 2500 vyrobených jednotiek o celkovom elektrickom výkone cez 650MW. Typ zvolenej kogeneračnej jednotky QUANTO D770 je určený pre spaľovanie bioplynu, kde zdrojom elektrickej energie je 4-pólový synchronný generátor MJB 400 LB4 od firmy MARELLI. K pohonu jednotky je použitý spaľovací motor typu TCG 2016 V16, výrobok firmy MWM.

Tab. 3-1: Základné technické údaje [5]

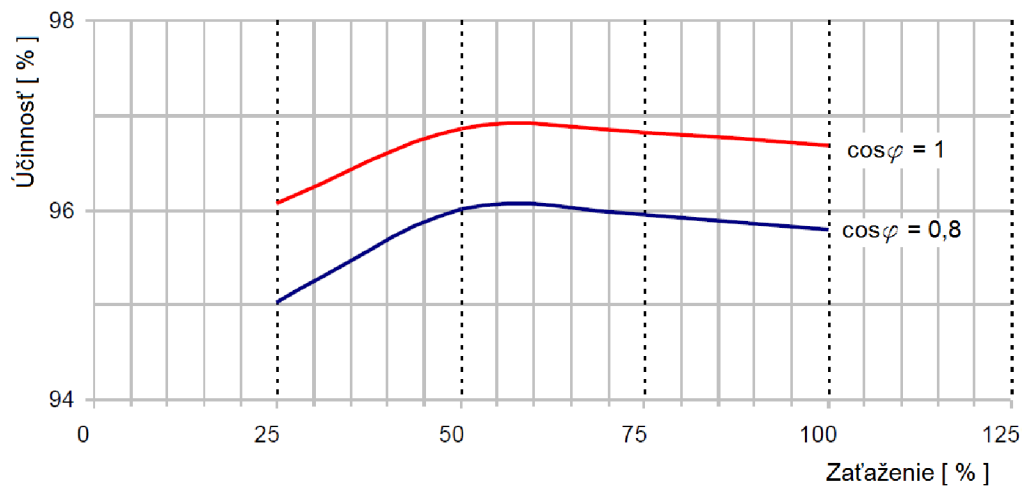
| Typ | Elektrický výkon | Tepelný výkon | Elektrická účinnosť | Tepelná účinnosť | Celková účinnosť | Spotreba plynu |
|-------------|------------------|---------------|---------------------|------------------|------------------|---------------------|
| | [kW] | [kW] | [%] | [%] | [%] | [m ³ /h] |
| Quanto D770 | 800 | 859 | 42,7 | 45,9 | 88,6 | 288 |

Tab. 3-2: Rozmery kogeneračnej jednotky [5]

| Typ | Dĺžka | Šírka | Výška | Prevádzková hmotnosť |
|-------------|-------|-------|-------|----------------------|
| | [mm] | [mm] | [mm] | [kg] |
| Quanto D770 | 13500 | 3000 | 8000 | 26 895 |

Tab. 3-3: Technické údaje generátora MJB 400 LB4 [6]

| | | | | | |
|-------------------------|----------------------|------|--------------------|---------|-------|
| Menovité napätie | [V] | 400 | Pomerné reaktancie | [%] | |
| Menovitý zdanlivý výkon | [kVA] | 1300 | Rázová pozdĺžna | x_d'' | 9,4 |
| Menovitý výkon | [kW] | 1040 | Rázová priečna | x_q'' | 9,8 |
| Menovité otáčky | [min ⁻¹] | 1500 | Časové konštanty | [s] | |
| Frekvencia | [Hz] | 50 | Tranzitná | T_d' | 0,22 |
| Energetický faktor | [-] | 0,8 | Subtranzitná | T_d'' | 0,014 |



Obr. 3-1: Závislosť účinnosti generátora na jeho zaťažení [6]

Tab. 3-3: Technické údaje motora TCG 2016 16V [7]

| | | | | | |
|------------------|----------------------|------|-------------------------|----------------------|---------|
| Zdvihový objem | [dm ³] | 35 | Počet valcov | [-] | 16 |
| Pracovné otáčky | [min ⁻¹] | 1500 | Vrtanie / zdvih | [mm] | 132/160 |
| Elektrický výkon | [kW] | 800 | Stredná rýchlosť piesta | [m·s ⁻¹] | 8 |
| Účinnosť | [%] | 85,5 | Hmotnosť | [kg] | 6530 |



Obr. 3-2: Kogeneračná jednotka Quanto D770 KON, Orlová

Synchrónny generátor bude spolu so spaľovacím motorom umiestený na spoločnú oceľovú konštrukciu, ktorá sa osadí do protihlukového krytu pre vnútorné použitie. U tejto jednotky sa bude predpokladať iba paralelná prevádzka s distribučnou sieťou s možnosťou ostrovného režimu. Názorná ukážka uvedeného typu jestvujúcej kogeneračnej jednotky je na obr. 3-2 v kontajnerovom prevedení na vonkajšie použitie.

3.2 Stanovenie inštalovaného výkonu transformovne

Pre stanovenie inštalovaného výkonu trafostanice určíme výpočtový výkon, ktorý budeme dodávať cez transformátor do distribučnej siete.

$$P_p = P_g - P_{sp} \quad (\text{kW}; \text{kW}, \text{kW}), \quad (3.1)$$

kde P_g je činný výkon na svorkách synchrónneho generátora,
 P_{sp} je vlastná spotreba kogeneračnej jednotky (stanice), budeme predpokladať 15% z výkonu generátora.

Inštalovaný výkon trafostanice, resp. inštalovaný výkon transformátorov sa určí zo vzťahu

$$S_T = \frac{P_p}{\cos \varphi \cdot \gamma} \quad (\text{kVA}; \text{kW}, -, -), \quad (3.2)$$

kde $\cos \varphi$ je hodnota účinníku dodávaného do distribučnej siete,
 γ je činiteľ využitia zohľadňujúci možné navýšenie výkonu KJ (volíme 20%).

Na základe stanoveného výkonu trafostanice môžeme určiť menovitý výkon a počet transformátorov tak, aby platilo:

$$\sum_{i=1}^m S_{ni} \geq S_T \quad (\text{kVA}; \text{kVA}), \quad (3.3)$$

kde S_n je menovitý výkon jedného transformátora,
 n je počet transformátorov.

V praxi pri vyvedení výkonu z KJ do niekoľko MW zvyčajne uvažujeme 3. stupeň dodávky elektrickej energie a z investičného hľadiska postačuje použitie jedného transformátora.

Menovitý výkon transformátora vyberieme z normalizovanej rady výkonov pre trojfázové transformátory, tak aby vyhovovala podmienka (3.3). Normalizovaná rada: 12,5-16-20-25-31,5-40-50-63-80-100-125 [kVA] a násobky 10, 10², 10³ týchto hodnôt. [4]

Skutočné zaťaženie transformátora, resp. jeho využitie

$$\beta = \frac{P_p}{\cos \varphi \cdot S_n} \cdot 100 \quad (\% ; \text{kW}, -, \text{kVA}). \quad (3.4)$$

Toto skutočné využitie by sa malo pohybovať v intervale 0,5 – 0,7; kedy transformátor dosahuje najlepšiu účinnosť.

3.2.1 Výpočet inštalovaného výkonu

Výpočtový výkon (3.1)

$$P_p = P_g - P_{sp} = 800 - 0,15 \cdot 800 = 680 \text{ kW}$$

Inštalovaný výkon trafostanice (3.2)

$$S_T = \frac{P_p}{\cos \varphi \cdot \gamma} = \frac{680}{0,95 \cdot 0,8} = 894,74 \text{ kVA}$$

Menovitý výkon transformátora z normalizovanej rady podľa podmienky (3.3)

$$1000 \text{ kVA} > 894,74 \text{ kVA}$$

Skutočné zaťaženie transformátora (3.4)

$$\beta = \frac{P_p}{\cos \varphi \cdot S_n} \cdot 100 = \frac{680}{0,95 \cdot 1000} \cdot 100 = 71,6 \%$$

3.3 Návrh transformátora z ekonomickej výhodnosti

Ako už bolo povedané, väčšina synchronných generátorov kogeneračných jednotiek dodávajú výkon do niekoľko MW pri napätí 400V/50Hz, čím je nutné medzi distribučnú sieť 22kV a zdroj elektrickej energie zaradiť transformátor s prevodom 0,4/22 kV. Podľa stanoveného výkonu trafostanice z predošlej kapitoly budeme porovnávať transformátory o výkone 1000 kVA.

V praxi sa často stretávame otázkou či sa nám vyplatí transformátor s nižšími stratami za cenu vyšších investičných nákladov, alebo si zaobstaráť transformátor so štandardnými stratami pochopiteľne za nižšie investičné náklady. Pre porovnanie ekonomickej výhodnosti transformátorov s rôznymi stratami nám poslúžia výpočty podľa exaktných ekonomických kritérií, pre ktoré sú určené nasledovné riadky. [8]

Najjednoduchší vzorec pre výpočet celkových nákladov za celú dobu životnosti transformátora (vrátane nákupnej ceny) vychádza z týchto predpokladov:

- Nie je zohľadnený predpokladaný vývoj ceny elektrickej energie.
- Nie je zohľadnená časová cena peňazí.
- Neuvažujú sa náklady na montáž, prehliadku a údržbu.

$$N_T = 8760 \cdot 25 \cdot \left(P_0 + P_k \cdot \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right) \cdot B + C \quad (\text{Kč; kW, kW, \%, Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}, \text{Kč}), \quad (3.5)$$

kde 8760 je počet hodín prevádzky transformátora za rok
 25 je predpokladaný počet rokov prevádzky
 P_0 sú straty naprázdno
 P_k sú straty nakrátko (pri 75°C)
 A je priemerné ročné zaťaženie
 B je kalkulačná cena za 1kWh elektrickej energie
 C je nákupná cena vlastného transformátora

Porovnaním celkových nákladov pre rôzne prevedenie transformátorov môžeme porovnávať ekonomickú výhodnosť jednotlivých variant s určitou hrubosťou. Uvedené zjednodušenia predošlého vzorca majú nasledujúci dopad:

- Nezohľadnenie vývoja ceny energie mierne znevýhodňuje transformátory s nižšími stratami.
- Nezohľadnenie časovej ceny peňazí znevýhodňuje transformátory s vyššími stratami.
- Ekonomická výhodnosť investície sa obvykle počíta na 5 až 7 rokov.

Pre kvalitnejšie porovnanie je treba použiť exaktnejšiu matematickú metódu.

$$N_T = C + N_P = C + \sum_{k=1}^n T \cdot \left[P_0 + P_k \cdot \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right] \cdot B \cdot \left(\frac{1 + d/100}{1 + e/100} \right)^k \quad (3.6)$$

(Kč; Kč, h, kW, kW, %, Kč · kWh⁻¹, %, %),

kde N_P sú prevádzkové náklady,
 n je doba, pre ktorú ekonomickú výhodnosť počítame,
 T je počet hodín prevádzky transformátora za rok,
 d je odhadovaný ročný nárast ceny elektrickej energie za celé vyhodnocovacie obdobie,
 e inflačná miera (zohľadňuje fakt, 100 Kč, vynaložených na straty napr. v roku 2020 bude mať inú hodnotu, vynaložených dnes).

Treba si uvedomiť, že kogeneračná jednotka nepracuje nepretržite a transformátor v dobe, kedy je KJ odstavená berie energiu zo siete za cenu podľa distribučnej spoločnosti. Tým pádom môžeme vzťah (3.6) upraviť nasledovne

$$N_T = C + N_P = C + \sum_{k=1}^n T \cdot \left[P_0 + P_k \cdot \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right] \cdot B \cdot \left(\frac{1 + d/100}{1 + e/100} \right)^k + T_0 \cdot P_0 \cdot B_0 \cdot \left(\frac{1 + d/100}{1 + e/100} \right)^k \quad (3.7)$$

(Kč; Kč, h, kW, kW, %, Kč · kWh⁻¹, %, %, h, kW, Kč · kWh⁻¹),

kde T_0 je doba bez výroby elektrickej energie kogeneračnej jednotky, kedy u transformátora uvažujeme iba straty naprázdno,
 B_0 je cena elektrickej energie za odber z distribučnej siete.

3.3.1 Porovnanie nákladov transformátorov s rôznymi stratami

Vybrané transformátory, u ktorých budeme porovnávať ekonomickú výhodnosť budú od spoločnosti BEZ TRANSFORMÁTORY, a.s.

Tab. 3-4: Technické údaje transformátorov [9]

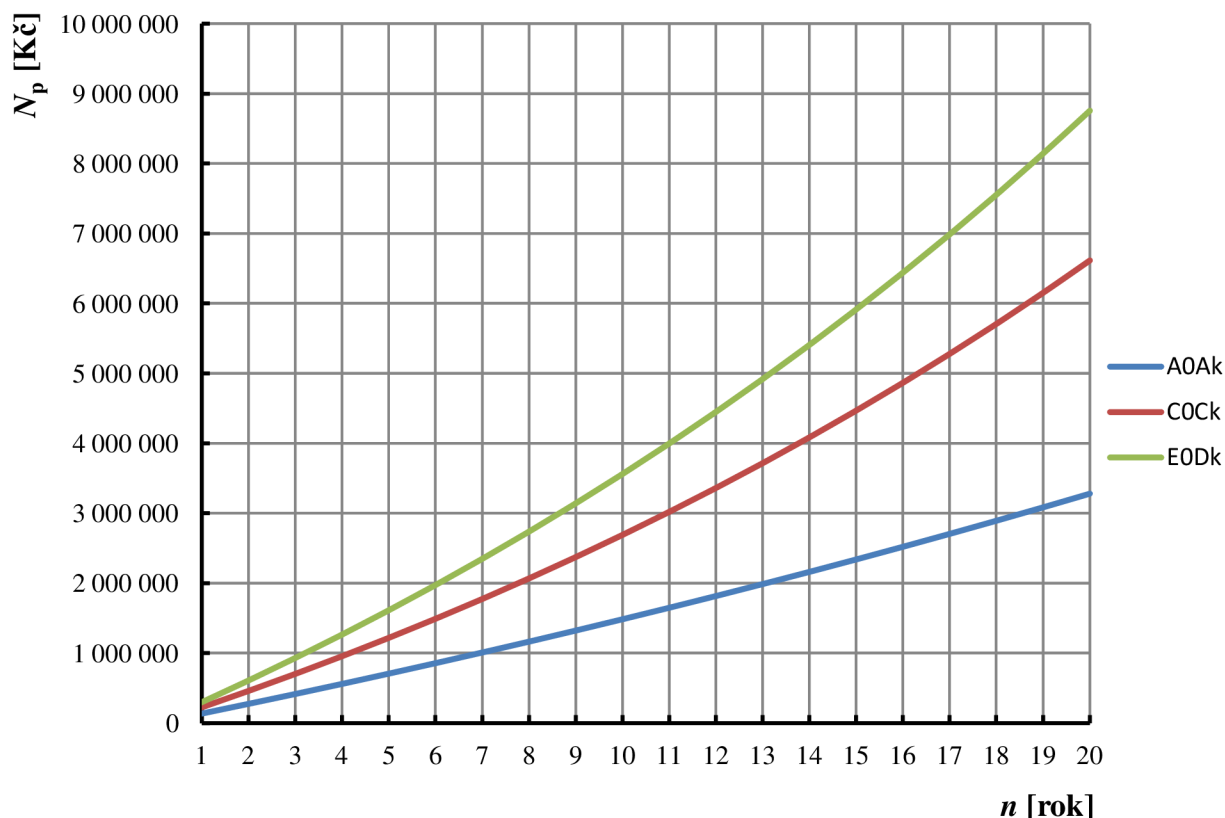
| Typ | Chladienie | P_0 | P_k | C (bez DPH) |
|--|------------|-------|-------|---------------|
| | | [kW] | [kW] | [Kč] |
| TOHn A ₀ A _k – nízkostratový | ONAN | 0,65 | 6,5 | 495 000 |
| TOHn C ₀ C _k – redukované straty | ONAN | 1,1 | 10,5 | 317 500 |
| TOHn E ₀ D _k – štandardné straty | ONAN | 1,7 | 13 | 287 500 |

Tab. 3-5: Spoločné údaje pre všetky transformátory

| T | T_0 | A | B | B_0 | e | d |
|------|-------|-----|---------------------------|---------------------------|-----|-----|
| [h] | [h] | [%] | [Kč · kWh ⁻¹] | [Kč · kWh ⁻¹] | [%] | [%] |
| 8400 | 360 | 70 | 4,12 | 3 | 4 | 8 |

Tab. 3-6: Prevádzkové náklady transformátorov za n rokov

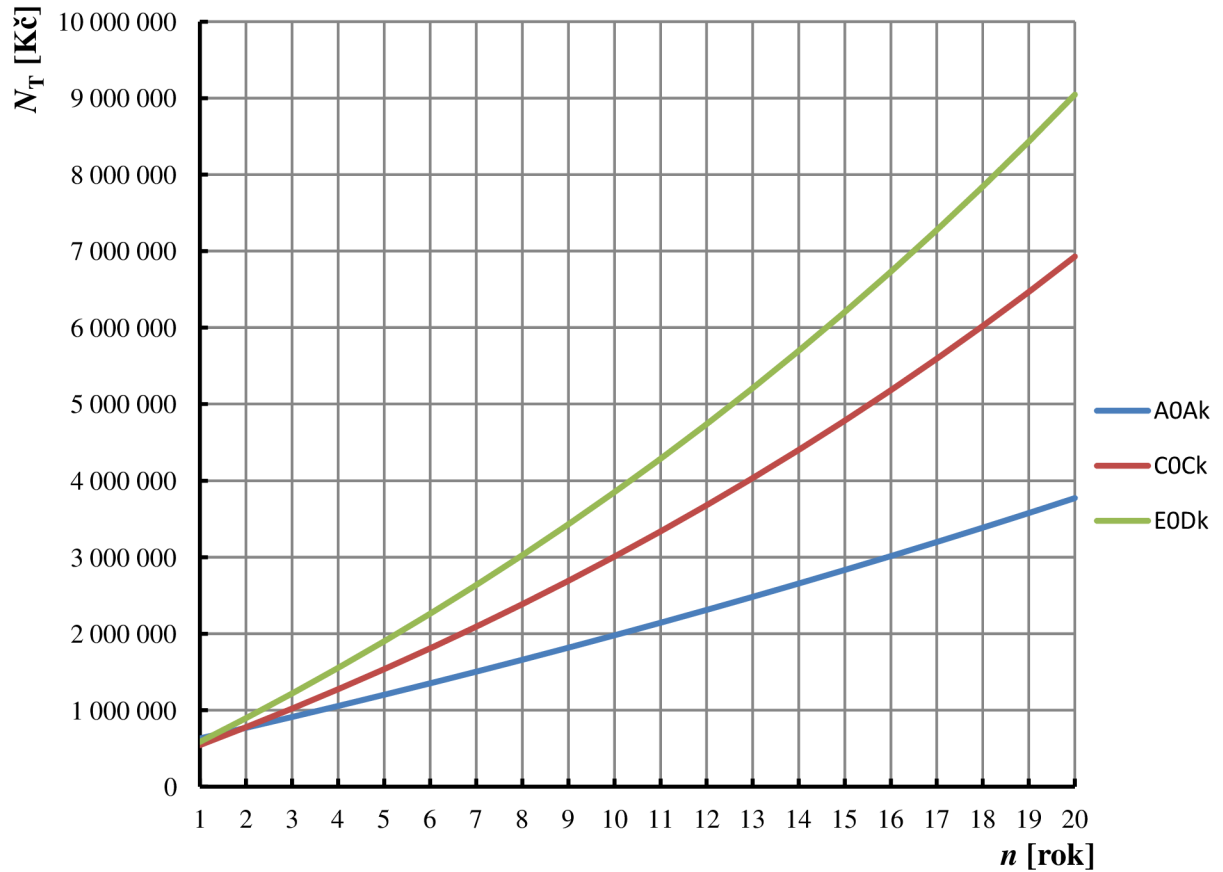
| rok | TOHn A ₀ A _k [Kč] | TOHn C ₀ C _k [Kč] | TOHn E ₀ D _k [Kč] |
|-----|--|--|--|
| 1 | 135 990 | 225 673 | 298 840 |
| 2 | 274 594 | 460 026 | 609 175 |
| 3 | 415 864 | 703 393 | 931 445 |
| 4 | 559 851 | 956 120 | 1 266 110 |
| 5 | 706 607 | 1 218 567 | 1 613 647 |
| 6 | 856 185 | 1 491 108 | 1 974 551 |
| 7 | 1 008 640 | 1 774 131 | 2 349 335 |
| 8 | 1 164 026 | 2 068 040 | 2 738 535 |
| 9 | 1 322 401 | 2 373 254 | 3 142 704 |
| 10 | 1 483 821 | 2 690 206 | 3 562 417 |
| 11 | 1 648 346 | 3 019 348 | 3 998 274 |
| 12 | 1 816 034 | 3 361 150 | 4 450 894 |
| 13 | 1 986 948 | 3 716 099 | 4 920 922 |
| 14 | 2 161 148 | 4 084 699 | 5 409 029 |
| 15 | 2 338 698 | 4 467 476 | 5 915 909 |
| 16 | 2 519 662 | 4 864 975 | 6 442 284 |
| 17 | 2 704 107 | 5 277 763 | 6 988 905 |
| 18 | 2 892 098 | 5 706 427 | 7 556 549 |
| 19 | 3 083 705 | 6 151 578 | 8 146 026 |
| 20 | 3 278 997 | 6 613 850 | 8 758 175 |



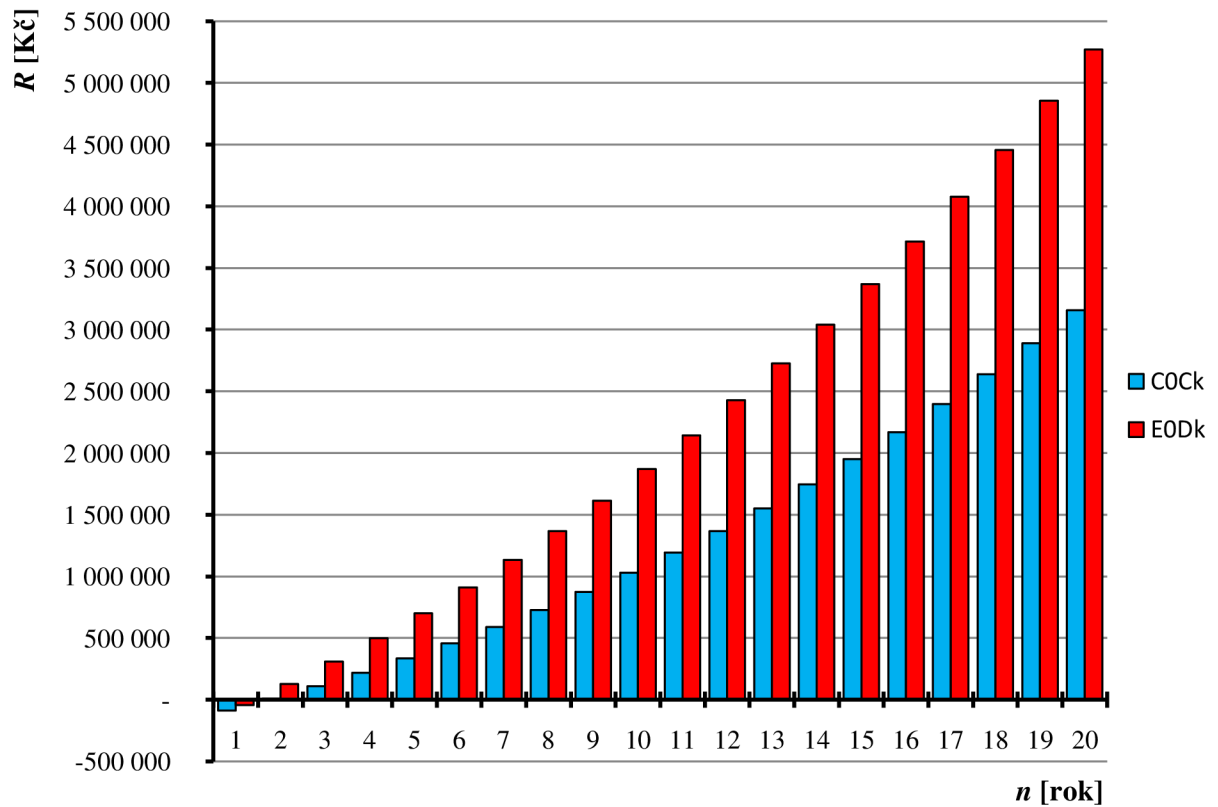
Obr. 3-3: Prevádzkové náklady transformátorov za n rokov

Tab. 3-7: Celkové náklady (vrátane nákupnej ceny) transformátorov za n rokov

| rok | TOHn A ₀ A _k [Kč] | TOHn C ₀ C _k [Kč] | TOHn E ₀ D _k [Kč] | Rozdiel nákladov R [Kč] | |
|-----|--|--|--|---|---|
| | | | | E ₀ D _k - A ₀ A _k | C ₀ C _k - A ₀ A _k |
| 1 | 630 990 | 543 173 | 586 340 | - 44 649 | - 87 816 |
| 2 | 769 594 | 777 526 | 896 675 | 127 080 | 7 932 |
| 3 | 910 864 | 1 020 893 | 1 218 945 | 308 080 | 110 028 |
| 4 | 1 054 851 | 1 273 620 | 1 553 610 | 498 759 | 218 768 |
| 5 | 1 201 607 | 1 536 067 | 1 901 147 | 699 540 | 334 459 |
| 6 | 1 351 185 | 1 808 608 | 2 262 051 | 910 865 | 457 422 |
| 7 | 1 503 640 | 2 091 631 | 2 636 835 | 1 133 195 | 587 991 |
| 8 | 1 659 026 | 2 385 540 | 3 026 035 | 1 367 008 | 726 514 |
| 9 | 1 817 401 | 2 690 754 | 3 430 204 | 1 612 803 | 873 353 |
| 10 | 1 978 821 | 3 007 706 | 3 849 917 | 1 871 096 | 1 028 884 |
| 11 | 2 143 346 | 3 336 848 | 4 285 774 | 2 142 428 | 1 193 503 |
| 12 | 2 311 034 | 3 678 650 | 4 738 394 | 2 427 359 | 1 367 616 |
| 13 | 2 481 948 | 4 033 599 | 5 208 422 | 2 726 475 | 1 551 651 |
| 14 | 2 656 148 | 4 402 199 | 5 696 529 | 3 040 381 | 1 746 051 |
| 15 | 2 833 698 | 4 784 976 | 6 203 409 | 3 369 711 | 1 951 278 |
| 16 | 3 014 662 | 5 182 475 | 6 729 784 | 3 715 122 | 2 167 813 |
| 17 | 3 199 107 | 5 595 263 | 7 276 405 | 4 077 298 | 2 396 156 |
| 18 | 3 387 098 | 6 023 927 | 7 844 049 | 4 456 951 | 2 636 828 |
| 19 | 3 578 705 | 6 469 078 | 8 433 526 | 4 854 821 | 2 890 373 |
| 20 | 3 773 997 | 6 931 350 | 9 045 675 | 5 271 679 | 3 157 354 |

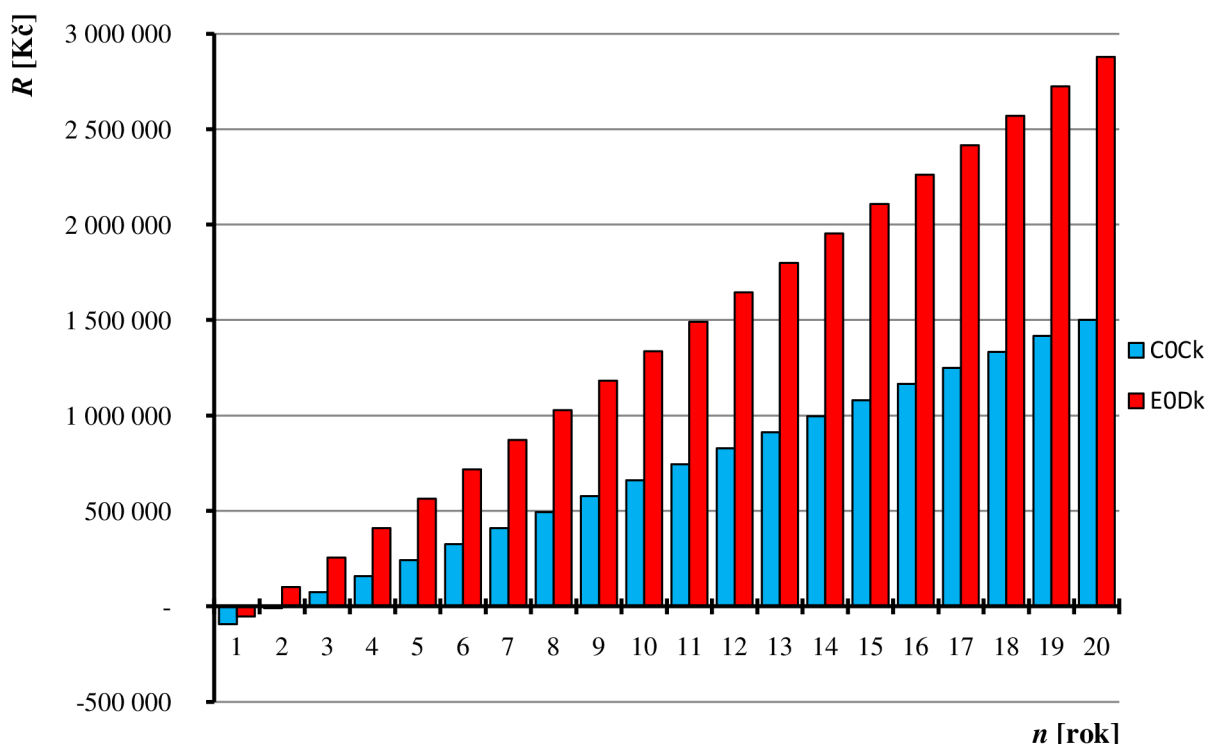


Obr. 3-4: Celkové náklady transformátorov za n rokov



Obr. 3-5: Rozdiel celkových nákladov transformátorov C_0C_k , E_0D_k od A_0A_k za n rokov

Z porovnania prevádzkových nákladov (tab. 3-6) jednotlivých transformátorov je zrejmé, že nízkostratový transformátor vykazuje najnižšie náklady. Celkové náklady (tab. 3-7) tohto transformátora na dobu 20 rokov stoja 3 773 997 Kč, kdežto u transformátora s redukovanými stratami je to 6 931 350 Kč a u transformátora so štandardnými stratami až 9 045 675 Kč. Obr. 3-5, ktorý nám udáva rozdiel celkových nákladov transformátorov dokazuje, že kúpa nízkostratového transformátora sa nám vypláca už v druhom roku. Kým by sme pri kúpe transformátora so štandardnými stratami ušetrili 207 000 Kč, po desiatich rokoch by sme prerobili zhruba 1 871 096 Kč. Obr. 2-5 nám zobrazuje rozdiely celkových nákladov transformátorov vypočítaných podľa vzorca (3.6) bez uvažovania inflácie a odhadovaného ročného nárastu ceny elektrickej energie. Oproti výpočtom s uvažovaním týchto parametrov je cenový rozdiel zhruba 2 400 000 Kč z čoho vyplýva, že presný odhad parametrov „e“ a „d“ hrá veľkú rolu pri ekonomickom porovnávaní transformátorov.



Obr. 3-6: Rozdiely bez uvažovania inflácie a odhadovaného ročného nárastu ceny el. energie

Tab. 3-8: Technické údaje nízkostratového transformátora [10]

| Typ | S_n | U_{vn} | U_{mn} | Spojenie vinutia | P_0 | P_k | u_k | i_0 |
|---------------------------------------|---------|----------|----------|---------------------|-------|-------|----------|-------|
| | [kW] | [kV] | [V] | | [kW] | [kW] | [%] | [%] |
| TOHn A ₀ A _k | 1000 | 22 | 400/231 | Dyn1 | 0,65 | 6,5 | 6 | 0,7 |
| | Rozmery | | | | | | | |
| | Dĺžka | | Šírka | | Výška | | Hmotnosť | |
| | [mm] | | [mm] | | [mm] | | [kg] | |
| | 1 680 | | 945 | | 1 830 | | 3 550 | |

3.3.2 Ochrana transformátora

Transformátor predstavuje jeden z najdrahších prvkov transformovne a preto by sme mali brať veľký ohľad na jeho chránenie. Z hľadiska skúseností u distribučných transformátorov vn/nn do menovitého výkonu 1 MVA sa môžeme stretnúť s týmito ochrannými opatreniami:

- Proti skratu na VN strane sa používajú výkonové vn poistky.
- Plynové relé (Buchholzovo relé); ak sa ním vybaví transformátor istený poistkami, slúži relé len pre signalizáciu. Ak je transformátor na VN strane vybavený vypínačom, tak sa na jeho chránenie použije nadprúdová ochrana a plynové relé sa zapojí na vypínač.
- Na NN strane sa transformátor istí proti preťaženiu ističmi s tepelnými a skratovými článkami. [11]

VN poistky

Vysokonapäťové poistkové vložky sa používajú na istenie VN strany distribučných transformátorov. Poistkové vložky bezpečne vypínajú všetky prúdy od ich menovitej vypínacej schopnosti smerom dolu k minimálnemu vypínaciemu prúdu uvedenému na štítku poistky. Z veľkosti minimálneho vypínacieho prúdu vyplýva, že poistky majú obmedzenú funkciu, istia proti skratom a značným nadprúdom.

Kritéria pre priradovanie poistkových vložiek transformátorom:

- Poistková vložka musí vydržať nárazový magnetizačný prúd ($12 \times I_n$) transformátora po dobu 0,1s.
- Pri skrate na NN strane musí poistková vložka tento skrat odpojiť do 2s.
- Pri skrate na NN strane musí byť minimálny vypínací prúd poistky menší než prúd, ktorý sa vyvinie pri tomto skrate na strane VN.
- Poistková vložka musí byť selektívna s ističom použitým na chránenie transformátora na NN strane.

Pre ochranu nízkostratového transformátoru proti skratom sme vybrali vysokonapäťovú poistku od firmy O EZ, s.r.o., ktorého parametre zobrazuje tab. 3-9 a vypínacia charakteristiku je k dispozícii v prílohe práce.

Tab. 3-9: Parametre VN poistky [12]

| Typ | U_n | I_n | Straty P_v | I_{vyp_max} | I_{vyp_min} | Rozmery $\phi \times L$ | Hmotnosť |
|----------|-------|-------|--------------|----------------|----------------|-------------------------|----------|
| | [kV] | [A] | [W] | [kA] | [A] | [mm] | [kg] |
| PM 45 50 | 22/25 | 50 | 98 | 50 | 185 | 51x442 | 2,5 |

Výkonový istič

Istič je samočinný nadprúdový vypínač, určený k ochrane vedenia, motorov, transformátorov a ostatných spotrebičov pred preťažením. Zvyčajne obsahuje spúšť nadprúdovú, ktorá sleduje rast teploty v preťažovanom vodiči a spúšť skratovú, ktorá pôsobí okamžite pri veľkých nadprúdoch, resp. skratoch.

Pre chránenie transformátora sa použije kompaktný istič BL1600S od firmy O EZ, s.r.o., ktorý bude umiestnený v poli RH.2 rozvádzača NN. Jedná sa o trojpólový vzduchový istič s ručným pohonom a nadprúdovou spúšťou určenou pre istenie vedení a transformátorov.

Nadprúdová spúšť umožňuje nastavenie redukovaného prúdu I_r , resp. menovitého prúdu podľa isteného zariadenia a nastavenie hodnoty skratovej spúšte I_{km} . Menovitá hodnota nadprúdovej spúšte sa volí podľa menovitej hodnoty prúdu chráneného zariadenia. Vypínacia charakteristika ističa je znázornená v prílohe práce.

Tab. 3-10: Parametre ističa BL1600S [13]

| Typ | Menovité pracovné napätie U_n | Menovitý trvalý prúd I_n | Menovitá skratová zapínacia schopnosť I_{zap_max} | Menovitá hraničná skratová vypínacia schopnosť I_{vyp_max} |
|---------|---------------------------------|----------------------------|--|---|
| | [V] | [A] | [kA] | [kA] |
| BL1600S | 690 | 1600 | 140 | 65 |

3.4 Stanovisko transformátora vn/nn

Umiestnenie transformátorov zásadne ovplyvňuje ako bezpečnosť a obsluha prevádzky, tak aj celkové dispozičné riešenie trafostanice. Transformátory určené na vnútorné použitie sa zásadne inštalujú do transformátorových komôr. Výnimkou sú suché transformátory, ktoré môžeme umiestniť do spoločnej miestnosti s rozvodnými zariadeniami bez zabezpečenia protipožiarnej ochrany. U olejových transformátorov hrozí po prekročení hraničnej teploty oleja v nádobe (zhruba 110°C) tvorba plynov, explózia a následný požiar. Preto musíme priestor od rozvodného zariadenia oddeliť nehorľavou stenou.

Transformátorové komory sa umiestňujú na severnú alebo východnú stranu budovy, kde je teplota chladiaceho vzduchu najnižšia. Vzniknuté teplo pri prevádzke transformátora musí byť odvedené prirodzeným alebo núteným vetraním, aby nebola prekročená dovolená teplota 60°C na líci nádoby pri strednej teplote v komore. Vetracie otvory sa musia chrániť pletivom proti vniknutiu cudzích predmetov a žalúziami proti dopadajúcej vody.

3.4.1 Chladenie transformátora s prirodzeným vetraním

Množstvo vetracieho vzduchu určené z rovnice tepelnej bilancie [14]

$$P_{ch} = 0,6 \cdot \Delta P_T = M \cdot c \cdot (g_2 - g_1) \Rightarrow M = \frac{P_{ch}}{c \cdot (g_2 - g_1)} \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{W}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (3.8)$$

kde P_{ch} je vypočítaná strata transformátora pre chladenie pri danom prevádzkovom zaťažení,
 ΔP_T sú celkové straty transformátora,
 M je množstvo vetracieho vzduchu,
 c je merné teplo vzduchu, $c = 1010 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
 g_2 je najvyššia prípustná teplota odvádzaného vzduchu, $g_2 = 45^\circ\text{C}$,
 g_1 je teplota nasávaného vzduchu, $g_1 = 25^\circ\text{C}$.

Účinný pretlak v trafokomore

$$\Delta p_p = (\rho_1 - \rho_s) \cdot \frac{h}{2} \cdot g \quad (\text{Pa}; \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m}, \text{m} \cdot \text{s}^{-2}), \quad (3.9)$$

kde ρ_1 je hustota nasávaného vzduchu, $\rho_1 = 1,177 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pri $\vartheta_1 = 25^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 60\%$,
 ρ_s je stredná hustota vzduchu, $\rho_s = 1,137 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pri $\vartheta_s = 35^\circ\text{C}$, $\varphi_s = 35\%$,
 h je sacia výška,
 g je gravitačné zrýchlenie.

Rýchlosť prúdenia vzduchu v mieste nasávania a odvádzania

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_1 \cdot v_1^2 = \Delta p_p = (\rho_1 - \rho_s) \frac{h}{2} \cdot g \Rightarrow v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_p}{\rho_1}} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}; \text{Pa}, \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}), \quad (3.10)$$

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_2 \cdot v_2^2 = \Delta p_p = (\rho_1 - \rho_s) \frac{h}{2} \cdot g \Rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p_p}{\rho_2}} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}; \text{Pa}, \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}), \quad (3.11)$$

kde ρ_2 je hustota odsávaného vzduchu, $\rho_2 = 1,102 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ pri $\vartheta_2 = 45^\circ\text{C}$, $\varphi_2 = 25\%$.

Pre množstvo chladiaceho vzduchu platí

$$M = S_1 \cdot \rho_1 \cdot v_1 \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{m}^2, \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}), \quad (3.12)$$

$$M = S_2 \cdot \rho_2 \cdot v_2 \quad (\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}; \text{m}^2, \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}, \text{m} \cdot \text{s}^{-1}). \quad (3.13)$$

Po dosadení (3.8), (3.9), (3.10) do (3.12) a úprave dostávame minimálny prierez vstupného vetracieho otvoru

$$S_1 \geq \frac{P_{\text{ch}}}{c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \cdot \sqrt{(\rho_1 - \rho_s) \cdot h \cdot g \cdot \rho_1}} \quad (3.14)$$

Analogicky pre minimálny výstupný prierez vetracieho otvoru

$$S_2 \geq \frac{P_{\text{ch}}}{c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \cdot \sqrt{(\rho_1 - \rho_s) \cdot h \cdot g \cdot \rho_2}} \quad (3.15)$$

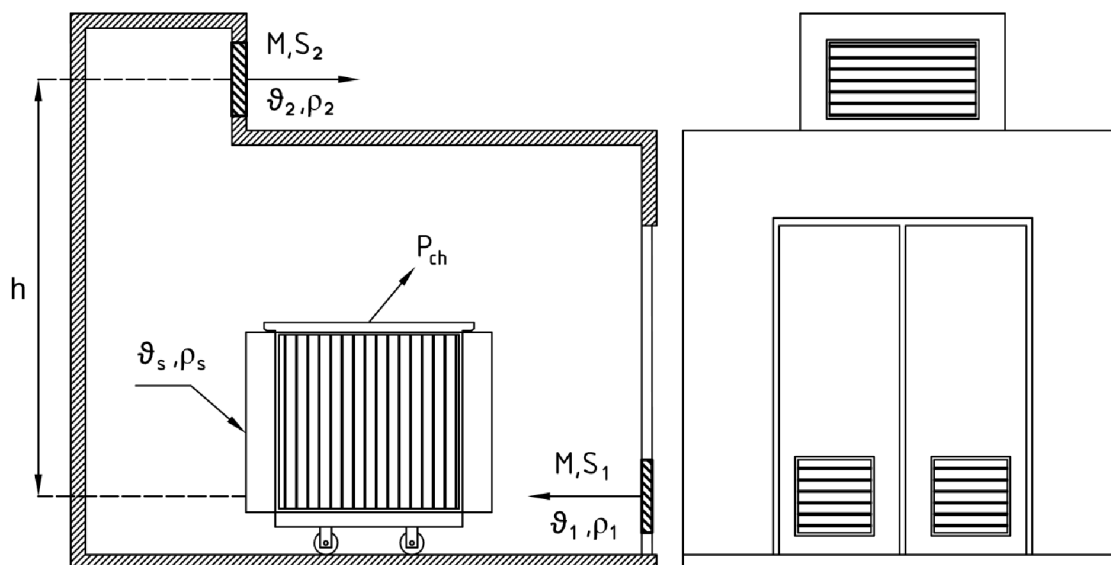
V praxi sa prierezy násobia výtokovými súčiniteľmi μ_1 a μ_2 , zahrňujúce použitie žalúzií. Pre použité žalúzie uvažujeme hodnotu 0,44 a ak je za žalúzie dodatočne vrazená sieť z drôtového pletiva s okami o rozmeroch 20x20 mm, je nutné hodnotu násobiť 0,85, to znamená :

$$\mu_1 = \mu_2 = 0,44 \cdot 0,85 = 0,374 \quad (3.16)$$

Dosadením výtokových súčiniteľov do (3.14) a (3.15)

$$S_1 \geq \frac{P_{\text{ch}}}{\mu_1 \cdot c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \cdot \sqrt{(\rho_1 - \rho_s) \cdot \rho_1 \cdot g \cdot h}} \quad (\text{m}^2), \quad (3.17)$$

$$S_2 \geq \frac{P_{\text{ch}}}{\mu_2 \cdot c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \cdot \sqrt{(\rho_1 - \rho_s) \cdot \rho_2 \cdot g \cdot h}} \quad (\text{m}^2). \quad (3.18)$$



Obr. 3-7: Chladienie transformátora s prirodzeným vetraním

3.4.2 Výpočet plochy vetracích otvorov

Celkové straty transformátora

$$\Delta P_T = P_0 + P_k \cdot \beta^2 \quad (\text{W}; \text{W}, \text{W}, -) \quad (3.19)$$

$$\Delta P_T = 650 + 6,5 \cdot 10^3 \cdot 0,716^2 = 3982,3 \text{ W}$$

Vypočítaná strata transformátora pre chladienie (3.8)

$$P_{\text{ch}} = 0,6 \cdot \Delta P_T = 0,6 \cdot 3982,3 = 2335,4 \text{ W}$$

Množstvo vetracieho vzduchu (3.8)

$$M = \frac{P_{\text{ch}}}{c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)} = \frac{2335,4}{1010 \cdot (45 - 25)} = 0,116 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Minimálne prierezy vetracích otvorov pri zvolenej výške $h=3\text{m}$ podľa (3.17), (3.18)

$$S_1 = \frac{2335,4}{0,374 \cdot 1010 \cdot (45 - 25) \cdot \sqrt{(1,177 - 1,137)} \cdot 1,137 \cdot 9,8066 \cdot 3} = \underline{\underline{0,456 \text{ m}^2}}$$

$$S_2 = \frac{2335,4}{0,374 \cdot 1010 \cdot (45 - 25) \cdot \sqrt{(1,177 - 1,137)} \cdot 1,102 \cdot 9,8066 \cdot 3} = \underline{\underline{0,47 \text{ m}^2}}$$

Pre danú trafokomoru sme vypočítali minimálne prierezy vetracích otvorov, pri ktorých je zabezpečené správne chladienie transformátora. Nasávacie vetracie otvory osadené žalúziami a ochrannou sieťkou sú umiestnené v spodnej časti vstupných dvier do trafokomory. Rozmery týchto dvoch otvorov budú 500x500 mm (spolu 0,5m²). Odsávací otvor takisto osadený žalúziami a ochrannou sieťkou je umiestnený nad trafokomorou, tak ako je znázornené na obr. 3-7. Tento otvor bude mať rozmer 1000x500mm (0,5m²), čím sa dosiahnu lepšie podmienky pre chladienie transformátora.

4 ROZVODNÉ ZARIADENIA

Elektrické rozvodné zariadenia slúžia k rozdeleniu elektrickej energie a jej rozvodu do jednotlivých vetví rozvodnej sústavy. Najdôležitejšími parametrami rozvodných zariadení sú:

- **menovité napätie**
- **skratová odolnosť**
- **menovitý prúd prípojnicových vodičov**

Menovité napätie striedavých rozvodných zariadení sa určí z normalizovanej rady [15]

- úroveň nízkeho napätia (nn): 110, 230, 400, 500, 690 V
- úroveň vysokého napätia (vn): 3, 6, 10, 22, 35 kV

Skratová odolnosť rozvodných zariadení sa vyjadruje podľa ČSN 33 3040 doporučenými hodnotami menovitých prúdov, ktoré sú totožné s hodnotami krátkodobého nadprúdu pre dobu trvania 2s (Tab. 4-1).

Tab. 4-1: Doporučená rada skratových odolností [16]

| | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|----|------|----|----|----|------|-----|-----|-----|
| Menovitý vypínací prúd (kA) | 6,3 | 8 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 |
| Menovitý dynamický prúd (kA) | 16 | 20 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |

Menovitý prúd, ktorý určuje trvalé zaťaženie prípojnicových vodičov, sa pre striedavé rozvodné zariadenia určí z normalizovanej rady [15]: 100; 200; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500; 16000; 20000 [A].

Základnými prvkami rozvodných zariadení sú **prípojnice** a **odbočky**.

1. Prípojnice

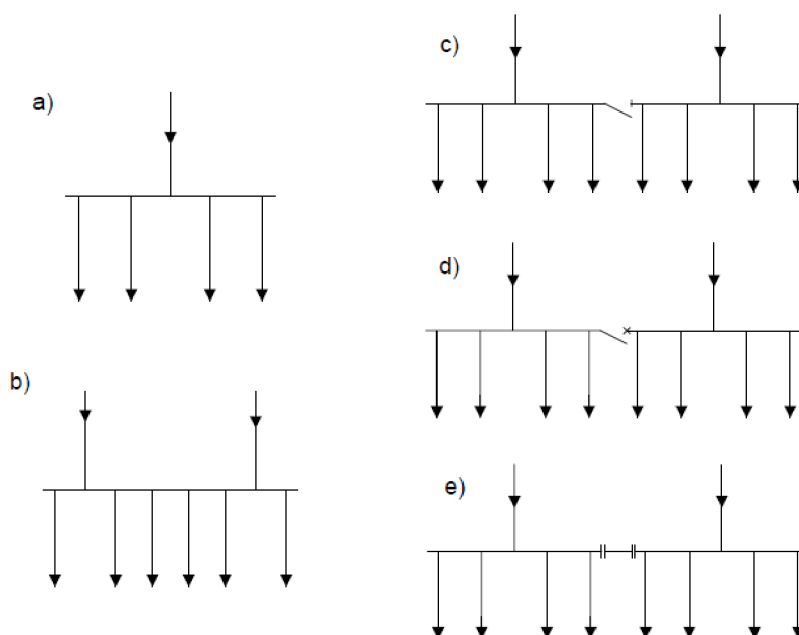
V rozvodniach nn a vn bývajú najčastejšie ako holé pásové vodiče obdĺžnikového prierezu dané prúdovou zaťažiteľnosťou a skratovými pomermi. Tieto vodiče majú za úlohu preniesť všetok privedený výkon do rozvodne prívodnými odbočkami a odvieť k jednotlivým spotrebičom vývodovými odbočkami. [15]

Počet prípojnic a ich usporiadanie je dané prevádzkovými vlastnosťami a stupňom dôležitosti dodávky elektrickej energie spotrebičom. Podľa toho rozdeľujeme priame prípojnicové systémy na:

- jednoduchý systém prípojnic
- dvojitý systém prípojnic
- trojitý systém prípojnic

Jednoduchý systém prípojnic je najjednoduchšie prevedenie rozvodného zariadenia. Používa sa tam, kde nie je požiadavka na neprerušenu prevádzku pri revíziách či opravách. Často sa využíva v rozvodných zariadeniach, ktoré napájajú spotrebiče kategórie 3. stupňa dôležitosti dodávky el. energie. To znamená spotrebiče, u ktorých strata napájania neohrozuje bezpečnosť

osôb, alebo národnohospodárske straty. Samotné prevedenie jednoduchého systému prípojnic môže mať niekoľko variant zobrazených na obr. 4-1.



Obr. 4-1: Schémy jednoduchého systému prípojnic [15]

V praxi sa pri vyvedení menších výkonov a použitím skriňových rozvádzačov využíva väčšinou tento systém prípojnic, preto sa o dvojitom a trojitom systéme zaoberať nebudeme.

2. Odbočky

Sú tvorené súborom prepojených prístrojov slúžiacich ku spínaniu merania a ochrane vývodov alebo prívodov elektrickej energie, spínačov prípojnic, vývodov k meracím transformátorom napätia apod.

Prístrojové vybavenie odbočky je nasledovné:

- a) **spínacie prístroje**, ktoré slúžia k zapínaniu a vypínaniu odbočky so zaťažением, alebo bez zaťaženia, teda naprázdno (vypínač, odpínač, odpojovač, stykač, istič, poistka).
- b) **prípojnicové odpojovače**, ktoré zabezpečujú viditeľné oddelenie odbočky od prípojnicového systému.
- c) **vývodové odpojovače**, ktoré zabezpečujú viditeľné odpojenie vývodu (vonkajšieho či káblového) od rozvodne. Býva vybavený aj so zemnými nožmi.
- d) **prístrojové transformátory napätia a prúdu**, ktoré sú potrebné na napájanie meracích, riadiacich, ochranných a signalizačných prístrojov v danej odbočke.
- e) **meracie a ochranné zariadenia**, ktoré slúžia na meranie výkonu prenášaného odbočkou, prípadné meranie parametrov odvádzanej el. energie a k chráneniu daného vývodu.

Okrem uvedených zariadení môže byť odbočka vybavená napríkladbleskoistkou pre ochranu proti prepätiu, alebo zariadením na prenos dispečerských správ diaľkovým vedením atď. Podľa funkcie ešte odbočky rozlišujeme ako **hlavné**, ktoré slúžia na odvádzanie výkonu z prípojnic (vývodové, transformátorové, alternátorové) alebo **vedľajšie**, ktoré slúžia k rôznym spínacím či meracím úkonom. [16]

5 ROZVODNÉ ZARIADENIA VN

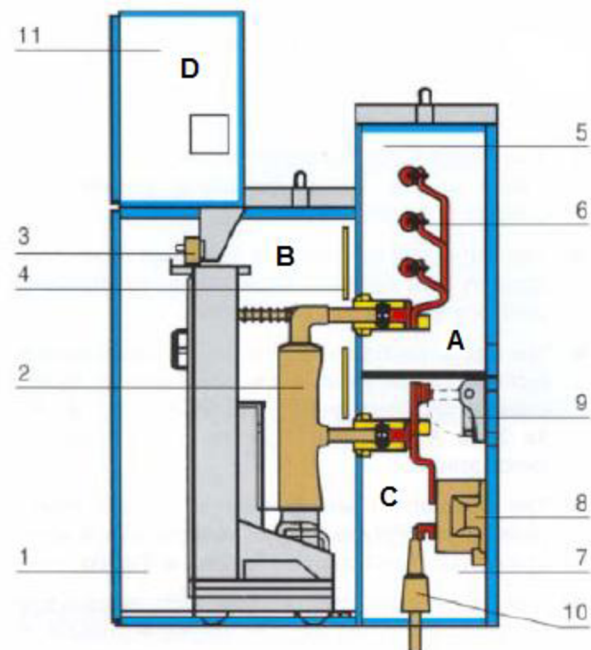
Z praktického hľadiska nás budú zaujímať rozvodné zariadenia skriňové, ktoré sa vyvinuli z kobkových rozvodní. Použitie týchto typov vychádza z ich rozmerov, možnosti inštalácie do nečistých priestorov s obsluhou bez vyššej elektrotechnickej kvalifikácie a v neposlednej rade možnosť úplného zostavenia už vo výrobnom závode.

V súčasnej dobe sa tieto rozvádzače používajú s izolovanými prípojnicami výhradne bez odpojovačov s výsuvnými spínacími prvkami. Každá odbočka je konštruovaná ako oceloplechová skriňa s patričným vybavením. Obsah skrine sa rozdeľuje na jednotlivé priestory (viď obr. 5-1):

- priestor prípojnic (A)
- priestor spínacieho prvku (B)
- priestor káblového vývodu (C)
- priestor sekundárnej výzbroje (D)

Legenda:

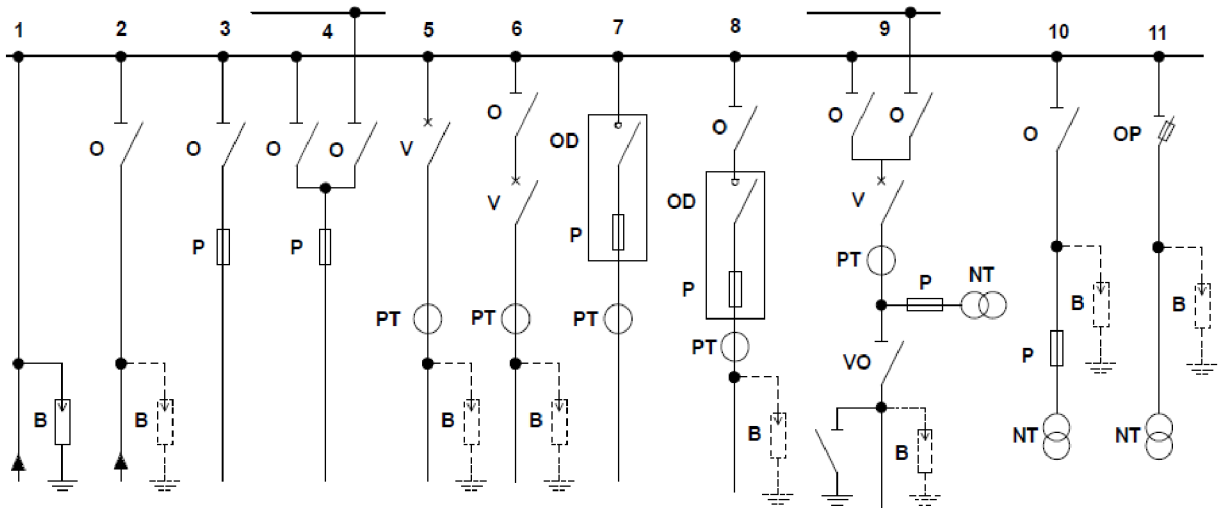
- 1 – vypínačový modul
- 2 – výsuvný podvozok s vypínačom
- 3 – konektor pomocných obvodov
- 4 – posuvné clony
- 5 – prípojnicový modul
- 6 – prípojnice
- 7 - modul káblového pripojenia
- 8 – menič prúdu
- 9 – zemný skratovač
- 10 – káblová koncovka
- 11 – skrinka nn



Obr. 5-1: Rez rozvádzačom vn [15]

Výsuvná časť podvozku je vybavená najčastejšie vypínačom odbočky, ktorý obsahuje dve trojice výsuvných kontaktov. Jedna trojica je na vstupe vypínača a druhá na výstupe za vypínacou komorou. Výsuvné kontakty tvoria kolíky, ktoré sa zasúvajú do pérújúcich kontaktov v tvare ružice. Tie sú upevnené na zadnej časti skrine. S výsuvnou časťou je možno manipulovať iba pri vypnutom stave vypínača, v zapnutom stave je vysunutie blokovávané. V rozvádzačoch sa často používajú zemné skratovače (uzemňovače), ktorých úlohou je bezpečne previesť nedokonalý skrat pri prípadnej poruche ktorejkoľvek časti rozvádzača na skrat kovový, na ktorý už bezpečne reagujú nadprúdové alebo skratové ochrany. V priestore prípojnic a vypínača sa zvyknú inštalovať snímače zábleskových ochrán pre vznik oblúkov.[16]

Vybavenie skrine určitej odbočky je typizované a úlohou projektanta je potom zostavenie rozvodne podľa daných požiadaviek. Obvyklé prístrojové vybavenie odbočiek v praxi je znázornené na obr. 5-2. Pre vyššie napätie a prúdové zaťaženie sa používajú rozvádzače vn izolované plynom (SF6).



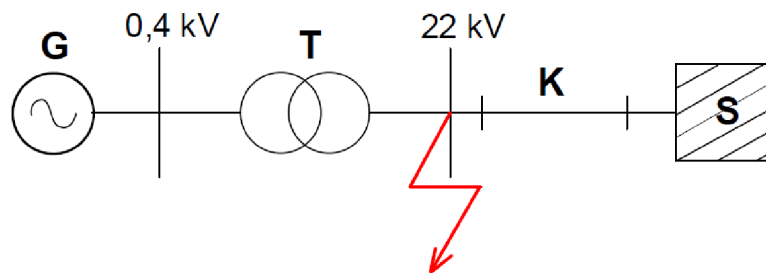
Legenda: **B** – bleskoistka, **O** – odpojovač, **V** – vypínač, **P** – poistka vn, **OD** – odpínač, **VO** – vývodový odpojovač, **PT** – prúdový transformátor, **NT** – napätový transformátor, **OP** – odpojovacia poistka

Obr. 5-2: Prístrojové vybavenie odbočiek rozvádzača vn

Z obrázku je vidieť, že odbočky č. 1 a 2 môžu byť iba prívodné, pričom sa predpokladá ich istenie na začiatku vedenia mimo uvažovanú rozvodňu. Ostatné odbočky 3 až 9 môžu byť použité ako vývodové. Odbočky 5 a 6 sú vybavené vypínačmi, ale pretože nemajú úplné vyzbrojenie môžu prenášať iba malé výkony. Odbočky 7 a 8 sú vyzbrojené odpínačmi, ktoré sú schopné spínať prúdy až do menovitej hodnoty. Skratové prúdy sú schopné po určitú dobu prenášať (do doby vybavenia ochrany), ale nie sú schopné ich vypínať. Proti skratom sú tieto odbočky chránené výkonovými poistkami vn. Odbočka 9 má úplnú výzbroj pre prenos najväčších výkonov z rozvodne s dvojitém systémom prípojnic. Vývodový odpojovač je vybavený zemnými nožmi pre odvedenie statického náboja po odpojení vedenia od napätia.

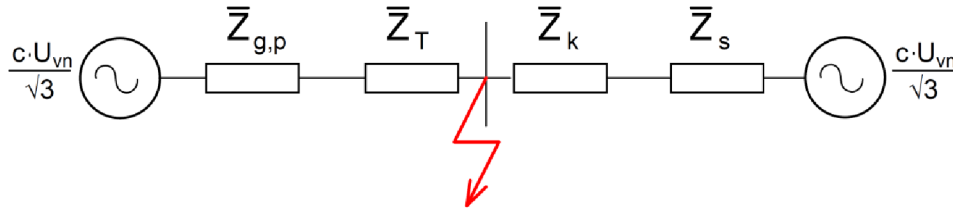
5.1 Návrh rozvodného zariadenia vn

Postup pri navrhovaní rozvodného zariadenia vysokého napätia vychádza so skratových pomerov na vn strane trafostanice. Pri výpočte však budeme uvažovať aj zdroj na strane nízkeho napätia. Schéma danej sústavy je na obr. 5-3, náhradná schéma sústavy je na obr. 5-4. Impedanciu káblového prepojenia medzi rozvádzačom nn a vn s transformátorom zanedbávame, lebo oproti iným prvkom majú zanedbateľnú impedanciu.



Legenda: **G** – generátor, **T** – transformátor, **K** – káblový prívod, **S** – nadradená sústava

Obr. 5-3: Schéma sústavy pri skrate na rozvádzači vn



Obr. 5-4: Náhradná schéma sústavy

Dimenzovanie káblového vedenia vysokého napätia

Káblové vedenie vysokého napätia dimenzujeme na minimálny prierez jadra vodiča S_{min} , pri ktorom je ešte vodič schopný akumulovať teplo vyvinuté skratovým prúdom bez prekročenia maximálnej dovolenej teploty vodiča pri skrate. [15]

Impedancia siete

$$\mathbf{Z}_s = j \cdot \frac{c \cdot U_{vn}^2}{S_k''} \quad (\Omega; \text{V}; \text{VA}) \quad (5.1)$$

kde c je napäťový súčiniteľ udávaný normou (pri zaťažení $c = 1,1$),
 S_k'' je počiatkový rázový skratový výkon pri 3f. skrate, ktorým prispieva sieť.
 Jeho hodnotu nám poskytuje prevádzkovateľ distribučnej siete v mieste pripojenia.

Impedancia prívodného kábla

$$\mathbf{Z}_k = l \cdot (\mathbf{R}_k + j \cdot 2\pi \cdot f \cdot L_k) \quad (\Omega; \text{km}, \Omega) \quad (5.2)$$

Impedancia transformátora

$$\mathbf{Z}_T = \mathbf{R}_T + j \cdot X_T \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \quad (5.3)$$

$$\mathbf{R}_T = r_T \cdot \frac{U_{vn}^2}{S_n} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{vn}^2}{S_n^2} \quad (5.4)$$

$$\mathbf{X}_T = x_T \cdot \frac{U_{vn}^2}{S_n} = \sqrt{u_k^2 - r_t^2} \cdot \frac{U_{vn}^2}{S_n} \quad (5.5)$$

Prepočítaná synchronná reaktancia generátora

$$\mathbf{Z}_{g,p} \cong jx_g'' \cdot \frac{U_{nn}^2}{S_{ng}} \cdot \left(\frac{U_{vn}}{U_{nn}} \right)^2 \quad (\Omega; -, \text{V}, \text{VA}, \text{V}, \text{V}) \quad (5.6)$$

Celková impedancia

$$\mathbf{Z}_c = \frac{(\mathbf{Z}_{g,p} + \mathbf{Z}_T) \cdot (\mathbf{Z}_p + \mathbf{Z}_s)}{\mathbf{Z}_{g,p} + \mathbf{Z}_T + \mathbf{Z}_p + \mathbf{Z}_s} \quad (\Omega) \quad (5.7)$$

Počiatočný rázový skratový prúd

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_{vn}}{\sqrt{3} \cdot |Z_c|} \quad (\text{A}; -, \text{V}, \Omega) \quad (5.8)$$

Skratový prúd prechádzajúci prírodným káblom

$$I_p'' = I_k'' \cdot \left| \frac{Z_{g,p} + Z_T}{Z_{g,p} + Z_T + Z_{vn} + Z_s} \right| \quad (\text{A}; \text{A}, \Omega) \quad (5.9)$$

Ekvivalentný otepľovací prúd

$$I_{ke} = k_e \cdot I_p'' \quad (\text{A}; -, \text{A}) \quad (5.10)$$

kde k_e je súčiniteľ závislý na dobe skratu t_k (tab. 21 v [15]).

Nárazový skratový prúd

$$I_{km} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_p'' \quad (\text{A}; -, \text{A}) \quad (5.11)$$

kde κ je súčiniteľ nárazového skratového prúdu (tab. 22 v [15])

Minimálny prierez

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_z}}} \quad (\text{mm}^2; \text{A}, \text{s}, \text{J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{C}^{-1}, \text{C}, \Omega \text{mm}^2/\text{m}, \text{C}) \quad (5.12)$$

kde c_0 je špecifické teplo vodiča,
 ϑ_f je fiktívna teplota materiálu,
 ρ_{20} je špecifický odpor pri 20°C,
 ϑ_k maximálna dovolená teplota vodiča pri skrate,
 ϑ_z maximálna prevádzková teplota vodiča.

Pri voľbe kábla musí platiť

$$S \geq S_{\min} \quad (5.13)$$

Ak by hodnota minimálneho prierezu vyšla väčšia než hodnota prierezu zvoleného kábla, treba zvoliť kábel s väčším prierezom a opäť vykonať kontrolu na minimálny prierez.

Kontrola prúdového zaťaženia kábla pri vyvedení výkonu z KJ

$$I_n \geq \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{vn} \cdot \cos \varphi} \quad (\text{A}; \text{W}, \text{V}), \quad (5.14)$$

kde I_n je prúdová zaťažiteľnosť prírodného káblového vedenia zadaná výrobcom.

Výpočet minimálneho prierezu prírodného kábla

Prírodný vn kábel typu 22-AXEKVCEY sme vybrali z katalógu firmy DRAKA KABELY, s.r.o., ktorého parametre sú uvedené v tab. 5-1.

Tab. 5-1: Technické údaje prívodného kábla 22-AXEKVCEY [17]

| Počet žíl x prierez jadra (mm ²) | Celkový priemer (mm) | Odpor jadra max. (Ω/km) | Indukčnosť v trojuholníku (mH/km) | Prúdová zaťažiteľnosť pri teplote jadra 65 °C v zemi (A) | Max. skratový prúd jadra behom 1s pri počiatkovej teplote 90 °C (kA) |
|--|--|--|--|--|--|
| 1 x 95/25 | 36 | 0,32 | 0,42 | 235 | 8,9 |
| Materiálové konštanty hliníku [15] | | | | | |
| fiktívna teplota ϑ_f (°C) | špecifické teplo c_0 (J·cm ⁻³ ·°C ⁻¹) | špecifický odpor ρ_{20} (Ωmm ² /m) | maximálna dovolená teplota pri skrate jadra ϑ_k (°C) | maximálna prevádzková teplota jadra ϑ_z (°C) | |
| 228 | 2,417 | 0,02941 | 250 | 90 | |

Impedancia siete (5.1), skratový výkon siete v mieste pripojenia uvažujeme $S_k'' = 300\text{MVA}$

$$Z_s \cong j \cdot \frac{1,1 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{300 \cdot 10^6} = 1,775 j \Omega$$

Impedancia prívodného kábla (5.2), dĺžku kábla uvažujeme $l = 200\text{m}$

$$Z_k = 0,2 \cdot (0,32 + j \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,61 \cdot 10^{-3}) = (0,064 + 0,0264 j) \Omega$$

Impedancia transformátoru (5.3)

$$Z_T = (3,146 + 28,869 j) \Omega$$

$$R_T = \frac{6500 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{(1000 \cdot 10^3)^2} = 3,146 \Omega$$

$$X_T = \sqrt{(0,06)^2 - \left(\frac{6500}{1000 \cdot 10^3}\right)^2} \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1000 \cdot 10^3} = 28,869 \Omega$$

Prepočítaná synchronná reaktancia generátora (5.6)

$$Z_{g,p} \cong j0,096 \cdot \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{800 \cdot 10^3} = 58,08 j \Omega$$

Celková impedancia (5.7)

$$Z_c = \frac{(58,08 j + 3,146 + 28,869 j) \cdot (0,064 + 0,0264 j + 1,775 j)}{58,08 j + 3,146 + 28,869 j + 0,064 + 0,0264 j + 1,775 j} = (1,766 \angle 87,96^\circ) \Omega$$

3-fázový počiatkový rázový skratový prúd na prípojnicích (5.8)

$$I_k'' = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,766} = 7,912 \text{ kA}$$

Skratový prúd prechádzajúci prívodným káblom (5.9)

$$I_p'' = 7,912 \cdot \left| \frac{58,08j + 3,146 + 28,869j}{58,08j + 3,146 + 28,869j + 0,064 + 0,0264j + 1,775j} \right| = 7,751 \text{ kA}$$

Ekvivalentný otepľovací prúd prívodného kábla (5.10), súčiniteľ $k_e = 1,01$ pre dobu skratu 1s

$$I_{ke} = 1,01 \cdot 7,751 = 7,829 \text{ kA}$$

Mínimálny prierez (5.12) pre dobu skratu 1s

$$S_{\min} = \frac{7829 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 250}{228 + 90}}} = \underline{\underline{85,95 \text{ mm}^2}}$$

Kontrola prúdového zaťaženia (5.14)

$$235 > \frac{680 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0,95}$$

$$\underline{\underline{235 \text{ A} > 18,78 \text{ A}}}$$

Z predošlých výpočtov je vidieť, že zvolený prívodný kábel typu 22-AXEKCVEY 1x95 ako po stránke minimálneho prierezu, tak po stránke prúdového zaťaženia vyhovuje.

Výpočet minimálneho prierezu kábla na prepojenie rozvádzača vn s transformátorom

Vzhľadom k malej dĺžke tohto kábla jeho impedanciu zanedbávame a preto veľkosť skratového prúdu uvažujeme rovnakú ako pri dimenzovaní prívodného kábla. Podstatný rozdiel vo výpočte minimálneho prierezu spočíva v dobe skratu, kde vplyvom vn poistiek dochádza k vypnutiu skratového prúdu v čase 0,01s (už pri prúde 800A). Vo výpočte budeme uvažovať čas 0,02s.

Ekvivalentný otepľovací prúd prepojovacieho kábla (5.10), súčiniteľ $k_e = 1,35$ pre dobu skratu 0,02s

$$I_{ke} = 1,35 \cdot 7,751 = 10,463 \text{ kA}$$

Mínimálny prierez (5.12) pre dobu skratu 0,02s

$$S_{\min} = \frac{10,463 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,02}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228 + 20)}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 250}{228 + 90}}} = \underline{\underline{16,24 \text{ mm}^2}}$$

Z katalógu by sme už mohli zvoliť kábel s najbližším prierezom 35 mm^2 , ale v praxi sa častejšie používa kábel typu 22-AXEKCVEY 1x70. Prúdová zaťažiteľnosť tohto kábla (190A) nám podľa podmienky (5.14) opäť vyhovuje.

Voľba rozvodného zariadenia vn

Pri dimenzovaní prípojnic rozvádzača vn musí platiť

$$I_{\text{vyp}} \geq I_{\text{ke}} \quad (\text{A}; \text{A}) \quad (5.15)$$

$$I_{\text{dyn}} \geq I_{\text{km}} \quad (\text{A}; \text{A}) \quad (5.16)$$

$$I_{\text{ke}} = k_e \cdot I_k'' = 1,01 \cdot 7,912 = 7,991 \text{ kA}$$

$$I_{\text{km}} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,912 = 17,903 \text{ kA}$$

Volíme najbližšie vyššie hodnoty z normovanej rady uvedenej v tab. 5-1, avšak výrobcovia rozvodných zariadení vn často ponúkajú modulárne rozvádzače obmedzeným výberom skratovej odolnosti. Rozvádzač vn sme si vybrali od firmy SCHMEIDER ELEKTRIC, s.r.o. Jedná sa o skriňový vzduchom izolovaný rozvádzač, ktorého parametre zobrazuje tab. 5-2.

Tab. 5-2: Základné technické údaje rozvádzača vn [18]

| Rada | Menovité napätie | Frekvencia | Izolačná hladina (1,2/50 μ s) | | Menovitý prúd | Krátkodobý skratový prúd | Dynamický skratový prúd |
|------|------------------|------------|--------------------------------------|------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| | | | medzi fázami | proti zemi | | | |
| | [kV] | [Hz] | [kV max.] | | [A] | [kA/1s] | [kA] |
| SM6 | 24 | 50 | 125 | 145 | 630 | 20 | 50 |

Dané rozvodné zariadenie sa bude skladať z troch polí, ktoré sa vyberú ako typizované skrine z katalógu firmy podľa požiadaviek na výzbroj. Pre lepšiu prehľadnosť jednotlivých polí je k dispozícii jednopólové schéma na obr. 5-5.

5.2 Výbava polí rozvádzača vn

Pole R1.1 – prívod s vypínačom, typ DM1-A, VxŠxH (1600x750x1220)

1. Prívodný kábel typu 3x 22-AXEKVCEY 1x95 osadený káblou koncovkou RAYCHEM typu POLT-24D/1Xl-L16A so skrutkovými okami. Kábel s koncovkou sa privedie zdola do skrine a spolu s obmedzovačom napätia typu RAYCHEM RDA 24 [19], pripojeného paralelne ku koncovke, sa naskrutkuje na vypínač SF1.
2. SF6 výkonový vypínač typu SF1, ktorý má elektrické ovládanie pomocou motorového pohonu 110VDC. Je hlavným vypínačom bioplynovej stanice a zároveň tvorí rozpadové miesto trafostanice.
3. Trojpolohový spínač s funkciou odpojovača a uzemňovača zapuzdrený s plynom SF6. Odpojovač môže byť v jednej z týchto polôh: „zapnuté“, „vypnuté“, „uzemnené“.
4. Indikátor napätia VPIS, ktorý umožňuje kontrolu prítomnosti napätia na prívodnom kábli.

5. 3xPTP v dvojjadrovom prevedení typu CTS 25X Sch, ktorý obsahuje jedno primárne vinutie a dve sekundárne vinutia pre nepriame dispečerské meranie a pre ochranu SEPAM 80.

Tab. 5-3: Parametre PTP CTS 25X Sch [20]

| typ | Primárny prúd I_{1n} (A) | Sekundárny prúd I_{2n} (A) | Izolačné napätie U (kV) | Trieda presnosti | Zaťaž sek. obvodu S (VA) |
|---------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------------|
| Meranie | 30 | 1 | 25 | 1FS10 | 1,5 |
| Ochrana | 30 | 1 | 25 | 10P10 | 2,5 |

6. NN skriňa vrátane multifunkčnej ochrany SEPAM 80, kde o jej nastavení pojednáva kapitola 8.1.

Pole R1.2 – obchodné meranie, typ QBC-B, VxŠxH (1600x750x1020)

1. 3xMTN jednopólový typu VTS 25 Sch, ktorý obsahuje jedno primárne vinutie a dve sekundárne vinutia na nepriame dispečerské a obchodné meranie.

Tab. 5-4: Parametre MTN VTS 25 Sch [21]

| typ | Primárne napätie U_{1n} (V) | Sekundárne napätie U_{2n} (V) | Trieda presnosti | Zaťaž sek. obvodu S (VA) |
|-------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|
| Dispečerské | $22\ 000/\sqrt{3}$ | $100/\sqrt{3}$ | 0,5 | 10 |
| Obchodné | $22\ 000/\sqrt{3}$ | $100/\sqrt{3}$ | 0,5 | 10 |

2. 2xMTP jednojadrové typu CTS 25X Sch určené pre nepriame obchodné meranie, kde sa vyžaduje meranie prúdu v krajných fázových vodičov (L1 a L3).

Tab. 5-5: Parametre MTP CTS 25X Sch [20]

| typ | Primárny prúd I_{1n} (A) | Sekundárny prúd I_{2n} (A) | Izolačné napätie U (kV) | Trieda presnosti | Zaťaž sek. obvodu S (VA) |
|---------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------|----------------------------|
| Meranie | 30 | 5 | 25 | 0,5S | 10 |

Sekundárne prúdy a napätia z týchto transformátorov budú káblami (CYKY 2x6, CYKY 4x10) privedené do skrine primárneho merania MS2 umiestnené na verejnom prístupnom mieste. V skrini bude umiestnený štvorkvadrantový elektromer s impulznými výstupmi, ktoré budú cez oddelovací optočlen typu OP.6 prenášané káblom do riadiaceho systému investora.

Kontrola zaťaženia sekundárneho obvodu meracích transformátorov

Tab. 5-6: Parametre káblov CYKY

| typ | Činný odpor R_k (Ω /km) | Dĺžka kábla l (km) | Prúdová zaťažiteľnosť I (A) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| CYKY 2x6 | 3,08 | 0,050 | 45 |
| CYKY 4x10 | 1,83 | 0,050 | 60 |

Elektromer typu ETS R 310 Křížik:

Spotreba napät'ovej cievky $\Delta S_u = 4,8 \text{ VA}$

Spotreba prúdovej cievky $\Delta S_i = 1,2 \text{ VA}$

MTP CTS 25X Sch

Straty v káblovom vedení

$$\Delta S_k \cong R_k \cdot I \cdot I^2 = 1,83 \cdot 0,05 \cdot 5^2 = 2,29 \text{ VA}$$

Kontrola zaťaženia sekundárneho obvodu

$$S \geq \Delta S_i + \Delta S_k$$

$$10 > 1,2 + 2,29$$

$$\underline{10 \text{ VA} > 3,49 \text{ VA}} \text{ - navrhnutý MTP vyhovuje}$$

MTN VTS 25 Sch

Straty v káblovom vedení vplyvom malého prúdu môžeme zanedbať.

Kontrola zaťaženia sekundárneho obvodu

$$S \geq \Delta S_u$$

$$\underline{10 \text{ VA} > 4,8 \text{ VA}} \text{ - navrhnutý MTN vyhovuje}$$

Pole R1.3 – vývod na transformátor, typ QM, VxŠxH (1600x375x940)

1. Trojpolohový spínač s funkciou odpínača a uzemňovača zapuzdrený s plynom SF6. Obsahuje ručný mžikový pohon, pri pretavení poistky dochádza k vypnutiu.
2. Výkonové poistkové vložky typu PM 45 zapojené v každej fáze, ktoré chránia transformátor pred účinkami skratových prúdov. Ich menovitý prúd je 50A.
3. Indikátor napätia VPIS.
4. Káblová koncovka RAYCHEM typu POLT-24D/1X1-L16A osadená na vývodový kábel typu 3x 22-AXEKVCEY 1x70. Pred pripojením tohto kábla na priechodky transformátora sa osadí koncovkami RAYCHEM typu POLT-24D/1X1.

Zálohovaný zdroj 110VDC- rozvádzač ANM

Rozvádzač umiestnený v rozvodne VN, ktorý obsahuje zdroj 110VDC, vrátane batérií a usmerňovača. Služi pre napájanie pomocných obvodov diaľkového ovládania a signalizácie pre potreby distribútora a žiadateľa po dobu 5 hodín pri výpadku sieťového napájania.

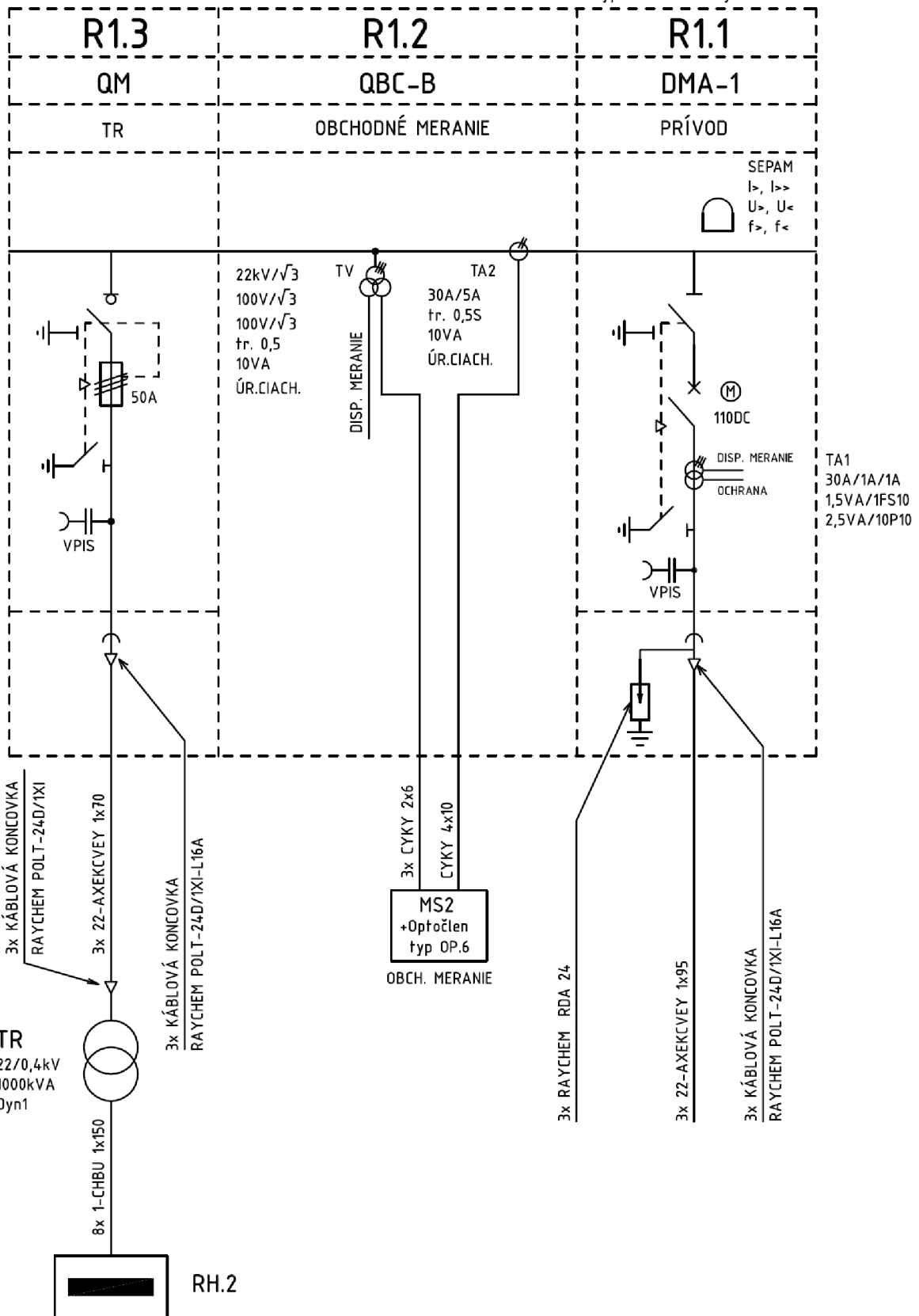
Dispečerské riadenie – skriňa riadiaceho systému AXY

Zariadenie umiestnené v rozvodni VN slúžiace pre zber a prenos informácií distribútora E.ON. Dvere tejto skrine sú osadené vložkou podľa štandardu distribútora a prístup k zariadeniu je umožnený iba servisným pracovníkom. Pri inštalácii tejto skrine musí byť rešpektovaná možnosť vyvedenia vonkajšej antény pre GPRS.

SCHNEIDER ELEKTRIC SM6

3 AC, 50Hz, 22kV, IT

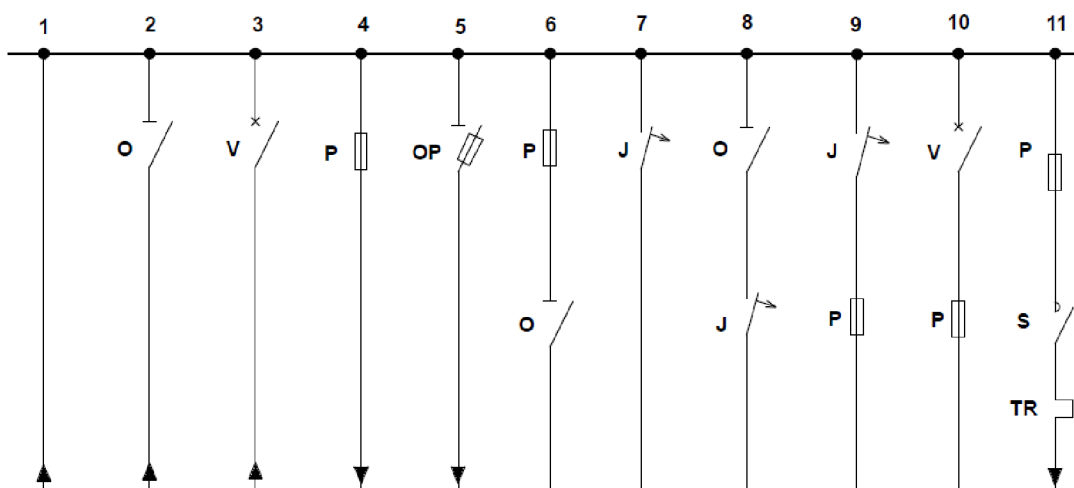
24kV, 630A, $I_{vyp} = 20kA$, $I_{dyn} = 50kA$



Obr. 5-5: Jednopolové schéma rozvádzača VN

6 ROZVODNÉ ZARIADENIE NN

Rozvádzače v oblasti nízkeho napätia sa používajú najmä na napájanie vlastnej spotreby, napájanie skupiny spotrebičov, prípadne na kompenzáciu jalového prúdu. Tieto rozvádzače sa vyskytujú v rôznych prevedeniach, rozdelených podľa spôsobu delenia vnútorného priestoru, stupňa použitého krytu IP, spôsobu upevnenia prístrojov, konštrukčného prevedenia alebo podľa spôsoby ochrany proti nebezpečnému dotyku. V súčasnosti sa uplatňujú najmä stavebnicové skriňové rozvádzače nn s výsuvnými jednotkami a jednoduchým systémom prípojnic. Možnú výzbroj odbočiek z rozvodne nn ukazuje obr. 5-1.



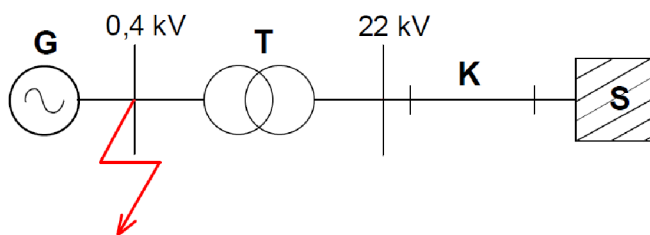
Legenda: O – odpojovač, V – vypínač, P – poistka, OP – poistkový odpínač, J – istič, TR – tepelné relé, S – stykač

Obr. 6-1: Výzbroj odbočiek rozvádzača nn

Odbočky č. 1, 2 a 3 môžu byť iba prívodné či napájajúce, pričom sa predpokladá istenie prívodného vodiča mimo rozvodné zariadenie. Odbočky 4 a 5 môžu byť použité iba ako vývodové a odbočky 6 – 11 ako vývodové tak aj napájajúce. U odbočiek 4, 5, 6 a 10 sa predpokladá, že poistka bude pôsobiť ako na preťaženie tak aj na skraty. U odbočiek 7 a 8 sa proti preťaženiu a skratu použije istič. Poistka u odbočky 9 slúži proti skratu a proti preťaženiu sa použije istič. Táto kombinácia sa využije tam, kde sú sústredené veľké skratové výkony a kde by istič nemal dostatočnú vypínaciu schopnosť. Odbočka 13 obsahuje poistku, stykač a tepelné relé. Poistka chráni vývod proti skratu a tepelné relé proti preťaženiu. Ak má tepelné relé dostatočnú vypínaciu schopnosť, môže priamo vypínať vývod, pri menšej vypínacej schopnosti môže relé vypnúť cievku stykača, ktorý potom so svojimi kontaktmi rozopne vývod.

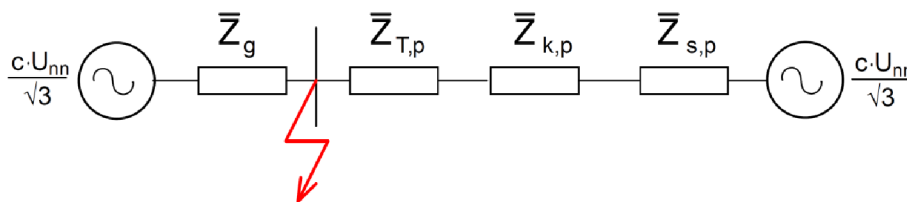
6.1 Návrh rozvodného zariadenia nn

Postup návrhu rozvádzača nn bude obdobný ako v kap. 5.1 s rozdielom, že budeme vychádzať zo skratových pomerov na strane nízkeho napätia transformovne. Pri výpočtoch opäť zanedbáme impedancie prepojovacích silových káblov kvôli malým hodnotám v porovnaní s inými prvkami siete.



Legenda: **G** – generátor, **T** – transformátor, **K** – káblový prívod, **S** – nadradená sústava

Obr. 6-2: Schéma sústavy pri skrute na rozvádzači nn



Obr. 6-3: Náhradná schéma sústavy

Dimenzovanie silových káblov na prepojenie rozvádzača nn s transformátorom

Pri dimenzovaní silových káblov v prvom rade kontrolujeme prúdové zaťaženie, ktoré pri vyvedení výkonu do 2 MW zvyčajne dosahuje značných hodnôt až niekoľko tisíc ampérov. Preto potrebujeme niekoľko paralelne spojených káblov pripadajúcich na jednu fázu.

Tab. 6-1: Technické údaje silového kábla 1-CHBU [22]

| Počet žíl x prierez jadra (mm ²) | Celkový priemer (mm) | Odpor jadra max. (Ω/km) | Prúdová zaťažiteľnosť na vzduchu (A) | Ekvivalentný skratový prúd I _s (kA) |
|--|---|--|---|---|
| 1 x 150 | 24 | 0,132 | 624 | 21,5 |
| Materiálové konštanty medi [15] | | | | |
| Fiktívna teplota θ _f (°C) | Špecifické teplo c ₀ (J·cm ⁻³ ·°C ⁻¹) | Špecifický odpor ρ ₂₀ (Ωmm ² /m) | Maximálna dovolená teplota jadra pri skrute θ _k (°C) | Maximálna prevádzková teplota jadra θ _z (°C) |
| 234,5 | 3,5 | 0,01786 | 250 | 90 |

Kontrola prúdového zaťaženia

$$n \cdot I_{n,kab} \geq \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{nn} \cdot \cos \varphi} \quad (6.1)$$

kde n je počet paralelných silových káblov,
 $I_{n,kab}$ je menovité prúdové zaťaženie jedného silového kábla udané výrobcom.

$$2 \cdot 624 > \frac{680 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95}$$

$$\underline{\underline{1248 \text{ A} > 1033,15 \text{ A}}}$$

Aby vyhovovala podmienka prúdového zaťaženia volíme 2 paralelné káble na jednu fázu.

Prepočítaná impedancia siete na stranu nn

$$\mathbf{Z}_{s,p} = \mathbf{Z}_s \cdot \left(\frac{U_{nn}}{U_{vn}} \right)^2 = 1,775j \cdot \left(\frac{400}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = 0,5868j \cdot 10^{-3} \Omega$$

Prepočítaná impedancia prívodného kábla na stranu nn

$$\mathbf{Z}_{k,p} = \mathbf{Z}_k \cdot \left(\frac{U_{nn}}{U_{vn}} \right)^2 = (0,064 + 0,0264j) \cdot \left(\frac{400}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = (21,157 + 8,727j) \cdot 10^{-6} \Omega$$

Prepočítaná impedancia transformátoru na stranu nn

$$\mathbf{Z}_{T,p} = \mathbf{Z}_T \cdot \left(\frac{U_{nn}}{U_{vn}} \right)^2 = (3,146 + 28,869j) \cdot \left(\frac{400}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = (1,04 + 9,543j) \cdot 10^{-3} \Omega$$

Synchronná reaktancia generátora

$$\mathbf{Z}_g \cong jx_g'' \cdot \frac{U_{nn}^2}{S_{ng}} = j0,096 \cdot \frac{400^2}{800 \cdot 10^3} = 0,0192j \Omega$$

Celková impedancia

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}_c &= \frac{\mathbf{Z}_g \cdot (\mathbf{Z}_{k,p} + \mathbf{Z}_{s,p} + \mathbf{Z}_{T,p})}{\mathbf{Z}_g + \mathbf{Z}_{k,p} + \mathbf{Z}_{s,p} + \mathbf{Z}_{T,p}} = \\ &= \frac{0,0192 \cdot [(21,157 + 8,727j) \cdot 10^{-6} + 0,5868j \cdot 10^{-3} + (1,04 + 9,543j) \cdot 10^{-3}]}{0,0192 + (21,157 + 8,727j) \cdot 10^{-6} + 0,5868j \cdot 10^{-3} + (1,04 + 9,543j) \cdot 10^{-3}} = \\ &= (6,667 \cdot 10^{-3} \angle 86,1^\circ) \Omega \end{aligned}$$

Počiatkový rázový skratový prúd na prípojniciach nn rozvádzača

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_{nn}}{\sqrt{3} \cdot |\mathbf{Z}_c|} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot |6,667 \cdot 10^{-3}|} = 38,103 \text{ kA}$$

Skratový prúd tečúci káblami medzi rozvádzačom nn a transformátorom

$$\begin{aligned} I_{nn}'' &= I_k'' \cdot \left| \frac{\mathbf{Z}_g}{\mathbf{Z}_g + \mathbf{Z}_{T,p} + \mathbf{Z}_{k,p} + \mathbf{Z}_{s,p}} \right| = \\ &= 38,103 \cdot \left| \frac{0,0192}{0,0192 + (21,157 + 8,727j) \cdot 10^{-6} + 0,5868j \cdot 10^{-3} + (1,04 + 9,543j) \cdot 10^{-3}} \right| = \\ &= 24,919 \text{ kA} \end{aligned}$$

Ekvivalentný otepľovací prúd prepojovacieho kábla, súčiniteľ $k_e = 1$ pre dobu skratu 1s

$$I_{ke} = k_e \cdot I_{nn}'' = 1 \cdot 24,919 = 24,919 \text{ kA}$$

Minimálny prierez (5.12) pre dobu skratu 1s

$$S_{\min} = \frac{24,919 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{3,5 \cdot (234,5 + 20)}{0,01786} \cdot \ln \frac{234,5 + 140}{234,5 + 70}}} = \underline{\underline{245,3 \text{ mm}^2}}$$

Pri paralelnom spojení dvoch káblov celkový prierez dosahuje hodnotu 300 mm^2 , tým pádom nám navrhnutý kábel typu 1-CHBU 1x150 ako zo stránky minimálneho prierezu tak zo stránky prúdovej zaťažiteľnosti vyhovuje. Na prepojenie použijeme celkovo 8x (1-CHBU 1x150) kabeláže.

Dimenzovanie silových káblov na prepojenie KJ s rozvádzačom nn

Tento krát budeme skrat uvažovať na svorkách synchronného generátora kogeneračnej jednotky, kedy pri zanedbaní impedancie silových káblov na strane nn bude ekvivalentný otepľovací prúd tečúci týmto káblom totožný ako pri predošlom výpočte.

Tab. 6-2: Technické údaje silového kábla 1-CYKY [23]

| Počet žíl x prierez jadra (mm^2) | Celkový priemer (mm) | Odpor jadra max. (Ω/km) | Prúdová zaťažiteľnosť vo vzduchu (A) | Prúdová zaťažiteľnosť v zemi (A) |
|---|--|---|--|--|
| 4 x 185 | 52 | 0,099 | 365 | 404 |
| Materiálové konštanty medi [15] | | | | |
| Fiktívna teplota ϑ_f ($^{\circ}\text{C}$) | Špecifické teplo c_0 ($\text{J}\cdot\text{cm}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$) | Špecifický odpor ρ_{20} ($\Omega\text{mm}^2/\text{m}$) | Maximálna dovolená teplota pri skrate ϑ_k ($^{\circ}\text{C}$) | Maximálna prevádzková teplota ϑ_z ($^{\circ}\text{C}$) |
| 234,5 | 3,5 | 0,01786 | 140 | 70 |

Kontrola prúdového zaťaženia

$$n \cdot I_{n,\text{kab}} \geq \frac{P_g}{\sqrt{3} \cdot U_{nn} \cdot \cos \varphi} \quad (6.2)$$

$$4 \cdot 365 > \frac{800 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95}$$

$$\underline{\underline{1460 \text{ A} > 1215,47 \text{ A}}}$$

Minimálny prierez (5.12) pre dobu skratu 1s

$$S_{\min} = \frac{24,919 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{3,5 \cdot (234,5 + 20)}{0,01786} \cdot \ln \frac{234,5 + 140}{234,5 + 70}}} = \underline{\underline{245,3 \text{ mm}^2}}$$

Pri použití trojžilového kábla celkový prierez kábla na jednu fázu dosahuje hodnotu 740 mm^2 . Takto navrhnutý kábel typu 1-CYKY 4x185 vyhovuje aj z hľadiska minimálneho prierezu. Na vyvedenie výkonu z KJ použijeme celkovo 4x (1-CYKY 4x185) kabeláže.

Voľba rozvodného zariadenia nn

Pri dimenzovaní prípojnic rozvádzača nn musí platiť

$$I_{\text{vyp}} \geq I_{\text{ke}}$$

$$I_{\text{dyn}} \geq I_{\text{km}}$$

$$I_{\text{ke}} = k_e \cdot I_k'' = 1 \cdot 38,103 = 38,103 \text{ kA}$$

$$I_{\text{km}} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 38,103 = 75,44 \text{ kA}$$

V praxi sa zvyčajne menovitý prúd rozvádzača NN volí podľa veľkosti transformátora

$$I_n = \frac{S_{\text{nT}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{nn}}} = \frac{1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1443 \text{ A} \quad (6.3)$$

Z menovitej rady skratovej odolnosti (tab. 4-1) prípojnic a menovitej rady prúdu prípojnicových vodičov volíme najbližšie vyššie hodnoty, podľa ktorých sa navrhne rozvodné zariadenie nízkeho napätia.

$$I_{\text{vyp}} = 40 \text{ kA}$$

$$I_{\text{dyn}} = 80 \text{ kA}$$

$$I_n = 1600 \text{ A}$$

6.2 Výbava polí rozvádzača nn**Pole RH.1 – prívod z KJ, VxŠxH (1800x800x600)**

1. Prívodné káble typu 1-CYKY 4x185 z distribučnej skrine kogeneračnej jednotky sa pripoja do ističa FA1 s blokovými svorkami podľa katalógu výrobcu.
2. Istič FA1 typu BL1600S [13], ktorý bude chrániť prívodný kábel pred účinkami skrato-vých prúdov, bude vybavený nadprúdovou spúšťou typu SE-BL-1250-DTV3 s me-novitou hodnotou do 1250A a motorovým pohonom 230AC pre diaľkové ovládanie.

$$\text{Nastavenie spúšte : } \begin{aligned} I_r &= 1250\text{A} \\ I_{\text{km}} &= 5\text{kA} \end{aligned}$$

3. 3x MTP v kliešťovom prevedení s menovitým prevodom 1500/5A, triedou presnosti 0,5 a sekundárnym výkonom 7,5VA pre napájanie prúdového obvodu elektromeru PH1 zapojeného do série s multimetrom PM.
4. Vývod s poisťovým odpínačom QFU01 pre istenie napät'ového obvodu meracích prístrojov. Poisťkový odpínač je vybavený valcovými poisťkami typu PV10 menovitého prúdu 2A [24].

5. Trojfázový elektronický elektromer typu ETS 410R-S1MM [25] pre podružné meranie činnej a jalovej energie (kapacitnej, induktívnej) - odber - dodávka.
6. Multimeter DMK 20 [26] pre zobrazenie okamžitých hodnôt P , Q , S , U_s , U_f , I , $\cos\varphi$.

Pole RH.2 – vývod, VxŠxH (1800x800x600)

1. Vývod s poiskovým odpínačom [27] QFU02 pre istenie rozvádzača R1 vlastnej spotreby kogeneračnej jednotky. Odpínač je vybavený nožovými poiskami typu PNA3 s menovitým prúdom 200A [28].
2. Istič FA2 typu BL1600S s ručným pohonom pre istenie transformátora pred účinkami skratových prúdov. Je vybavený nadprúdovou spúšťou typu SE-BL-1600-DTV3 s menovitou hodnotou do 1600A.

Nastavenie spúšte : $I_r = 1445A$
 $I_{km} = 5kA$

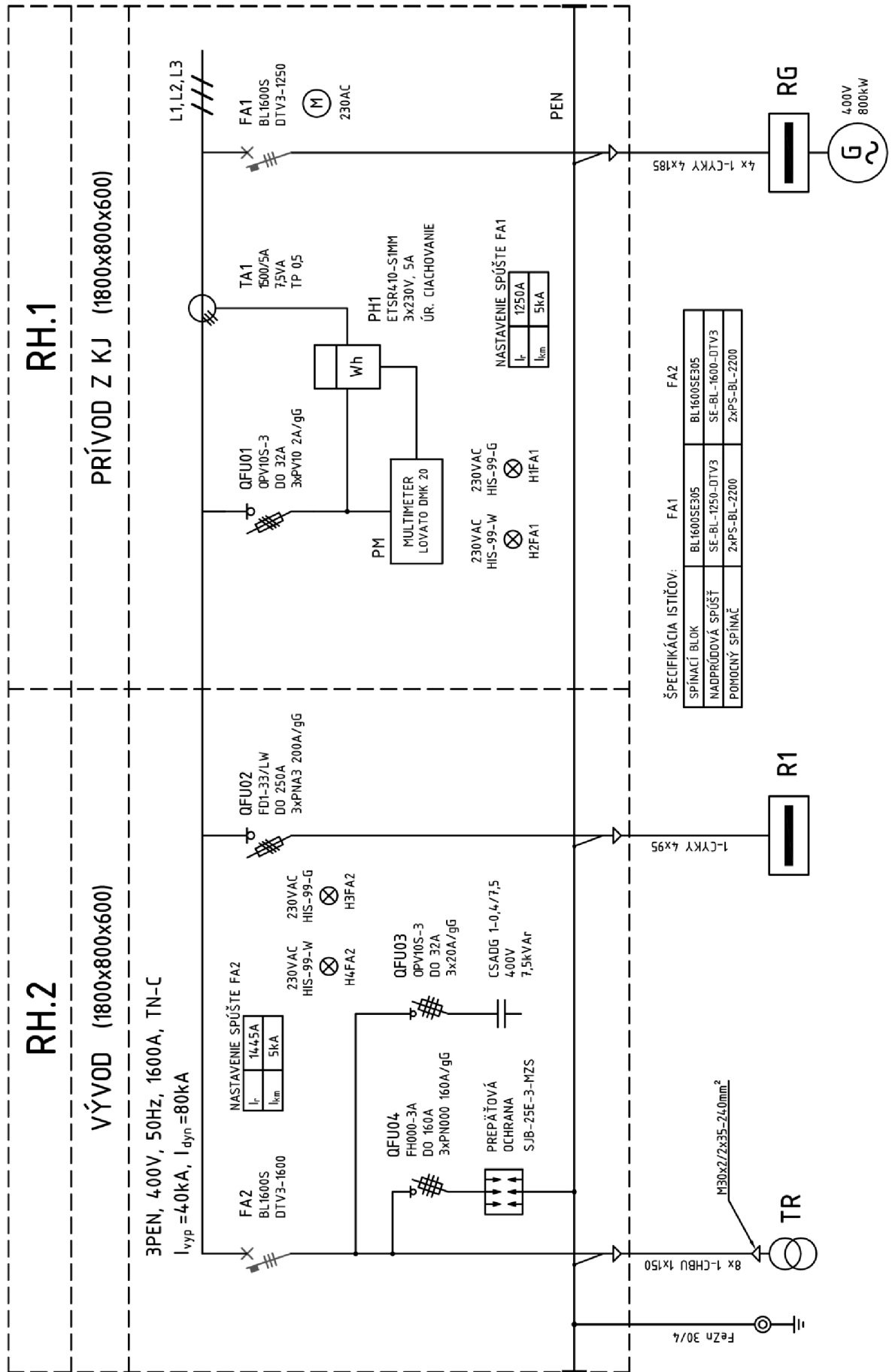
3. Vývod s poiskovým odpínačom [29] QFU03 pre istenie kondenzátorovej batérie. Odpínač je vybavený valcovými poiskami typu PV10 s menovitým prúdom 20A [24].
4. Trojfázová kondenzátorová batéria typu CSADG 1-0,4/7,5 [30] pre kompenzáciu jalového výkonu transformátora. Jalový výkon batérie je 7,5kVAr a menovitý prúd 10,8A.

Jalový výkon potrebný k magnetizácii transformátora

$$Q_m = \sqrt{(S_n \cdot i_0)^2 - \Delta P_0^2} \quad (\text{kVAr; kW, -, kW}) \quad (6.4)$$

$$Q_m = \sqrt{(1000 \cdot 0,007)^2 - 0,65^2} = 6,97 \text{ kVAr}$$

5. Vývod s poiskovým odpínačom [31] QFU04 pre predistenie prepäťovej ochrany. Výrobca prepäťovej ochrany udáva predistenie poiskami s maximálnou hodnotou 315A, preto volíme poistky typu PN000 s menovitým prúdom 160A [27].
6. Prepäťová ochrana typu SJB-25E-3-MZS [32], ktorá znižuje napätie a obmedzuje energiu prepäťovej vlny spôsobenej priamym alebo nepriamym úderom blesku. Pôsobí ako hrubá ochrana typu 1 podľa ČSN EN 61643-11.
7. Káblové vedenie typu 1-CHBU 1x150 vyvedené z rozvádzača, ktoré sa pred pripojením na priechodky transformátora osadí svorníkmi M30x2/2x35-240 mm².



Obr. 6-4: Jednopolové schéma rozvádzača NN

7 DISPOZÍCIA TRAFOSTANICE

Daná trafostanica predstavuje vstavanú súčasť bioplynovej stanice, ktorá obsahuje kogeneračnú jednotku typu Quanto D770 v protihlukovom prevedení o elektrickom výkone 800kW. Kogeneračná jednotka pracuje v paralelnom režime s možnosťou ostrovného režimu, kde 85% vyrobenej energie dodáva do nadradenej distribučnej siete 22kV. Zostatkových 15% predstavuje vlastnú spotrebu KJ.

Trafostanica obsahuje priestory s nasledovným označením a popisom:

0.01 - miestnosť určená pre rozvádzač VN SM6.

0.02 - miestnosť predstavujúca trafokomoru s olejovým transformátorom 1000 kVA.

0.03 - miestnosť obsahujúca rozvodné skrine NN.

0.04 - miestnosť s inštalovanou kogeneračnou jednotkou.

Na vyvedenie výkonu z KJ sú použité silové káble typu 4x 1-CYKY 4x185 uložené v káblovom kanáli. Káblový kanál je z vrchu osadený oceľovými plechmi pre možný prístup obsluhy v prípade poruchy alebo kontroly. Na prestup káblov z jednej miestnosti do druhej sú použité trubky AROT DVR [33] o priemere 160 mm. Pod skrine rozvádzača nízkeho RH.1 a RH.2 sa vykopú základy pre káblový priestor na pripojenie zdola. Káblový priestor sa osadí odnímateľnými plechmi, na ktoré sa uloží dielektrický koberec. Na prepojenie rozvádzača NN a transformátora sa použijú silové káble typu 1-CHBU 1x150, ktoré vďaka gumovej izolácii vykazujú lepšiu ohybnosť než káble PVC izoláciou. Nízkostratový olejový transformátor bude umiestnený v trafokomore s prirodzenou cirkuláciou vzduchu. Steny, strop a dvere trafokomory budú z nehorľavého materiálu a trubky na prestup káblov budú požiariene utesnené. Pod transformátor bude prevedená záchytná vaňa. Vstupné dvere so žalúziiovými otvormi budú umiestnené na severnej strane trafostanice, kde je teplota nasávacieho vzduchu najnižšia. Proti náhodnému vstupu do miestnosti sa za dvere osadia drevené zábrany vo výške 600 a 1200mm. Uchytenie káblov k stenám bude vykonané kotvovými profilmi. Na prepojenie transformátora a rozvádzača VN sa použijú káble vysokého napätia typu 3x AXEKVCEY 1x70 uložené do trubky AROT DVR o priemere 160mm. Pod priestor rozvádzača VN sa takisto vykopú základy pre káblový priestor, na ktorý sa uložia odnímateľné plechy opatrené dielektrickým kobercom. V miestnosti 0.01 bude okrem rozvádzača VN umiestnená skriňa ANM predstavujúca zálohovaný zdroj 110VDC a skriňa dispečerského riadenia AXY. Na vyvedenie výkonu z trafostanice do distribučnej siete 22kV sa použijú káble typu 3x AXEKVCEY 1x90 umiestnené do trubky AROT.

7.1 Uzemnenie trafostanice

Uzemnenie trafostanice bude vybudované ako sieť tvorená sústavou zvislých tyčových uzemňovačov pospájaných páskovým vodičom a základovým uzemňovačom, ktorý bol zhotovený pri výstavbe budovy. Pri návrhu predpokladáme, že merný odpor ρ hlinitej pôdy je 100 $\Omega\cdot\text{m}$ a merný odpor betónu 150 $\Omega\cdot\text{m}$. Na základový uzemňovač, ktorého rohy sú vyvedené páskovým vodičom FeZn 30/4mm, sa popripájajú pomocou zemných svoriek SR02 vonkajšie okružné uzemňovače tvoriace ekvipotenciálne prahy pred vstupom do trafostanice. Okružné uzemňovače, tvorené takisto páskovým vodičom FeZn 30/4mm, budú uložené v ryhe s od-

stupom od budovy a v hĺbke znázornenej na obr. 7-2. Okružné uzemňovače sa pospájajú, čím vytvoria menšiu mriežkovú sieť. Takto vytvorená sieť sa doplní tyčovými uzemňovačmi o priemeru 25mm a dĺžke 1,5m, ktoré budú vertikálne zarazené do zeme v rohoch uzemňovacej sústavy. K okružnému uzemňovaču (2. ekvipotenciálny prah) sa pripoja pomocou svoriek SJ02. Zo základového uzemňovača sa v dvoch protiľahlých rohoch trafostanice vyvedú z vonkajšej strany základov páskové vodiče osadené skúšobnými svorkami SZ1 a SZ2. Na tieto svorky sa pripojí hromozvod, ktorý projekt nerieši. Z vnútornej strany základov do priestoru trafostanice sa privedú páskové vodiče, ktoré sa takisto osadia skúšobnými svorkami SZ3-SZ6. Uzemňovacia sústava bude spoločná pre zariadenie VN, NN a hromozvod. Pri výstavbe uzemnenia sa bude vykonávať priebežné meranie zemného odporu a v prípade väčšej hodnoty sa sústava doplní o ďalšie uzemňovače.

Približné stanovenie zemného odporu (podľa obr. 7.2)

Zemný odpor pásku

$$R_p = 2 \cdot \frac{\rho}{l} \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{m}, \text{m}) \quad (7.1)$$

Zemný odpor tyče

$$R_t = 0,9 \cdot \frac{\rho}{l} \quad (\Omega; \Omega \cdot \text{m}, \text{m}) \quad (7.2)$$

Zemný odpor prvého páskového okruhu (2. ekvipotenciálny prah) podľa (7.1)

$$R_{p1} = 2 \cdot \frac{100}{2 \cdot (14 + 8 + 4 \cdot 1,85)} = 3,401 \Omega$$

Zemný odpor druhého páskového okruhu (1. ekvipotenciálny prah) podľa (7.1)

$$R_{p2} = 2 \cdot \frac{100}{2 \cdot (14 + 8 + 4 \cdot 0,85)} = 3,937 \Omega$$

Zemný odpor základového páskového okruhu podľa (7.1)

$$R_{p3} = 2 \cdot \frac{150}{2 \cdot (14 + 8)} = 6,818 \Omega$$

Zemný odpor jednej uzemňovacej tyče podľa (7.2)

$$R_t = 0,9 \cdot \frac{100}{1,5} = 60 \Omega$$

Zemný odpor celkovej sústavy predstavuje paralelné spojenie všetkých uzemňovačov

$$R = \frac{1}{\frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot n}{R_t} + \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p2}} + \frac{1}{R_{p3}}} \quad (\Omega; -, -, -, \Omega, \Omega, \Omega) \quad (7.3)$$

kde η_1 je činiteľ využitia sústavy tyčových uzemňovačov podľa obr. 43 v [4],

- η_2 je činiteľ využitia sústavy tyčových uzemňovačov a spojovacieho pásku, ak nie je stanovené inak uvažuje sa hodnota 0,9,
 n je počet tyčových uzemňovačov.

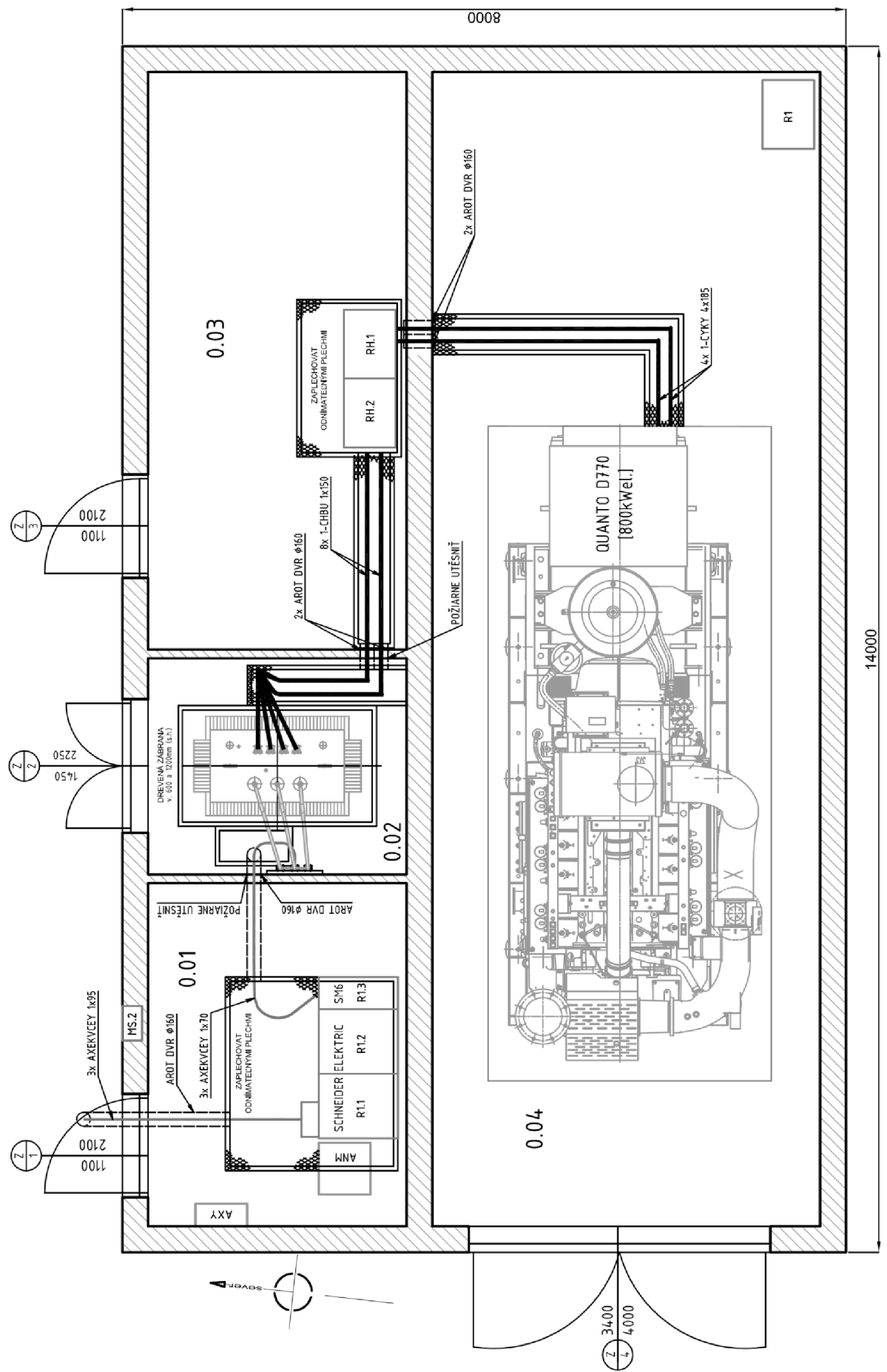
Celkový zemný odpor uzemnenia podľa (7.3)

$$R = \frac{1}{\frac{0,8 \cdot 0,9 \cdot 4}{60} + \frac{1}{3,401} + \frac{1}{3,937} + \frac{1}{6,818}} = \underline{\underline{1,34 \Omega}}$$

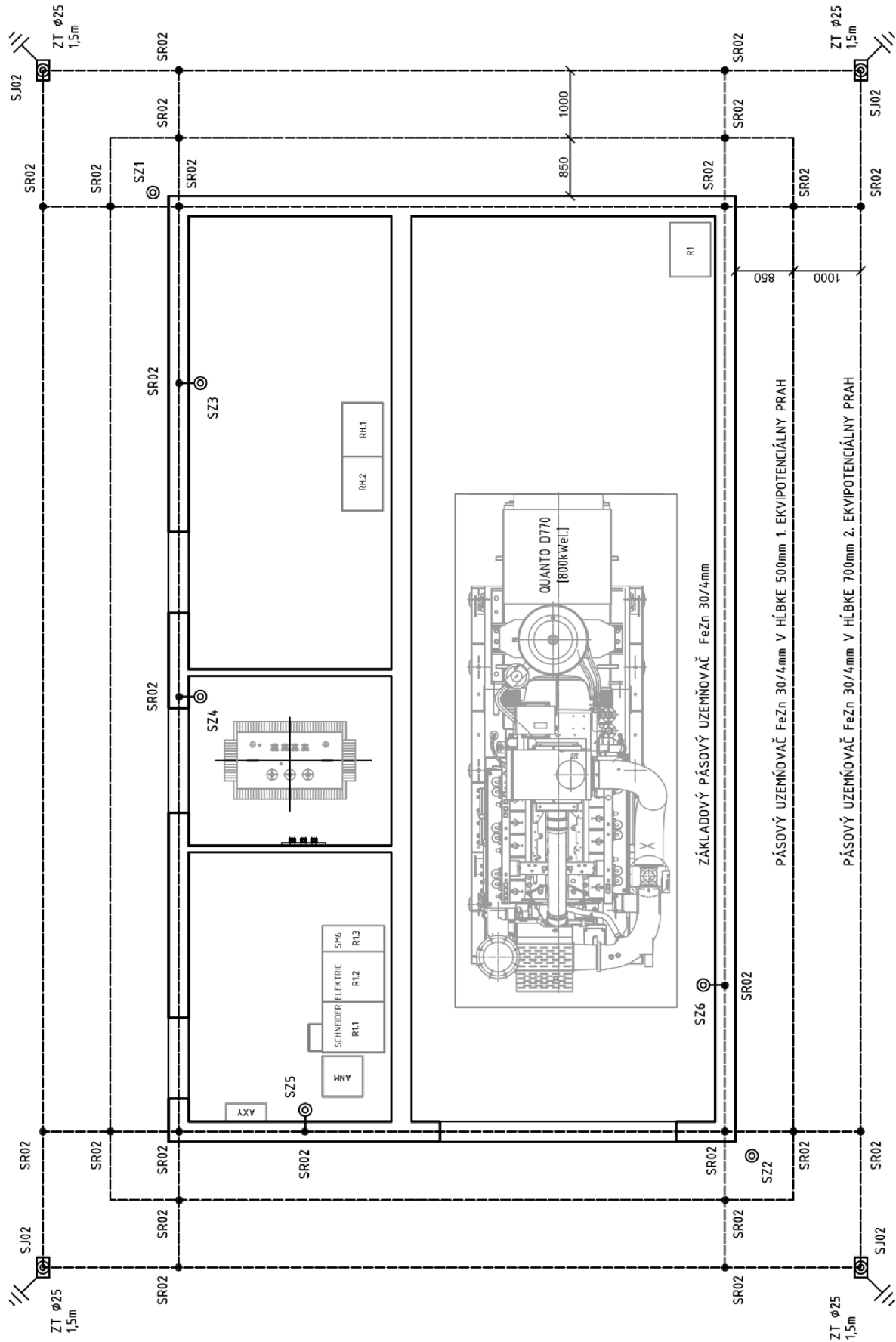
Zemný odpor pracovného uzemnenia uzla zdroja (transformátoru, generátoru) nemá byť podľa noriem väčší než 5Ω .

7.2 Ochranné pospojovanie

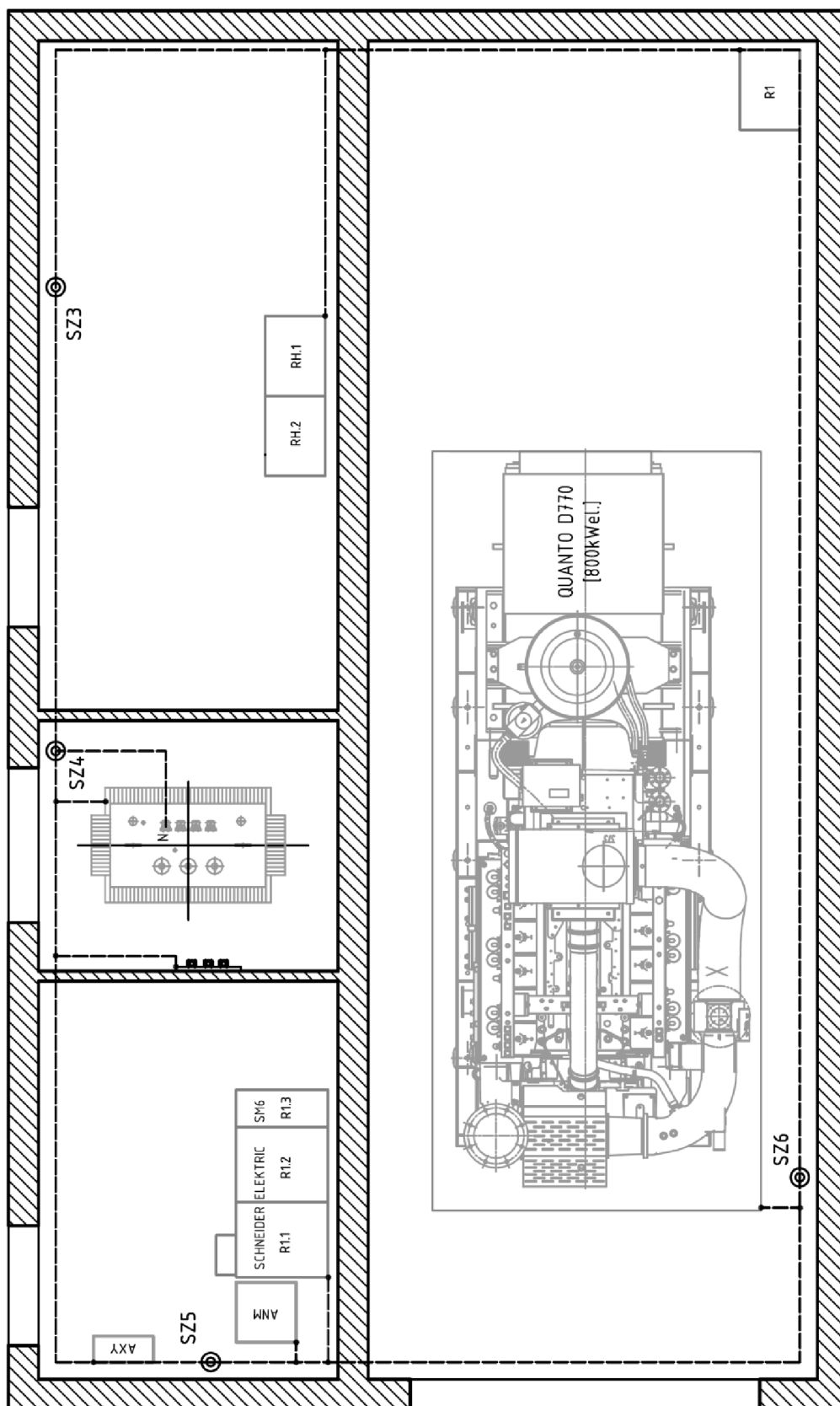
Ochranné pospojovanie bude vykonané pomocou páskových vodičov FeZn 30/4mm pevne na povrchu vo výške 0,5m nad podlahou trafostanice, tak ako je to znázornené na obr. 7-3. Ako skúšobné svorky sa použijú SR02. Toto pospojovanie slúži pre uvedenie neživých častí inštalácie a iných cudzích kovových vodivých predmetov s ktorými je možný dotyk obsluhy na rovnaký potenciál. Na ochranné pospojovanie budú pripojené: Uzol a konštrukcia transformátoru, konštrukcia KJ, skriňa rozvádzača VN, NN, AXY, ANM, všetky kovové konštrukcie a tienenie káblov VN.



Obr. 7-1: Dispozícia trafostanice



Obr. 7-2: Uzemnenie trafostanice



Obr. 7-3: Ochranné pospojovanie

8 NÁVRH OCHRANY V SÚLADE PPDS

Pre pripojenie KJ do distribučnej siete musia platiť isté pravidlá, ktoré stanovuje prevádzkovateľ distribučnej siete. Spôsob a miesto pripojenia na sieť sa určuje s prihliadnutím k daným sieťovým pomerom, výkonu a spôsobu prevádzky vlastnej výroby. Tým má byť zaistené, že vlastná výrobná bude prevádzkovaná bez rušivých účinkov. [34]

8.1 Nastavenie ochrany

Vlastnú výrobnú treba opatriť ochranou (skratovou, proti preťaženiu, pred nebezpečným dotykom) v súlade s PPDS. Ochrany je potrebné zaistiť funkciami uvedených v tab. 8-1, kde ich nastavenie udáva prevádzkovateľ distribučnej siete v mieste pripojenia KJ. Nastavenie platí pre výrobnú v generickom režime. V prípade odstavenej KJ, kedy uvažujeme odber (spätný tok elektrickej energie) z distribučnej siete sú jednotlivé funkcie udávané v tab. 8-1 blokované.

Tab. 8-1: Funkcie ochrany nastavené podľa PPDS [33]

| Funkcie | Rozsah nastavenia | Štandardné nastavenie | Časové oneskorenie | Štandardné nastavenie |
|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|
| Podpätie 1.stupeň $U <$ | $0.70 U_n$ až $1.0 U_n$ | $90 \% U_n$ | $t_U <$ | 0,5 s |
| Podpätie 2.stupeň $U <<$ | $0.70 U_n$ až $1.0 U_n$ | $80 \% U_n$ | $t_U <<$ | 0,1 s |
| Prepätie 1.stupeň $U >$ | $1.0 U_n$ až $1.2 U_n$ | $110 \% U_n$ | $t_U >$ | 0,5 s |
| Prepätie 2.stupeň $U >>$ | $1.0 U_n$ až $1.2 U_n$ | $120 \% U_n$ | $t_U >>$ | 0,1 s |
| Podfrekvencia 1.stupeň $f <$ | 48 Hz až 50 Hz | 48,0 Hz | $t_f <$ | 0,5 s |
| Podfrekvencia 2.stupeň $f <<$ | 48 Hz až 50 Hz | 47,5 Hz | $t_f <<$ | 0,1 s |
| Nadfrekvencia 1.stupeň $f >$ | 50 Hz až 52 Hz. | 50,2 Hz | $t_f >$ | 0,5 s |

Podpät'ová a nadpät'ová ochrana musí byť trojfázová, podfrekvenčná a nadfrekvenčná ochrana môže byť jednofázová. Po dohode s PDS sa môže upustiť od 2. stupňa uvedených funkcií.

Prúdové nastavenie ochrany:

- nadprúd 1. stupeň $I >$ $0,9I_n$ 0,5s
- nadprúd 2. stupeň $I >>$ $4I_n$ 0,2s

I_n - je menovitý prúd prúdového transformátora CTS 25X Sch (30A)

Multifunkčná ochrana SEPAM 80 od firmy SCHNEIDER ELEKTRIC je určená pre ochranu rozvádzačov vysokého napätia rady SM6. Okrem funkcií zobrazených v tab. 8-1 obsahuje ďalšie funkcie zobrazené v prílohe práce.

9 ZÁVER

V diplomovej práci bol popísaný návrh transformačnej stanice pre vyvedenie výkonu z kogeneračnej jednotky. Kogeneračná jednotka bola zvolená typu Quanto D770 určená na spaľovanie bioplynu o elektrickom výkone 800 kW. Pre vyvedenie tohto výkonu sme použili olejový transformátor s menovitým prevodom 22/0,4 kV a menovitým výkonom 1000 kVA. Na základe ekonomického porovnania rôznych transformátorov z hľadiska ich strát nakrátko a naprázdno sme zvolili nízkostratový transformátor, ktorého celkové náklady na dobu 20 rokov vyšli 3 773 997 Kč. Pre tento transformátor bola navrhnutá trafokomora s vetracími otvormi, ktoré zabezpečujú správne chladenie transformátora, aby nedošlo k jeho prehrievaniu, prípadne následnému požiaru.

V ďalšej časti diplomovej práce boli spočítané skratové pomery trafostanice, kde sme vychádzali zo skratového výkonu nadradenej siete a požitých prvkov sústavy (transformátor, synchronný generátor). Na základe toho sme navrhli vzduchom izolovaný rozvádzač VN rady SM6 od firmy SCHNEDER ELEKTRIC, ktorého skratová odolnosť zobrazuje tab. 5-2. Rozvádzač sa skladá z troch polí, kde v prvom poli je umiestnení výkonový vypínač s plynom SF6 tvoriaci rozpadové miesto trafostanice. Druhé pole je určené pre nepriame primárne meranie elektrickej energie prostredníctvom použitých prístrojových transformátorov prúdu a napätia. V poradí tretie ako vývodové pole obsahuje odpínač a poistky VN pre chránenie transformátora pred účinkami skratových prúdov. Súčasťou rozvádzača bola navrhnutá multifunkčná ochrana SEPAM, ktorej nastavenie je v súlade PPDS. Obdobne sme postupovali pri návrhu rozvádzača NN, ktorý sa skladá z prívodného pola KJ a vývodového pola na transformátor. Tu sa na istenie transformátora proti jeho preťaženiu použil istič BL1600S. Celková skladba rozvádzačov VN a NN je viditeľná na jednopólových schémach, ktoré sú k diplomovej práci priložené ako výkresová dokumentácia. Pri vyvedení výkonu z KJ na strane NN sme použili silové káble typu 1-CYKY 4x185, na prepojenie rozvádzača NN a transformátora kábel typu 1-CHBU 1x150. Na VN strane na prepojenie rozvádzača VN a transformátora sme použili káble typu AXEKVCEY 1x70 a pre vyvedenie výkonu do distribučnej siete 22kV káble typu AXEKVCEY 1x95.

V závere práce sme navrhli uzemnenie trafostanice, ktoré zabezpečuje jednak ochranu pred úrazom elektrickým prúdom jednak správnu činnosť elektrických zariadení. Taktiež treba podotknúť, že uzemňovacia sústava je neoddeliteľnou súčasťou vonkajšej ochrany objektu pred bleskom.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] ČEZ Energo. *Technické informace* [online]. 2001 [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.cez.cz/kogenerace/cs/caste-otazky/technicke-informace.html>>
- [2] TZB-info. *Kogenerace* [online]. 2012 [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2986-kogenerace-pouziti-zvlastnich-plynu-obnovitelne-zdroje-energie-a-ekonomicka-motivace-ii>>
- [3] ERÚ. *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011* [online]. 2011 [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/ERV8_2011-konecny.pdf>.
- [4] ORSÁGOVÁ J.: *Elektrické stanice a vedení*. Brno 2008.
- [5] TEDOM. *Kogenerační jednotky TEDOM* [online]. 2012 [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <<http://kogenerace.tedom.com/download/3/716/Prehled%20KJ%20TEDOM%20.pdf>>.
- [6] MARELLIMOTORI. *MJB 400 LB4* [online]. [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.marellimotori.com/MMCP/SIN.DT.029.5%20MJB%20400%20LB4.pdf>>.
- [7] MWM. *TCG 2016* [online]. 2011 [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <http://www.mwm.net/uploads/tx_mwmdownloads/mwm_lb_tcg_2016_en.pdf>.
- [8] TRASFOR. *Srovnání ekonomické výhodnosti transformátorů s různými ztrátami* [online]. [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.trasfor.sk/documents/Naklady1.pdf>>.
- [9] BEZ. *Olejové transformátory* [online]. 2009 [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.bez.sk/transformatory/index.php?goto=text&sekce=ho73CTpq&tid=4DzIFEV8&lng=cz>>.
- [10] BEZ. *Nizkostratové olejové transformátory* [online]. 2010 [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <http://www.bez.sk/transformatory/upload/File/olej/TOHn_400-1000kVA_nizkostratove7.pdf>.
- [11] HAZULÍK E.: *Ochrany a jištění energetických zařízení*.
- [12] OEZ. *VN Poistkové vložky* [online]. [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.sk/uploads/oez/files/ks/1326-Z01-10_CZ_SK.pdf>.
- [13] OEZ. *Kompaktní jističe BL1600S* [online]. [cit. 2012-5-11]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/2097-Z01-11_CZ_SK.pdf>.
- [14] ČSN 33 3240. *Stanoviště transformátorů*.
- [15] ORSÁGOVÁ J.: *Rozvodná zařízení*. Brno 2008.
- [16] FENCL F.: *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení*. ČVUT v Praze, Praha 2006.
- [17] DRAKA KABELY. *Kabely vysokého napětí 22-AXEKVCEY* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.draka.cz/images/stories/vn/1/22-axekvcey_127_22_25_kv.pdf>.

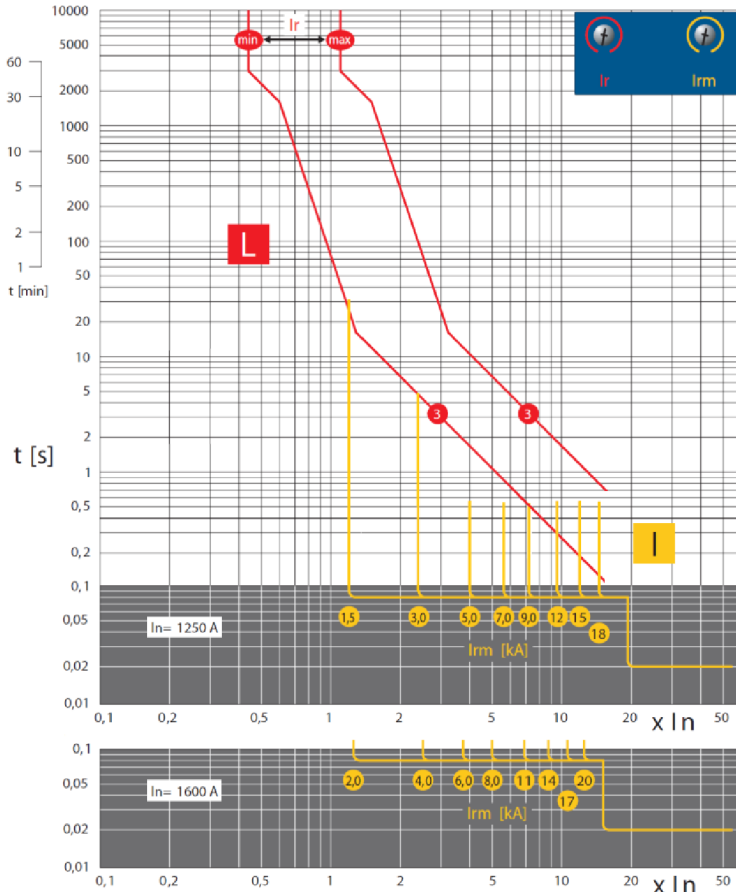
- [18] Schneider Electric. *Modulární rozváděče SM6* [online]. 2007 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://download.schneider-electric.com/files?L=sk&p=&p_docId=&p_docId=&p_Reference=SM6_katCZ07&p_EnDocType=Catalog&p_File_Id=2391138&p_File_Name=SM6_katCZ07.pdf>.
- [19] TE Connektivity. *Raychem RDA 24* [online]. 2010 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: http://www.te.com/en/industries/energy/PDF/EPP_0533-2.pdf
- [20] KPB Intra. *Přístrojové transformátory proudu CTS 25X Sch* [online]. 2006 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.kpb intra.cz/cz/produkty/CTS25XSch.html>>.
- [21] KPB Intra. *Přístrojové transformátory napětia VTS 25 Sch* [online]. 2006 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.kpb intra.cz/cz/produkty/VTS25Sch.html>>.
- [22] DRAKA Kabely. *Silové kabely 1-CHBU* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://web.draka.cz/images/stories/katalog/pryzove_kabely/1-chbu_3-chbu_6-chbu.pdf>.
- [23] DRAKA KABELY. *Silové kabely 1-CYKY* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://web.draka.cz/images/stories/katalog/silove_kabely/1-cyky.pdf>.
- [24] OEZ. *Pojistkové vložky PV* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/1323-Z01-12_CZ_SK.pdf>.
- [25] Elektroměry KŘIŽÍK. *Trojfázové elektronické elektromery ETS 410R* [online]. 2001 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.elektromery.com/soubory/ETS.pdf>>.
- [26] LOVATO Electric. *Multimeter DMK 20* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <<http://knihovna.lovato.cz/save.php?kid=237>>.
- [27] OEZ. *Lištové pojistkové odpínače velikostí 1 do 250A* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/1260-Z02-12_CZ_SK.pdf>.
- [28] OEZ. *Pojistkové vložky PNA 200A* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/1327-Z04-12_CZ_SK.pdf>.
- [29] OEZ. *Odpínače válcových pojistkových vložek do 32A* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/1296-Z01-12_CZ_SK.pdf>.
- [30] ZES SILKO. *Three-phase capacitors CSADG 1-0,4/7,5* [online]. 2009 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.zes-silko.cz/cs/PDFs/3J1796Ac.pdf>>.
- [31] OEZ. *Řadové pojistkové odpínače velikosti 000 do 160A* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/1291-Z01-12_CZ_SK.pdf>.
- [32] OEZ. *Svodiče bleskových proudů - typ 1* [online]. [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.oez.cz/uploads/oez/files/ks/4626-Z01-11_CZ_SK.pdf>
- [33] KAMAT. *Ochranné trubky AROT DVR* [online]. 2005 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.kamat.cz/images/stories/data/produkty/katalogy_arot/katalog_vyrobku_2006_CZ.pdf>.
- [34] EON, *Pravidla provozování distribučních soustav - Příloha 4* [online]. 2011 [cit. 2012-5-12]. Dostupný z WWW: <http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_Dodatek_4_2011.pdf>.

PRÍLOHA A

| Typ | I_n [A] | I_r [A] | restart | I_{rm} [kA] | Typ | I_n [A] | I_r [A] | restart | I_{rm} [kA] |
|-----------------|-----------|------------|------------------------|---|-----------------|-----------|------------|------------------------|--|
| SE-BL-1250-DTV3 | 1250 | 500, 550 | $T_{(0)}$ $T_{(t)}$ | 1,5 3 5 7 9 12 15 18 | SE-BL-1600-DTV3 | 1600 | 630, 685 | $T_{(0)}$ $T_{(t)}$ | 2 4 6 8 11 14 17 20 |
| | | 577, 610 | | | | | 720, 800 | | |
| | | 630, 685 | | | | | 870, 910 | | |
| | | 722, 760 | | | | | 1000, 1100 | | |
| | | 800, 866 | | | | | 1155, 1200 | | |
| | | 909, 1000 | | | | | 1250, 1300 | | |
| | | 1100, 1155 | | | | | 1375, 1445 | | |
| | | 1200, 1250 | | | | | 1500, 1600 | | |

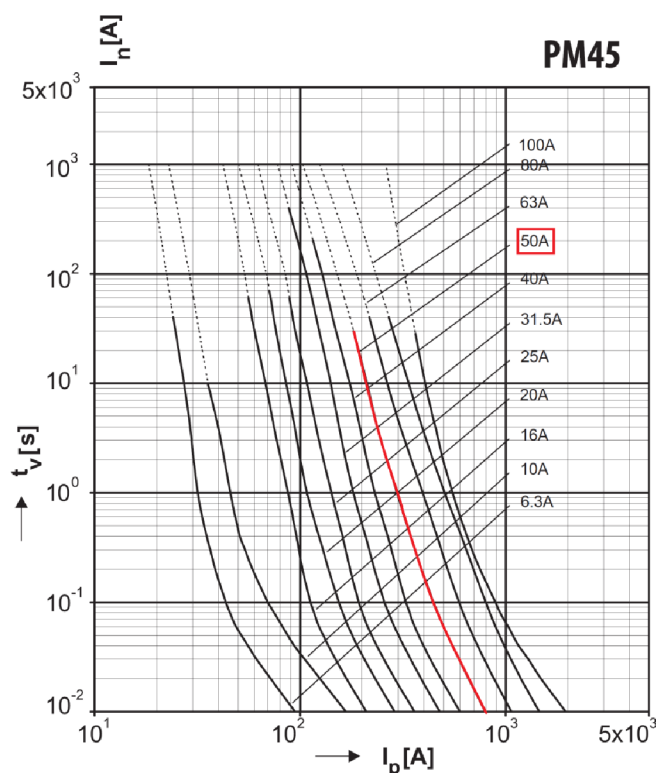


Nastavenie nadprúdovej spúšte SE-BL-1600-DTV3/1250-DTV3 [13]



Vypínacia charakteristika nadprúdovej spúšte ističa BL1600S [13]

PRÍLOHA B



Tavná ampérsekundová charakteristika VN poistkovej vložky [12]

Parametry

| Typ | SJB-25E-3-MZS | | |
|---|-----------------------|--------------------------------|---------------------|
| Jmenovité napětí | U_N | 230 V/400 V a.c. | |
| Nejvyšší trvalé provozní napětí | U_c | 350 V a.c. | |
| Impulzní proud (10/350 μ s) | I_{imp} | vrcholová hodnota I_{vrchol} | 75 kA (25 kA / pól) |
| | | náboj Q | 37.5 As |
| | | specifická energie W/R | 1,4 MJ/ Ω |
| Jmenovitý výbojový proud (8/20 μ s) | I_n | L-N | - |
| | | N-PE | - |
| | | L-PEN | 25 kA |
| Jmenovitý kmitočet | f_n | 50/60 Hz | |
| Napětová ochranná hladina | U_p | L-N | - |
| | | N-PE | - |
| | | L-PEN | $\leq 1,5$ kV |
| Klasifikace přepětových ochran | podle ČSN EN 61643-11 | typ 1 [T1] | |
| | podle IEC 61643-1 | třída I | |
| | podle VDE 0675-6 | třída B | |
| Doba odezvy | I_{fi} | L-N | - |
| | | N-PE | - |
| | | L-PEN | ≤ 100 ns |
| Zhášecí následný proud | I_{fi} | L-N | - |
| | | N-PE | - |
| | | L-PEN | 50 kA / 264 V a.c. |
| Max. předřazená pojistka gG / gL | | 315 A | |

Parametre prepätovej ochrany [32]

PRÍLOHA C

| Ochrany | ANSI kód | Rozvodňa | | | |
|--|--------------------|----------|-----|-----|-----|
| | | S80 | S81 | S82 | S84 |
| Fázová nadprúdová | 50/51 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Zemná / citlivá zemná | 50N/51N 50G/51G | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Porucha ističa | 50BF | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Spätňá zložka / nevyváženosť | 46 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Nadprúdová tepelná pre káble | 49RMS | | 2 | 2 | 2 |
| Fázová nadprúdová smerová ⁽¹⁾ | 67 | | | 2 | 2 |
| Smerová zemná ⁽¹⁾ | 67N/67NC | | 2 | 2 | 2 |
| Smerová činná nadvýkonová | 32P | | 2 | 2 | 2 |
| Smerová jalová nadvýkonová | 32Q | | | | |
| Smerová činná podvýkonová | 37P | | | | 2 |
| Podpätie (L-L alebo L-N) | 27 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Podprúdová súslednej zložky | 27D | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Remanentné podpätie | 27R | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Prepätie (L-L alebo L-N) | 59 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Posun bodu napätia neutrálneho vodiča | 59N | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Prepätie spätnej zložky | 47 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Nadfrekvencia | 81H | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Podfrekvencia | 81L | 4 | 4 | 4 | 4 |

Čísla predstavujú počet relé k dispozícii pre každú ochrannú funkciu

Funkcie multifunkčnej ochrany SEPAM [18]