



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

REKONSTRUKCE TRAFOSTANICE S ROZVODNOU TECHNOLOGICKÉ VLASTNÍ SPOTŘEBY

RECONSTRUCTION OF A TRANSFORMER STATION WITH A SUBSTATION FOR AUXILIARY SYSTEMS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Novický

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Viktor Jurák

BRNO 2022

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Marek Novický

ID: 203307

Ročník: 2

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Rekonstrukce trafostanice s rozvodnou technologické vlastní spotřeby

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zhodnocení výměny dvou transformátorů 22/0,4 kV, 400 kVA za větší (800 až 1000 kVA) z ekonomického a provozního hlediska
2. Návrh přirozeného / nuceného chlazení stávající trafokobky
3. Návrh kabelů a jištění VN a NN strany
4. Návrh rozvodny 0,4 kV (přípojnice, počet polí vzhledem k požadovaným spotřebičům, přístrojové transformátory, kompenzace)

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 24.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Viktor Jurák

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

UPOZORNĚNÍ:

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

Master's Thesis

Master's study program **Electrical Power Engineering**

Department of Electrical Power Engineering

Student: Bc. Marek Novický

ID: 203307

**Year of
study:** 2

Academic year: 2021/22

TITLE OF THESIS:

Reconstruction of a transformer station with a substation for auxiliary systems

RECOMMENDED LITERATURE:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

**Date of project
specification:** 7.2.2022

**Deadline for
submission:** 24.5.2022

Supervisor: Ing. Viktor Jurák

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
Chair of study program board

WARNING:

The author of the Master's Thesis claims that by creating this thesis he/she did not infringe the rights of third persons and the personal and/or property rights of third persons were not subjected to derogatory treatment. The author is fully aware of the legal consequences of an infringement of provisions as per Section 11 and following of Act No 121/2000 Coll. on copyright and rights related to copyright and on amendments to some other laws (the Copyright Act) in the wording of subsequent directives including the possible criminal consequences as resulting from provisions of Part 2, Chapter VI, Article 4 of Criminal Code 40/2009 Coll.

ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá areálom teplárni Staré Brno, kde sa nachádzajú dve transformátory 22/0,4 kV slúžiace pre napájanie vlastnej spotreby teplárni. V práci sú rozobraté teoretické oblasti súvisiace s plánovaným návrhom. Po teoretickej časti nasleduje podrobný popis súčasného stavu rozvodni VN a NN a transformátorov. Náplňou práce je návrh nových transformátorov, rozvodne VN a rozvodne NN, centrálnej kompenzácie. V závere práce sa rozoberá ekonomická stránka transformátorov.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

transformátor; rozvodňa; rozvádzač; kompenzácia; dimenzovanie; chladenie

ABSTRACT

The master thesis deals with the premises of the Staré Brno heating plant, where there are two 22 / 0,4 kV transformers used to supply the heating plant's auxiliary system. The thesis deals with theoretical areas related to the planned design. After theoretical section is following a detailed description of the recent state of HV and LV substations and transformers. The scope of work is the design of new transformers, HV substations and LV substations, central compensation. At the end of the thesis is discussed the economic side of transformers.

KEYWORDS

transformer; substation; switchboard; compensation; sizing; cooling

NOVICKÝ, Marek. *Rekonstrukce trafostanice s rozvodnou technologickú vlastní spotřeby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2022, 89 s. Diplomová práce. Vedúci práce: Ing. Viktor Jurák

Vyhlásenie autora o pôvodnosti diela

Meno a priezvisko autora: Bc. Marek Novický
VUT ID autora: 203307
Typ práce: Diplomová práca
Akademický rok: 2021/22
Téma záverečnej práce: Rekonstrukce trafostanice s rozvodnou technologické vlastní spotřeby

Vyhlasujem, že svoju záverečnú prácu som vypracoval samostatne pod vedením vedúcej/cého záverečnej práce, s využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej záverečnej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto záverečnej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora*

*Autor podpisuje iba v tlačenej verzii.

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu diplomové práce pánu Ing. Viktorovi Jurákovi za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 13 |
| 1 Stanovište transformátorov | 14 |
| 1.1 Vonkajšie inštalácie | 14 |
| 1.2 Vnútorne inštalácie | 14 |
| 1.2.1 Vnútorne inštalácie v priemyselných budovách | 14 |
| 1.2.2 Vnútorne inštalácie VN v budovách, ktoré sú trvale obsadené osobami | 15 |
| 1.3 Ochrana pred únikom izolačnej kvapaliny | 15 |
| 1.3.1 Záchytná vaňa pre vnútorné zariadenia | 15 |
| 1.3.2 Záchytná vaňa pre vonkajšie zariadenia | 15 |
| 1.4 Chladenie transformátora | 16 |
| 1.4.1 Spôsoby chladenia transformátora | 16 |
| 1.4.2 Výpočet chladenia transformátora | 20 |
| 2 Ochranné zariadenia transformátorov a príslušenstva | 22 |
| 2.1 Doplnky pre ochrany transformátorov | 22 |
| 2.2 Istenie distribučných transformátorov | 22 |
| 2.2.1 Primárna strana transformátora | 23 |
| 2.2.2 Sekundárna strana transformátora | 23 |
| 3 Teória dimenzovania | 24 |
| 3.1 Dimenzovanie vodiča podľa dovolenej prevádzkovej teploty | 24 |
| 3.1.1 Charakteristika vodiča | 24 |
| 3.1.2 Charakteristika prevádzky | 24 |
| 3.1.3 Charakteristika prostredia | 25 |
| 3.1.4 Charakteristika uloženia | 25 |
| 3.1.5 Charakteristika záťaže | 26 |
| 3.2 Dimenzovanie prierezu vodiča z hľadiska hospodárnosti | 26 |
| 3.3 Dimenzovanie vodiča podľa mechanickej pevnosti | 26 |
| 3.4 Dimenzovanie vodiča podľa úbytku napätia | 27 |
| 3.5 Dimenzovanie podľa účinkov skratových prúdov | 27 |
| 3.5.1 Tepelné účinky skratových prúdov | 27 |
| 3.5.2 Dynamické účinky skratových prúdov | 28 |
| 4 Vlastná spotreba | 31 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5 | Opis súčasného stavu trafostanice | 33 |
| 5.1 | VN rozvodňa 22 kV | 34 |
| 5.1.1 | Popis kobiek | 35 |
| 5.2 | Transformátor | 36 |
| 5.3 | NN rozvodňa 400 V | 37 |
| 6 | Popis projektu | 40 |
| 6.1 | Dôvody rekonštrukcie | 40 |
| 7 | Návrh rekonštrukcie trafostanice | 41 |
| 7.1 | Vstupné parametre | 41 |
| 7.2 | Stanovenie výpočtového výkonu | 41 |
| 7.3 | Inštalovaný výkon trafostanice | 42 |
| 7.3.1 | Navrhnutý transformátor | 44 |
| 7.4 | Návrh chladenia | 44 |
| 7.5 | Návrh kábla medzi primárnou stranou transformátora a rozvádzačom VN | 45 |
| 7.5.1 | Kontrola dimenzovania kábla VN | 45 |
| 7.6 | Návrh rozvádzača VN | 49 |
| 7.6.1 | Jednotlivé moduly rozvádzača VN | 50 |
| 7.7 | Návrh kábla medzi sekundárnou stranou transformátora a rozvádzačom NN | 52 |
| 7.7.1 | Kontrola dimenzovania kábla NN | 52 |
| 7.8 | Rozvádzač NN | 56 |
| 7.8.1 | Technické parametre rozvádzača NN | 57 |
| 7.8.2 | Kritéria výberu rozvádzača NN | 57 |
| 7.8.3 | Hlavný istič | 58 |
| 7.8.4 | Vybavenie rozvádzača NN | 59 |
| 8 | Kompenzácia jalového výkonu | 61 |
| 8.0.1 | Stykače | 61 |
| 8.1 | Návrh centrálnej kompenzácie | 63 |
| 8.1.1 | Výpočet požadovaného kompenzačného výkonu | 64 |
| 9 | Ekonomické hľadisko | 67 |
| 9.1 | Náklady na životný cyklus transformátorov (TCO) | 67 |
| 9.2 | Ekonomické hodnotenie nákladov na transformátory rôzneho výkonu | 70 |
| 9.3 | Hospodárne zaťaženie | 76 |
| | Záver | 78 |

| | |
|----------------------------------|----|
| Literatúra | 79 |
| Zoznam symbolov a skratiek | 83 |
| Zoznam príloh | 87 |
| A Skratové pomery pre prívod č.1 | 88 |
| B Obsah elektronickej prílohy | 89 |

Zoznam obrázkov

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | ONAN | 17 |
| 1.2 | ONAF | 18 |
| 1.3 | OFAF | 19 |
| 1.4 | OFWF | 20 |
| 1.5 | Rozptyl tepla v prirodzene ventilovanom priestore | 20 |
| 3.1 | Rozmery a vzťažná os ohybového namáhania prípojnic | 29 |
| 5.1 | Schéma napájania objektu | 34 |
| 5.2 | Schéma rozvodni VN | 35 |
| 5.3 | Rozvodňa VN | 36 |
| 5.4 | Stanovište transformátorov | 37 |
| 5.5 | NN rozvodňa 400 V | 38 |
| 5.6 | Rozvodňa NN | 39 |
| 7.1 | Schéma siete VN pri skratu na pripojniciach rozvádzača | 47 |
| 7.2 | Jednotlivé moduly rozvádzača VN | 50 |
| 7.3 | Jednotlivé moduly rozvádzača VN | 51 |
| 7.4 | Jednotlivé moduly rozvádzača VN | 52 |
| 7.5 | Schéma siete pri skratu na pripojniciach rozvádzača NN | 54 |
| 8.1 | Pripínanie nenabitých kondenzátorov | 62 |
| 9.1 | Faktor A | 69 |
| 9.2 | Kolerácia medzi i a faktorom A | 70 |
| 9.3 | Celkové vynaložené náklady na transformátory rôznych výkonov | 74 |
| 9.4 | Úspora vynaložených nákladov C a rozdiel v obstarávacej cene transformátora 1000 kVA oproti transformátoru 800 kVA | 75 |
| 9.5 | Hospodárne zaťaženie transformátorov | 77 |

Zoznam tabuliek

| | | |
|-----|---|----|
| 5.1 | Štítok AM | 33 |
| 5.2 | Štítok transformátora | 37 |
| 7.1 | Vstupné parametre | 41 |
| 7.2 | Technické údaje navrhnutého transformátora TOHn 3810/22 prevzaté z [[20]] | 44 |
| 7.3 | Parametre kábla AXEKVCEY 70 mm ² prevzaté z [[21]] | 45 |
| 7.4 | Parametre rozvádzača SM6 prevzaté z [[25]] | 49 |
| 7.5 | Parametre kábla CHBU 240 mm ² prevzaté z [[28]] | 52 |
| 7.6 | Parametre rozvádzača BlokSet prevzaté z [[31]] | 58 |
| 8.1 | Údaje zariadení napájaných z rozvodne NN | 63 |
| 9.1 | Údaje transformátorov spoločnosti BEZ transformátory, a.s. | 71 |
| 9.2 | Cena za rezervovanú kapacitu prevádzkovateľa distribučnej sústavy[[42]] | 71 |
| 9.3 | Výsledné údaje z ekonomického hodnotenia nákladov na transformátory rôznych výkonov | 73 |
| 9.4 | Celkové vynaložené náklady na transformátory rôznych výkonov za 25 rokov | 74 |
| 9.5 | Hospodárne zaťaženie transformátorov | 76 |
| A.1 | Vypočítané skratové pomery pre prívod č.1, VN časť | 88 |
| A.2 | Vypočítané skratové pomery pre prívod č.1, NN časť | 88 |

Úvod

Predmetom mojej diplomovej práce je rekonštrukcia trafostanice s rozvodňou technológie vlastnej spotreby v areáli teplárni Staré Brno. V trafostanici sa nachádzajú dve transformátory vlastnej spotreby, existujúca rozvodňa VN a existujúca rozvodňa NN. Diplomová práca sa zameriava na výmenu existujúcich transformátorov za transformátory s vyšším menovitým výkonom a s nižšími prevádzkovými stratami typu ekodizajn 2, rekonštrukcia kobkových rozvodní VN a kompletná výmena NN rozvádzačov v NN rozvodni.

V diplomovej práci sú rozobraté teoretické oblasti súvisiace s plánovaným návrhom. Po teoretickej časti nasleduje podrobný popis súčasného stavu VN rozvodni, NN rozvodni a transformátorov.

Cieľom diplomovej práce je návrh modulových VN rozvádzačov, návrh nových transformátorov s vyšším výkonom, návrh nových NN rozvádzačov a novej centrálnej kompenzácie jalového výkonu.

Súčasťou diplomovej práce je aj výkresová dokumentácia rozvodni NN a ekonomické zhodnotenie transformátorov.

1 Stanovište transformátorov

Vo vnútorných a vonkajších inštaláciách s transformátormi závisí riziko požiaru na[1]:

- výkonnosti zariadení,
- izolačných látkach,
- priestorovom umiestení v blízkosti zariadení.

Spoločné záchytné vane sú usporiadané tak, aby sa zamedzilo rozšíreniu požiaru z jedného transformátora na ostatné transformátory. Princíp u samostatných záchytných vaní je rovnaký a používajú sa ako opatrenia proti požiaru vrstvy štrkopiesku alebo potrubie naplnené kvapalinou. Opatrenia pri požiaru s následkom poškodenia transformátora sú[1]:

- rozdeľovacie steny s požiarou odolnosťou,
- plynotesné nádoby,
- riadené vypúšťanie horkej kvapaliny,
- systémy hasenia požiaru.

1.1 Vonkajšie inštalácie

Kladená požiadavka u vonkajších stanovišť je neohrozenie ostatných transformátorov a objektov pri požiaru transformátora s objemom kvapaliny vyšším než 1 000 l. Znamená to, že sa kladie požiadavka na usporiadanie tejto stanice. Pre dodržanie tejto požiadavky sú stanovené odstupnené vzdialenosti G , ktorých hodnota sa znižuje u použitia automatického hasiaceho zariadenia. U transformátorov s objemom kvapaliny do 1 000 l sú protipožiarne opatrenia odvodené od povahy a použitia budovy. Hodnoty G sú uvedené v ČSN EN 61936-1.[1]

1.2 Vnútorné inštalácie

Požiadavky pre vnútorné inštalácie sú uvedené v ČSN EN 61936-1. Dvere musia byť z nízkoohľadového materiálu a mať požiaru odolnosť minimálne 60 minút. Vetracie otvory je dovolené umiestniť pre prevádzku transformátorov vo dverách alebo v susedných stenách.[1]

1.2.1 Vnútorné inštalácie v priemyselných budovách

V priemyselných budovách je požiadavka na rýchle pôsobenie ochrany a automatické odpojenie transformátora v prípade poruchy. U olejových transformátorov platia opatrenia ako v podkapitole 1.2.[1]

K dodržaniu požiarnej bezpečnosti u ostatných kvapalinou chladených transformátorov sú požiadavky súvisiace s únikom kvapaliny a zaistením hasiacich prístrojov.[1]

U suchých transformátorov sa volí trieda horľavosti vzhľadom k aplikovanému priemyslu a okolných látkach v prostredí¹. [1]

1.2.2 Vnútorne inštalácie VN v budovách, ktoré sú trvale obsadené osobami

V budovách s prístupom verejnosti sa určujú požiadavky podľa platných noriem alebo národných predpisov². [1]

1.3 Ochrana pred únikom izolačnej kvapaliny

Ochrana pred únikom izolačnej kvapaliny sa zriaďuje kvôli chráneniu životného prostredia. Okolo zariadení s objemom vyšším ako 1 000 l kvapaliny musia byť vybavené záchytným priestorom. [1]

1.3.1 Záchytná vaňa pre vnútorné zariadenia

Vo vnútorných inštaláciách sa izolačná kvapalina zachycuje dvoma spôsobmi - nepriepustnou podlahou so zvýšeným prahom a záchytnou vaňou. [1]

1.3.2 Záchytná vaňa pre vonkajšie zariadenia

Kapacita záchytných alebo havarijných vaní pre vonkajšie zariadenia môže byť zmenšená natečením vody. Vyžaduje sa možnosť ich odvodnenia alebo odčerpania vody. Steny a zvodné potrubia týchto vaní majú byť vodotesné a olejotesné. Majú sa použiť indikátory hladiny kvapaliny. Pre ochranu podzemných vôd sa musia dodržať opatrenia zabráňujúce úniku izolačnej kvapaliny. Konfigurácia záchytných priestorov a nádrže je nasledovná [1]:

- nádrže,
- záchytná vaňa s integrovanou havarijnou vaňou pre celkový objem kvapaliny,
- záchytná vaňa s oddelenou havarijnou vaňou,
- záchytná vaňa s integrovanou havarijnou vaňou pre niekoľko transformátorov.

¹ Umiestnenie stanovišťa suchých transformátorov sa navrhuje podľa ČSN 33 3240.

² Pre návrh stanovišťa transformátorov platí ČSN 33 3240, nevyplývajú z ČSN EN 61936-1 prísnejšie hodnoty.

1.4 Chladienie transformátora

Práca sa zameriava na olejové transformátory a nezaobrá sa spôsobmi chladienia suchých transformátorov.

Vlastnosti transformátora sú odvíjané od generovaného tepla v jeho jednotlivých častiach a následným spôsobom chladienia. Pri modernom trende úspory materiálu a rozmerov transformátora sú materiály zaťažované až k ich konštrukčným limitom. Tieto ekonomické trendy majú za príčinu zvýšenie požiadavky na chladienie. Pre dlhodobú životnosť je potrebné efektívne nastavenie chladienia s využitím čo najmodernejších trendov. Chladienie je možné zdefinovať ako proces odvodu tepla. Najdominantnejšie teplo v transformátore je spôsobené stratami v medi a rastie so štvorcem prúdu. To nepriaznivo pôsobí na izoláciu, ktorá degraduje a môže dôjsť k poškodeniu transformátora. Pre dlhodobú životnosť je potrebné efektívne nastavenie chladienia s využitím čo najmodernejších trendov[2].

Chladiace média sú vzduch, syntetické oleje, plyn, minerálne oleje a voda. Olej predstavuje izolačné médium olejových transformátorov. Teplo sa prenáša dvomi stupňami následovne[3]:

- z vinutia a magnetického obvodu do chladiaceho oleja,
- z oleja do prostredia.

V oboch prípadoch sa prenáša teplo na rozhraní dvoch prostredí o rôznych teplotách, ktoré sprostredkováva vnútorný (1. stupeň) a externý (2. stupeň) chladiaci systém. Vnútorný systém sa nachádza v transformátorovej nádrži a obsahuje[2][3]:

- vertikálne a horizontálne kanály,
- špeciálne potrubia,
- izolačné panely.

Externý systém sa nachádza mimo transformátor a obsahuje[2][3]:

- chladič oleja,
- filtre,
- čerpadlá,
- ventilátory atď.

1.4.1 Spôsoby chladienia transformátora

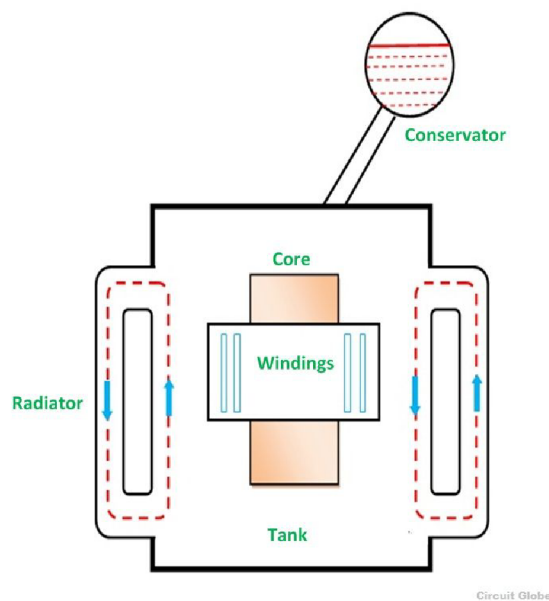
Existujú dva typy chladienia transformátora – nútené a prirodzené chladienie. U olejových transformátorov sa tieto typy chladienia uskutočňujú piatimi možnými spôsobmi, medzi ktoré patria[4][5]:

- prírodné chladienie oleja - Oil Natural Air Natural (ONAN),
- chladienie oleja s ventilátormi a prirodzenou cirkuláciou oleja - Oil Natural Air Forced (ONAF),

- chladenie oleja s ventilátormi a núteným obehom olejového chladiča- Oil Forced Air Forced (OFAF),
- olejové chladenie vodou s núteným obehom oleja - Oil Forced Water Forced (OFWF).

Prírodné chladenia oleja (ONAN)

Najjednoduchší spôsob chladenia a uplatňuje sa pre transformátory s výkonom do 30 MVA. Využíva sa prirodzený proces konvekcie oleja, kde horúci olej stúpa nahor a prechádza nádržou a radiátormi. Ďalej olej predáva okolitému vzduchu teplo, ktoré sa rozptýli. ONAN chladenie je zobrazené na obr.1.1 [4][6][7][8]



Obr. 1.1: ONAN chladenie (Prevzaté z [7])

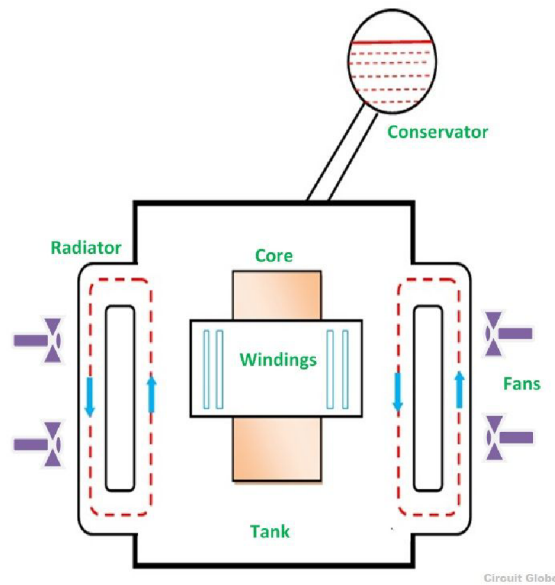
Vysvetlivky:

- Radiator - Radiátor.
- Tank - Nádrž.
- Windings - Vinutia.
- Core - Jadro.
- Conservator - Konzervátor.

Chladenie oleja s ventilátormi a prirodzenou cirkuláciou oleja (ONAF)

Odlišuje sa od metódy ONAN využitím ventilátorov umiestených na stene nádrže. Ventilátory zvyšujú rýchlosť vzduchu čím dochádza k lepšiemu odvodu tepla z oleja

do atmosféry. ONAF chladienie je zobrazené na obr.1.2 [2][6][7][8]



Obr. 1.2: ONAF chladienie (Prevzaté z [7])

Vysvetlivky:

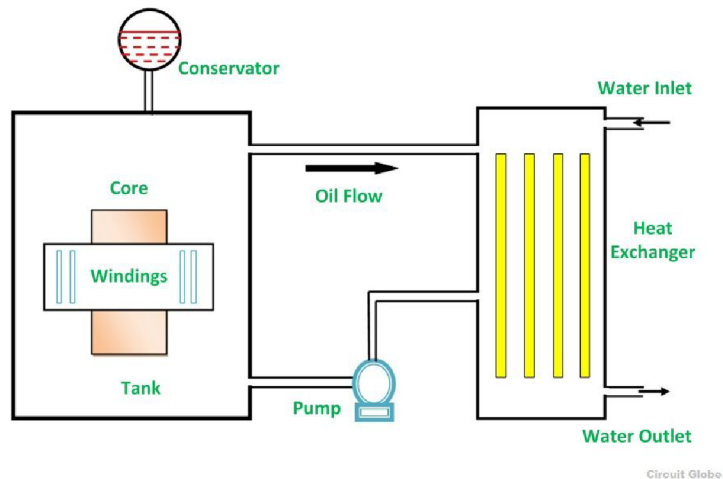
- Radiator - Radiátor.
- Tank - Nádrž.
- Windings - Vinutia.
- Core - Jadro.
- Conservator - Konzervátor.
- Fans - Ventilátory.

Chladienie oleja s ventilátormi a núteným obehom olejového chladiča (OFAF)

Systém chladienia obsahuje výmenník tepla, ventilátory a čerpadlo. Jedná sa o nútený obeh chladienia, ktorý zabezpečuje čerpadlo. Horúci olej vstupuje do výmenníku tepla, kde vháňaný vzduch ochladzuje olej za pomoci ventilátorov. OFAF chladienie je zobrazené na obr.1.3 [2][6][7][8]

Vysvetlivky:

- Tank - Nádrž.
- Windings - Vinutia.
- Core - Jadro.
- Conservator - Konzervátor.
- Oil Flow - Tok oleja.
- Water Inlet/Outlet Flow - Prívod/odvod vody.



Obr. 1.3: OFAF chladenie (Prevzaté z [7])

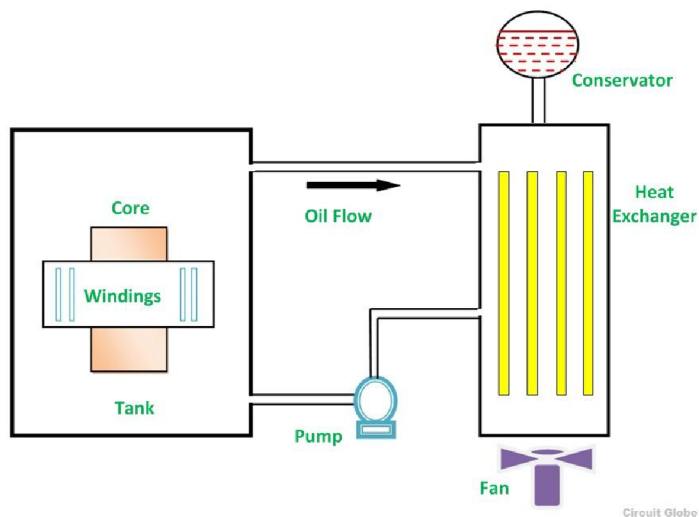
- Heat Exchanger - Výmenník tepla.
- Pump - Čerpadlo.

Olejové chladenie vodou s núteným obehom oleja (OFWF)

Štruktúra systému je podobná ako pri OFWF. Vo výmenníku tepla cirkuluje olej medzi trúbkami a v trúbkach cirkuluje voda. Systém sa vyznačuje veľkou spoľahlivosťou a tepelnou účinnosťou. OFWF chladenie je zobrazené na obr.1.4 [2][6][7][8]

Vysvetlivky:

- Tank - Nádrž.
- Windings - Vinutia.
- Core - Jadro.
- Conservator - Konzervátor.
- Oil Flow - Tok oleja.
- Heat Exchanger - Výmenník tepla.
- Fan - Ventilátor.
- Pump - Čerpadlo.



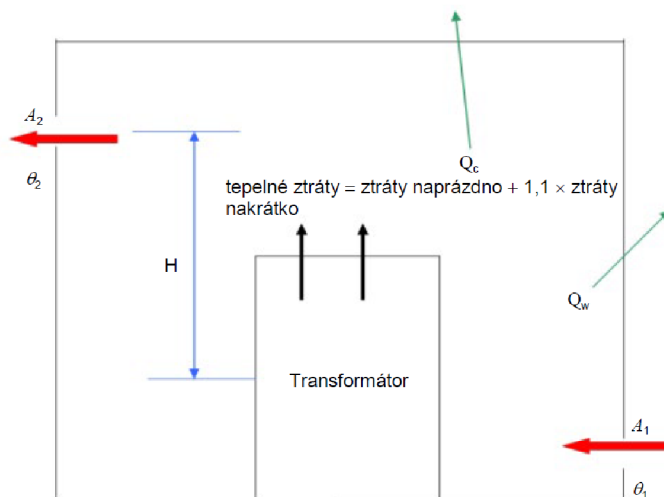
Obr. 1.4: OFWF chladenie (Prevzaté z [7])

1.4.2 Výpočet chladenia transformátora

Pri výpočte chladenia transformátora sú uvažované predpoklady[9]:

- teplo rozptýlené nútenou ventiláciou vzduchu $Q_{AF} = 0$,
- straty rozptýlené cez strop a steny $Q_c, Q_w = 0$.

Rozptyl tepla (viz. Obr.1.5) je závislý na koeficientoch prenosu tepla materiálov, ploche a rozdielu teplôt (vonkajšej a vnútornej).[9]



Obr. 1.5: Rozptyl tepla v prirodzene ventilovanom priestore (Prevzaté z [[9]])

A_1 - efektívny prierez prívodu vzduchu (m^2)

A_2 - efektívny prierez vývodu vzduchu (m^2),
 θ_1, θ_2 - teploty vzduchu na vstupe a výstupe ($^{\circ}C$),
 H - rozdiel výšok medzi stredom výstupného otvoru a stredom výšky transformátora,

Q_c, Q_w - rozptýlené straty stropom a stenami (kW).

Straty produkované transformátorom do priestoru sa spočítajú ako[9]:

$$HL = NLL + 1,1 \cdot LL \quad (1.1)$$

HL - tepelné straty transformátora v priestore (kW),

NLL - straty naprázdno transformátora (kW),

LL - straty nakrátko pri referenčnej teplote (kW).

Oteplenie vzduchu je rovné[9]:

$$\Delta\theta_a = \theta_2 - \theta_1 \sim 15 K^3 \quad (1.2)$$

Tieto straty majú byť rozptýlené mimo priestor. K tomu poslúžia vstupné a výstupné otvory pre cirkuláciu vzduchu v miestnosti. Postup výpočtu plochy otvorov vzduchu je zhrnutý nižšie.[9]

$$\frac{A_2}{A_1} > 1,1 \text{ (minimálne o 10 \% viac),} \quad (1.3)$$

Rozptýlenie tepla v priestore Q_{tot} [9]:

$$Q_{tot} = Q_{nac} + Q_{wc} + Q_{AF} \quad (1.4)$$

Rozptýlenie prirodzenou cirkuláciou vzduchu Q_{nac} [9]:

$$Q_{nac} = 0,1 \cdot A_1 \cdot \sqrt{H \cdot \Delta\theta_a^3} \quad (1.5)$$

Rozptýlenie cez steny a strop Q_{wc} [9]:

$$Q_{wc} = Q_w + Q_c = 0 \quad (1.6)$$

Rozptýlenie tepla nútenou cirkuláciou vzduchu Q_{AF} [9]:

$$Q_{AF} = 0 \quad (1.7)$$

Zaistenie dobrej ventilácie priestoru HL [9]:

$$HL = Q_{nac} + Q_{wc} \quad (1.8)$$

Prierez vstupného otvoru vzduchu A_1 je daný vzťahom[9]:

$$A_1 = \frac{HL}{0,1 \cdot \sqrt{H \cdot \Delta\theta_a^3}} \quad (1.9)$$

Prierez výstupného otvoru vzduchu A_2 je daný vzťahom[9]:

$$A_2 = 1,1 \cdot A_1 \quad (1.10)$$

³ 15 K je empirická hodnota.

2 Ochranné zariadenia transformátorov a príslušenstva

Použitie konkrétneho typu ochrany u transformátora je závislé od typu transformátora, a to konkrétne [10]:

- blokový transformátor,
- transformátor v odbočke vlastnej spotreby alternátora,
- sieťové transformátory.

Konkrétne druhy ochrán určené pre tieto typy transformátorov sú zhrnuté v tabuľkách normy ČSN 33 3051.[10]

2.1 Doplnky pre ochrany transformátorov

Rozdielová ochrana

U rozdielovej ochrany je dôležitá necitlivosť na zapínacie magnetizačné prúdy. Ochrana sa pripojí vyrovnávacím transformátorom prúdu pri nespôsobilosti prispôbiť prevody a zapojenie prístrojových transformátorov prúdu.[10]

Zemná ochrana nádoby transformátoru

Požiadavok u zemnej ochrany je jej nepôsobenie pri zemnom spojení v pomocnom obvode. Dodržanie tohto požiadavku sa realizuje prevlečením káblov pomocných obvodov a uzemňovacieho kábla cez násuvný transformátor prúdu. Medzi kolajnice a nádobu transformátora sa vkladá izolácia. Ochrana sa overuje meraním pred uvedením do prevádzky a pri revíziách.[10]

2.2 Istenie distribučných transformátorov

Istenie transformátora slúži k eliminácii účinkov porúch pôsobiacich naňho. Poruchy transformátora sa delia na dve skupiny:

- porucha vo vnútri transformátora - medzizávitový skrat, skraty medzi vinutiami,
- poruchy s účinkom na transformátor (priechodzie) - preťaženie, zhoršený odvod tepla apod.

U istenia transformátora je za potrebné brať na vedomie zapínacie magnetizačné prúdy, ktoré sú najväčšie pri zapínaní transformátora naprázdno. Dosahujú niekoľkonásobok menovitého prúdu transformátora a závisia od okamžitej fázy napätia a

remanentného magnetického toku v jadre transformátora. Istiaci prvok na primárnej strane nemá zapôsobit na tieto prúdy v stanovenom čase.[11][12][13]

2.2.1 Primárna strana transformátora

K isteniu primárnej strany sa najviac používajú vn poistky. Istenie na primárnej strane sa používa:

- pri skrate na primárnej strane istí vedenie,
- pri závitovom skrate v transformátore, kde obmedzuje deštrukciu transformátora,
- pri skrate na sekundárnej strane transformátora, kde istí vinutie transformátora proti poškodeniu.[11][12][13]

Požiadavky na istenie

Požiadavky na istenie primárnej strany sú nasledujúce:

- po dobu 100 ms nesmie poistka vypnúť zapínací magnetizačný prúd transformátora ($12 \times I_n$),
- do doby 2 s musí poistka vypnúť skrat na sekundárnej strane,
- najmenší skratový prúd musí byť menší než obmedzený rozsah vypínania vn poistky,
- vypínacia schopnosť vn poistky musí byť väčšia ako je skratový výkon v mieste inštalácie,
- selektivita medzi vn poistkou a istením sekundárnej strany.

Z týchto požiadaviek vychádza menovitý prúd vn poistky na $2-3 \times I_n$ primárneho prúdu transformátora.[11][12][13]

2.2.2 Sekundárna strana transformátora

Istiace prvky umiestnené v hlavnom rozvádzači na sekundárnej strane transformátora slúžia k isteniu proti preťaženiu. Ich vypínacia schopnosť musí byť vyššia ako skratový prúd rozvádzača.[11][12][13]

Požiadavky a prevedenie na istenie

Požiadavky na istenie primárnej strany sú nasledujúce:

- pre istič - I_n ističa je rovnaké ako I_n transformátora na sekundárnej strane,
- poistky gTr - výkon poistiek odpovedá priamo výkonu transformátora.[11][12][13]

3 Teória dimenzovania

Návrh kábla spočíva v[12]:

- volbe druhu kábla,
- spôsobe uloženia kábla,
- stanovení prierezu.

Správne nadimenzovanie kábla zahŕňa nasledujúce oblasti[14]:

- prevádzková teplota,
- úbytok napätia v stanovených medziach,
- mechanická pevnosť,
- hospodárnosť,
- tepelné a dynamické účinky skratových prúdov.

3.1 Dimenzovanie vodiča podľa dovolenej prevádzkovej teploty

Vyžaduje sa, aby oteplenie vodiča neprekročilo stanovenú hodnotu, pretože môže dôjsť k poškodeniu izolácie a k zmene mechanických vlastností. Prúd, ktorým je možné zaťažovať kábel sa určuje na základe najvyššej dovolenej trvalo prevádzkovej teploty. Pri prevádzkovej teplote jadier vodiča sú dôležité nasledujúce aspekty[14]:

- typ vodiča/kábla,
- charakteristika prevádzky,
- charakteristika prostredia,
- charakteristika uloženia,
- charakteristika zaťaženia.

3.1.1 Charakteristika vodiča

Teplota vodiča je závislá od prechádzajúceho prúdu. Najväčšia pozornosť sa sústreďuje na parameter dovolená prevádzková teplota jadier vodiča. Je daná podľa ČSN 33 2000-5-52 ed.2. Okrem tohto parametra sa pri dimenzovaní kábla uvažujú časovo otepľovacie a ochladzovacie konštanty s menovitou zaťažiteľnosťou $I_{n,z}$. Hodnota $I_{n,z}$ je buď udaná výrobcom alebo sa nachádza v norme.[14]

3.1.2 Charakteristika prevádzky

Je charakterizovaný prúdom I_z (A) a jeho časovým priebehom a spočíta sa z výpočtového výkonu P_p (W) a jeho účinníka φ (-) nasledovne[11]:

$$I_z = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos\varphi}, \quad (3.1)$$

kde U_s je združené napätie (V).

3.1.3 Charakteristika prostredia

Teplo vznikajúce vo vodiči prestupuje do prostredia kde zvyšuje teplotu okolia. Teplota okolia je jedným z charakteristických hodnôt prostredia. Jedným zo schopností izolačnej vrstvy kábla je bránenie prestupu tepla z jadra kábla do prostredia. Prostredie zohráva dôležitú úlohu pre odvod tepla. Druh prostredia predstavuje druhú charakteristickú hodnotu prostredia. Posledným parametrom charakterizujúcim prostredie je tepelný odpor pôdy.[14]

U problematiky dimenzovania kábla sa rozlišujú tzv. referenčné a maximálne skutočné hodnoty. Zatiaľ čo referenčné hodnoty slúžia k výpočtu dovoleného prúdu vodiča $I_{n,z}$, tak maximálne skutočné hodnoty slúžia k prepočtu tohto prúdu pomocou koeficientov na prúd I_z (prúdová zaťažiteľnosť). Pre izolované vodiče a káble na vzduchu, bez ohľadu na spôsob uloženia je referenčná hodnota teploty okolia 30°C. Pre káble uložené v zemi 20°C. Skutočná teplota okolia je premenlivá a závisí od veľa faktorov (nadmorská výška, zrážky atď.). U dimenzovania sa pri tepelnom odpore uvažuje maximálnych hodnôt. Pri teplote okolia sa ovplyvňujúce faktory neuvažujú. Potrebné koeficienty sú uložené v tabuľkách v norme ČSN 33 2000-5-52 ed.2.[14]

3.1.4 Charakteristika uloženia

Spôsob uloženia silových káblov je nasledujúci[14]:

- v zemi vo výkope,
- v káblových kanáloch, mostoch a šachtách,
- na rovnom podklade – stena, konštrukcia, šachty,
- na nosnom lane,
- v kolektoroch.

Charakteristika uloženia zahŕňa počet vodičov a ich zoskupenia, spôsob uloženia kábla, priebeh trasy (zvislý, vodorovný) atď. Ak sa zoberie napr. spôsob uloženia alebo trasy, má to vplyv na ochladzovanie, vzájomné tepelné ovplyvňovanie atď. Má to za následok hranicu zaťažiteľnosti a s ním spojenú prevádzkovú teplotu ϑ_z . Existuje sedem spôsobov referenčného uloženia, pre ktoré je v norme ČSN 33 2000-5-52 ed.2 udané dovolené prúdy káblov.[14]

3.1.5 Charakteristika záťaže

Oblasť sa zaoberá vyššími harmonickými prúdmi, ktoré negatívne ovplyvňujú kábel – vyššie dielektrické straty a väčšie zaťaženie stredného vodiča. Pre zahrnutie popísaného problému, sú v norme ČSN uvedené prepočítavacie koeficienty harmonických prúdov. Ďalšou oblasťou dimenzovania kábla je hospodárnosť.[14]

3.2 Dimenzovanie prierezu vodiča z hľadiska hospodárnosti

Ekonomické požiadavky na hospodársky prierez spočíva v optimalizácii[14]:

- ročných nákladov,
- prevádzky,
- údržby.

Hospodársky prierez je daný nasledujúcim vzťahom a platí pre dobu plných strát (T) >1000 hod.[14]:

$$S = k \cdot I_z \cdot \sqrt{T}, \quad (3.2)$$

k - tabulková hodnota,

I_z - výpočtový prúd (A),

T - doba plných strát a spočíta sa ako:

$$T = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \cdot \frac{A^2}{P_p^2 \cdot t^2} \right), \quad (3.3)$$

t - počet prevádzkových hodín zariadení (h),

A - elektrická energia prenesená vedením za rok (Wh),

P_p - výpočtové zaťaženie (W).

3.3 Dimenzovanie vodiča podľa mechanickej pevnosti

Správne nadimenzovanie má zaručiť odolnosť voči mechanickému namáhaniu pri normálnej prevádzke. Vonkajšie vedenia a káble sú mechanicky namáhané v rozličných situáciách. Norma ČSN 33 2000-5-52 ed.2 udáva najmenší dovolený prierez so zreteľom na mechanické namáhanie.[14]

3.4 Dimenzovanie vodiča podľa úbytku napätia

Úbytok napätia je podľa [14] definované ako: „Rozdíl absolutních hodnot napětí ve dvou místech soustavy.“

Odchýlka napätia je podľa [14] definovaná ako: „Rozdíl absolutní hodnoty napětí v daném místě rozvdou a napětí jmenovitého.“ Odchýlka napätia patrí medzi kvalitatívne ukazovatele dodávky.

U dimenzovania je dôležité, aby pokles napätia neprekročil stanovenú hodnotu. Norma udáva dovolené tolerancie napätia. Úbytok napätia na vodiči sa môže vypočítať dvojakým spôsobom. Spôsob použitia závisí na účinníku $\cos\varphi$ a to následovne[14]:
pre $\cos\varphi \geq 0,5$

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos\varphi + X \cdot I \cdot \sin\varphi, \quad (3.4)$$

pre $\cos\varphi > 0,5$

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos\varphi + X \cdot I \cdot \sin\varphi + \frac{(R \cdot I \cdot \sin\varphi - X \cdot I \cdot \cos\varphi)^2}{2} \quad (3.5)$$

Posledným hľadiskom dimenzovania kábla je podľa skratových prúdov.

3.5 Dimenzovanie podľa účinkov skratových prúdov

3.5.1 Tepelné účinky skratových prúdov

Výsledkom dimenzovania je minimálny prierez S_{\min} , ktorý zabezpečí, že sa vodič neohreje nad najväčšiu dovolenú teplotu v_k vodiča pri skrate. Hodnota v_k je daná v norme ČSN. Pri skrate v dobe t_k sa celkovo teplo vyvinie len v jadre vodiča. Prevádzková teplota v_z sa zvýši na teplotu v_k . Pri výpočte sa uvažuje najvyššia možná doba skratu t_k . [14]

Norma uvádza tieto predpoklady pri výpočte[14]:

- neuvažuje sa vplyv magnetického poľa vlastného vodiča (skinefekt) ani vplyv mag. poľa blízkych paralelných vodičov (proximityefekt),
- závislosť elektrického odporu na teplote je lineárna,
- merné teplo vodiča je konštantné,
- nepočíta sa s odvodom tepla (adiabatický ohrev).

Minimálny prierez sa spočíta nasledovné:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_o \cdot (v_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{v_f + v_k}{v_f + v_z}}} \quad (3.6)$$

Materiálové konštanty v_f, ρ_{20}, c_o sú uvedené v norme ČSN.

3.5.2 Dynamické účinky skratových prúdov

Máme dva nekonečné dlhé rovnobežné vodiče so zanedbateľným prierezom, ktorými preteká elektrický prúd, môžeme vyjadriť ich vzájomné silové pôsobenie ako[15]:

$$f = \frac{F}{l} = \frac{i_1 \cdot B_2 \cdot l}{l} = i_1 \cdot B_2 = i_1 \cdot \mu \cdot H_2 = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_1 \cdot i_2}{a}, \quad (3.7)$$

l – dĺžka vodiča (m),

B – veľkosť magnetickej indukcie (T),

i_1, i_2 – okamžité hodnoty prúdov pretekajúcich vodičmi (A),

a – vzdialenosť vodičov (m),

H – intenzita magnetického poľa ($A \cdot m^{-1}$),

μ – permeabilita vákua ($H \cdot m^{-1}$).

Uvažuje sa maximálna sila F_m medzi hlavnými vodičmi spôsobená prúdom i_p :

$$F_m = 2 \cdot k \cdot \frac{i_p^2}{a_m} \cdot l \cdot 10^{-7}, \quad (3.8)$$

i_p – nárazový skratový prúd (A),

l – Dĺžka vodiča medzi podpierkami (m),

k - koeficient rešpektujúci usporiadanie vodičov a fázový posun prúdu v jednotlivých vodičoch (-),

$k = \frac{\sqrt{3}}{2}$ - prostredný vodič trojfázovej sústavy, $k = 0,81$ krajný vodič trojfázovej sústavy v rovinnom usporiadaní,

$k = 0,85$ vodiče trojfázovej sústavy v usporiadaní do rovnostranného trojuholníka (-),

$k = 1$ pre výpočet sily medzi vodičmi jednej fázy (-),

a_m - účinná vzdialenosť medzi vodičmi (m),

k_{1s} - súčiniteľ pre výpočet účinnej vzdialenosti.

Výpočet namáhania tuhých vodičov

Ohybové namáhanie vodiča sa spočíta následovne[15]:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot W_m}, \quad (3.9)$$

W_m - prierezový modul hlavného vodiča (m^3), ktorý je rovný $W_m = \frac{1}{6} \cdot b \cdot d^2$ a rozmery b (m) a d (m) sú dané podľa Obr.3.1,

V_σ - pomer dynamického a statického príspevku namáhania hlavného vodiča (-),

V_r - pomer príspevku opätovného zapnutia k dynamickému namáhaniu hlavného vodiča (-),

β - súčiniteľ rešpektujúci typ upevnenia vodiča a počtu podpier (-).

Ohybové namáhanie dielčich vodičov σ_s (Pa) hlavného vodiča sa spočíta následovne:

$$\sigma_s = V_{\sigma s} \cdot V_{rs} \cdot \beta \cdot \frac{F_s \cdot l_s}{8 \cdot W_s}, \quad (3.10)$$

W_s - prierezový modul dielčieho vodiča (m^3), ktorý je rovný $W_s = \frac{1}{6} \cdot b \cdot d^2$ a rozmery b a d sú dané podľa Obr.3.1. Je závislý na usporiadaní vodiča a vzťažnej osi namáhania,

$V_{\sigma s}$ - pomer dynamického a statického príspevku namáhania čiastkového vodiča,

V_{rs} - pomer príspevku opätovného zapnutia k dynamickému namáhaniu hlavného vodiča (-),

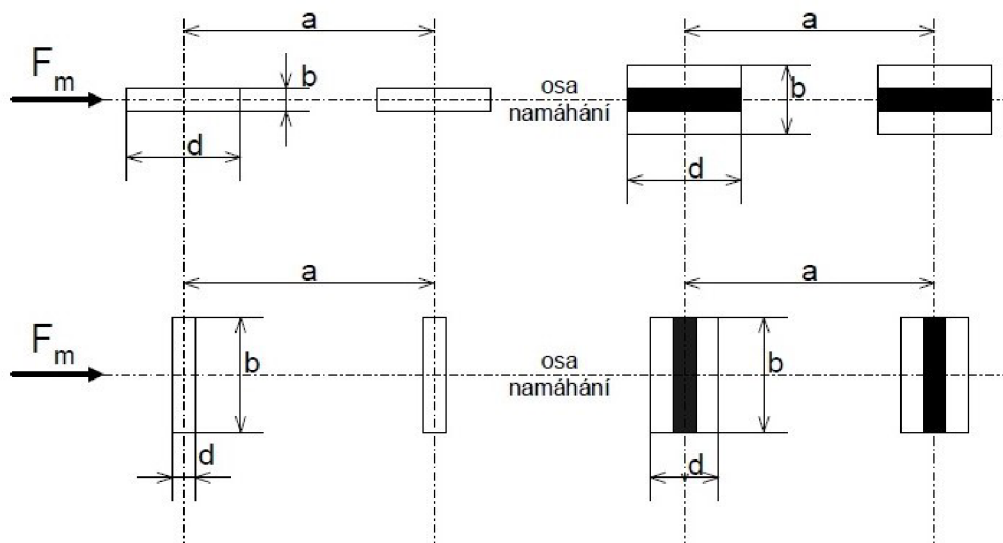
F_s - sila pôsobiaca medzi dielčimi vodičmi v (N) a spočíta sa ako:

$$F_s = 2 \cdot \left(\frac{i_p}{n} \right)^2 \cdot \frac{l_s}{a_s} \cdot 10^{-7}, \quad (3.11)$$

l_s - vzdialenosť medzi rozperkami alebo vystuženými vložkami (m),

n - počet dielčich vodičov,

a_s - účinná vzdialenosť medzi dielčimi vodičmi (m).



Obr. 3.1: Rozmery a vzťažná os ohybového namáhania pripojnic (Prevzaté z [15])

Ukazovateľ správneho nadimenzovania je menšia veľkosť ohybového namáhania vodičov voči ťahovému namáhaniu. Ťahové namáhanie má za následok trvalú (plastickú) deformáciu materiálu vodiča (pripojnic). Je obťažné určiť rozmedzie medzi

trvalou a dočasnú deformáciou týchto materiálov. Používa sa preto zmluvná medza priernosti (sklzu) $R_{p,0,2}$. Toto napätie spôsobí deformáciu 0,2 %.[15]

Správne nadimenzovanie musí splniť nasledujúce podmienky:

- pre jednoduché vodiče:

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2}, \quad (3.12)$$

- pre vodiče zložené z dvoch alebo viac dielčích vodičov:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_m + \sigma_s \leq q \cdot R_{p0,2}, \quad (3.13)$$

- a súčasne:

$$\sigma_s \leq R_{p0,2}, \quad (3.14)$$

q - súčiniteľ plasticity prierezu vodiča.[15]

4 Vlastná spotreba

Transformátor umiestnený v teplárni slúži pre napájanie vlastnej spotreby. Vlastná spotreba (ďalej VS) elektriny je zadefinovaná podľa ČSN 381120 ako [16]: „*spotřeba elektrické energie při výrobě elektriny a tepla ve výrobním zařízení a pomocných provozech, včetně ztrát a rozvodu*“. Transformátor predstavuje pre spotrebiče zdroj VS. [16]

Pri voľbe zdroja VS sa musí pri dimenzovaní dodržať podmienka, že výkon zdroja VS je rovný alebo väčší ako súčet výkonov všetkých napájaných spotrebičov z VS. [16]

$$S_z \geq \sum S_p \quad (4.1)$$

Podľa normy ČSN 381120 musí byť ešte splnené [16]:

- Napätie na svorkách elektromotorov priamo napájaných zo siete a iných spotrebičov nesmie prekročiť toleranciu +5 % a -5 %, výnimočne +10 %.
- Napätie na zdrojoch nesmie prekročiť medze určené ich výrobcom.
- Pri spustení jednotlivých pohonov s elektromotormi nemá napätie klesnúť pod 85 % menovitého napätia. Celkovo nesmie klesnúť pod 80 % menovitého napätia.
- Pri spustení elektromotor regulačných pohonov musí regulácia zabezpečiť také podmienky, aby bol zaistený rozbeh pohonov, ale pokles napätia musí spĺňať podmienky z predošlého bodu.
- Pri rozbehu pohonov s motormi priamo napájanými zo siete, za samonajazdení nemá napätie na svorkách motorov po obnovení napájania klesnúť pod 65 % menovitého napätia.
- Pri rozbehu pohonov motorov priamo napájaných zo siete, za samonajazdení musí regulácia zabezpečiť také napätie, aby bol zaistený rozbeh pohonov, ale pokles napätia musí spĺňať podmienky z predošlého bodu.

Je potrebné brať na vedomie, že pri rozbehu motora dochádza k poklesu napätia na napájacom transformátore, pripojniciach v rozvodni a na samotných svorkách motora. Vplyvom poklesu napätia pod dovolenú hodnotu môže nastať nerozbehnutie motora. U niektorých motorov sa musí kontrolovať tento pokles a pre rozbeh motora platí, že záberný moment motora pri poklese napätia M_z musí byť väčší než záberný moment poháňaného zariadenia M_r [11]:

$$\frac{M_{zn}}{M_n^2} \cdot \frac{U^2}{U_n^2} \geq \frac{M_r}{M_n} \quad (4.2)$$

M_{zn} - záberný moment motora pri U_n ,

M_z - záberný moment motora pri $U < U_n$,

M_r - záberný moment potrebný pre rozbeh poháňaného zariadenia.

Vyjadríme v pomerných jednotkách[11]:

$$m \cdot u^2 \geq k \tag{4.3}$$

Pre úbytok napätia následne platí[11]:

$$\Delta u = 1 - u \leq 1 - \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{4.4}$$

5 Opis súčasného stavu trafostanice

Kapitola sa zaoberá podrobným popisom súčasnej dispozície existujúceho objektu vrátane použitej technológie a jednotlivých prístrojov.

Popisovaným objektom je tepláreň Staré Brno. Jej úlohou je výroba a dodávka tepelnej energie do prepojenej parnej siete a dodávka horúcej a studenej vody do oblasti Staré Brno. Palivom je zemný plyn a inštalovaný tepelný výkon je 34 MWt.[18]

Objekt obsahuje dve prírodné polia pre prívody z kábelovej siete 22 kV napájanou distribučnou spoločnosťou EG.D. Súčasťou objektu sú technologické zariadenia ako:

- trafostanica,
- bubnové parné kotle,
- asynchronné motory,
- napájacie čerpadlá,
- obehové čerpadlá,
- čerpadlá pre užitkovú vodu a topenie,
- kompresory,
- výmenníky tepla a chladiče kondenzátu výmenníkov,
- zásobné nádrže upravenej vody,
- záložný dieselagregát.

V teplárni sa nachádzajú dva bubnové parné kotly, z ktorých každý má výkon 100 kW. Ako voda sa používa kondenzát z mesta alebo priamo z vodovodu. Pred kotlom sa nachádza ohrievač, ktorý predhrieva vzduch nasávaný zo vzduchových ventilátorov. Ventilátory sú poháňané asynchornnými motormi (ďalej AM). Štítok AM je zobrazený v Tab.5.1. Regulácia je riadená frekvenčnými meničmi. Ďalej tepláreň disponuje tromi zásobnými nádržami upravenej vody s celkovým objemom 47 190 l.

Tab. 5.1: Štítok AM

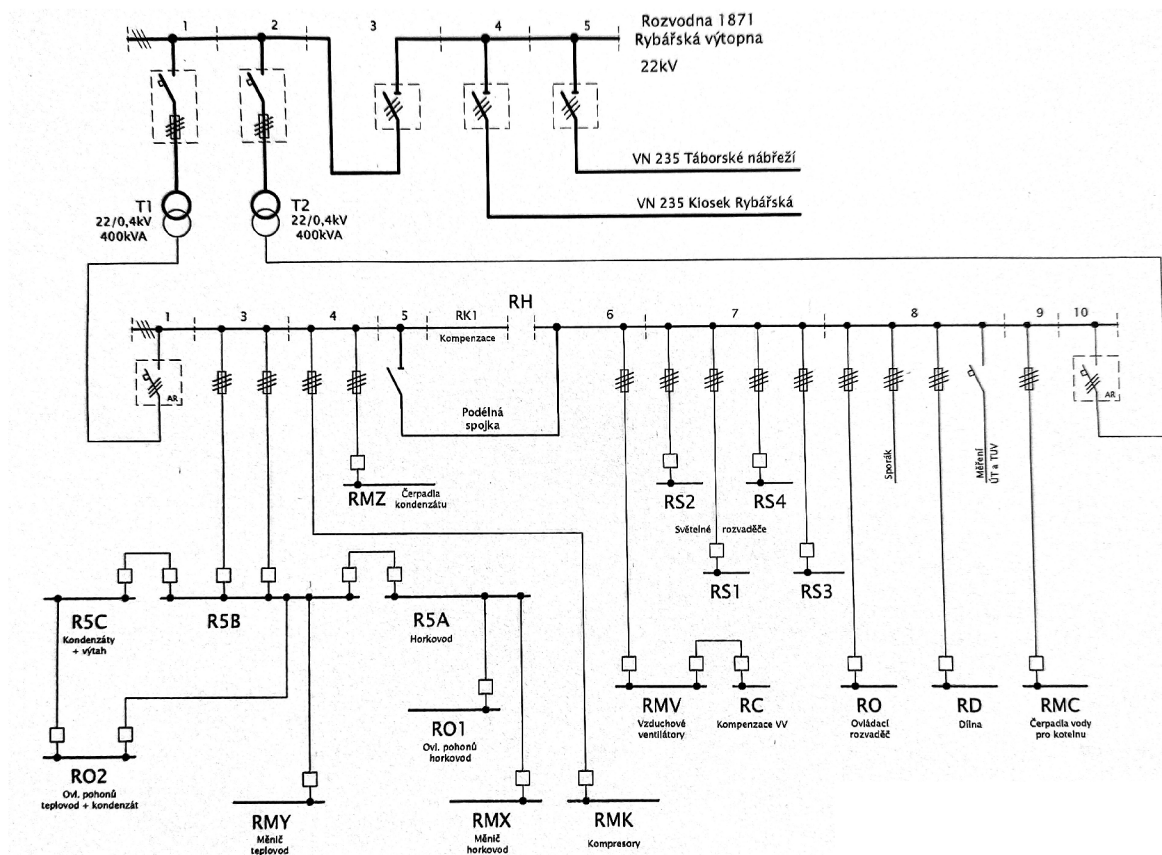
| Typ | F280S04 100 |
|------------------|-------------|
| P_n (kW) | 75 |
| U_n (V) | 380 |
| I_n (A) | 140 |
| f (Hz) | 50 |
| n_o (ot/min) | 1 480 |
| Zapojenie stator | Δ |
| Krytie | IP44 |

Samotná trafostanica pozostáva z troch častí:

- VN rozvodňa.

- NN rozvodňa.
- Transformátory.

Schéma napájania objektu je zobrazený na Obr.5.1



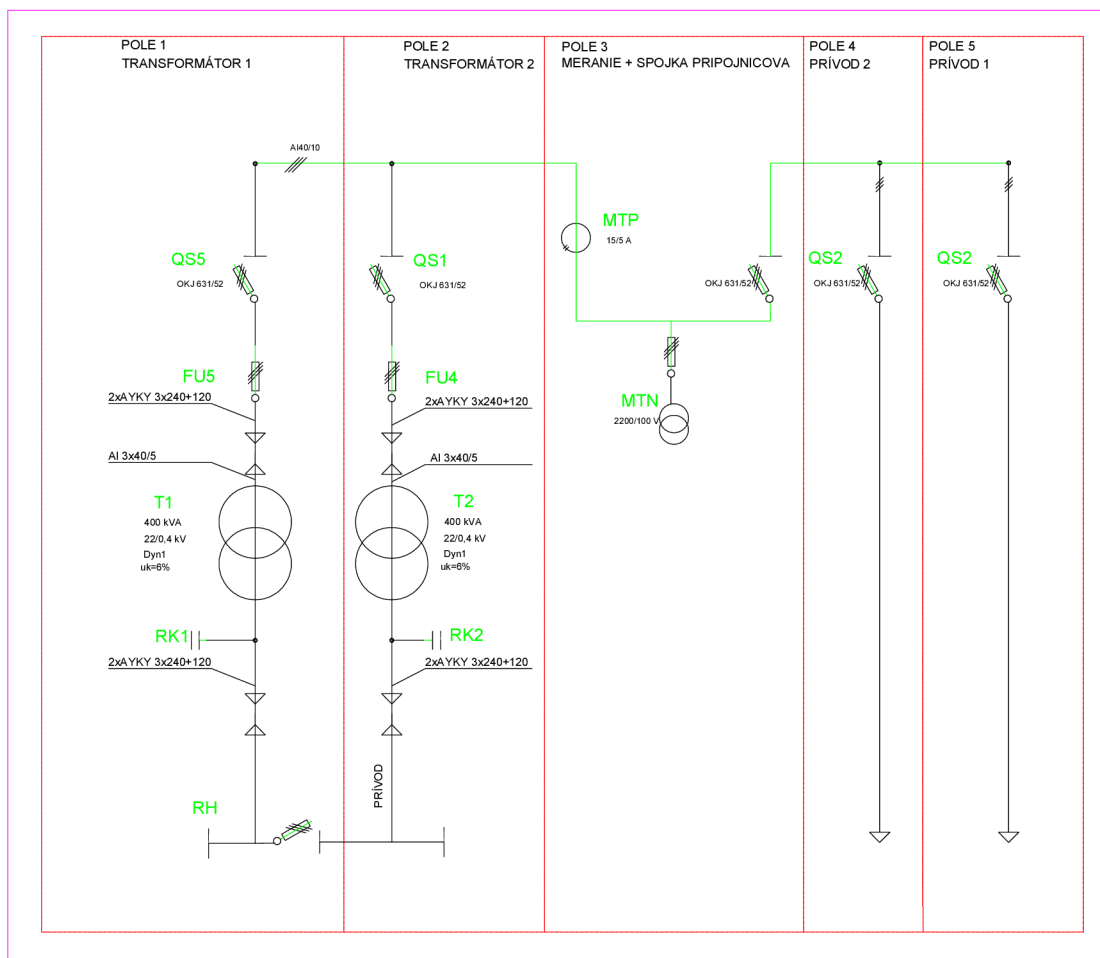
Obr. 5.1: Schéma napájania objektu

5.1 VN rozvodňa 22 kV

Prívody sú riešené ako:

- prívod č.1 - je riešený káblom AXEKCY 3x240 mm² z trafostanice VN 235 Kiosek Rybářská,
- prívod č.2 - je riešený káblom AXEKCY 3x240 mm² z trafostanice VN 235 Táborské Nábřeží.

Prívodné polia vo VN rozvodni 22 kV sa nachádzajú na prvom podlaží teplárne a je riešená vo forme kobky. Jednotlivé kobky sú od seba oddelené protipožiarnymi prepážkami. Rozvodňa obsahuje celkovo 5 kobiek z nich dve sú prívodné, ďalej jedna kobka slúži pre meranie a ostatné dve sú vývodové na transformátory. Na Obr.5.2 je zobrazená schéma rozvodní VN.



Obr. 5.2: Schéma rozvodni VN

5.1.1 Popis kobiek

Kobka č.5 obsahuje prívod č.1 a je riešená káblom AXEKCY 3x240 mm² a je ukončená VN koncovkami. Kobka č.4 obsahuje prívod č.2 a je riešená káblom AXEKCY 3x240 mm² a je ukončený VN koncovkami. Prívodové kobky obsahujú kompresné odpínače OK651/51. Tieto odpínače obsahujú ako príslušenstvo nasledujúce:

- podnapätová cievka,
- pomocné kontakty,
- vypínacia cievka.

Kobka č.3 obsahuje pole merania a pozostáva z:

- odpínače OM 22/400-30,
- prístrojový transformátor napätia 22000/100 V,
- merací transformátor prúdu 15/5 A,
- elektromer.

V kobke je zriadené nepriame meranie prostredníctvom prístrojových transformátorov prúdu a napätia. MTP sú umiestnené v dvoch fázach a MTN sú pripojené vo všetkých troch fázach. Elektromer je vo vlastníctve spoločnosti EG.D. a údaje sú z neho získavané diaľkovým odpočtom. Vedľa elektromeru sa nachádza optooddelovač, ktorý vysiela pulzy pre diaľkové meranie. Tieto dáta sú pre teplareň.

Z kobky č.3 vedie prípojnicový systém na kobky č.1 a č.2. Kobky č.1 a č.2 slúžia ako vývodové polia na transformátory T1 a T2. Obe kobky obsahujú kompresné odpínače 631/52 s poistkovou nástavbou a stradačovým pohonom a valcové poistky FU s $I_N = 16 \text{ A}$ a $U_N = 25 \text{ kV}$. Z poistiek vedie kábel 3x22 AXEKCY 1x70 mm² na prívod transformátora T1 a T2. Na Obr.5.3 sa nachádza rozvodňa VN.



Obr. 5.3: Rozvodňa VN

5.2 Transformátor

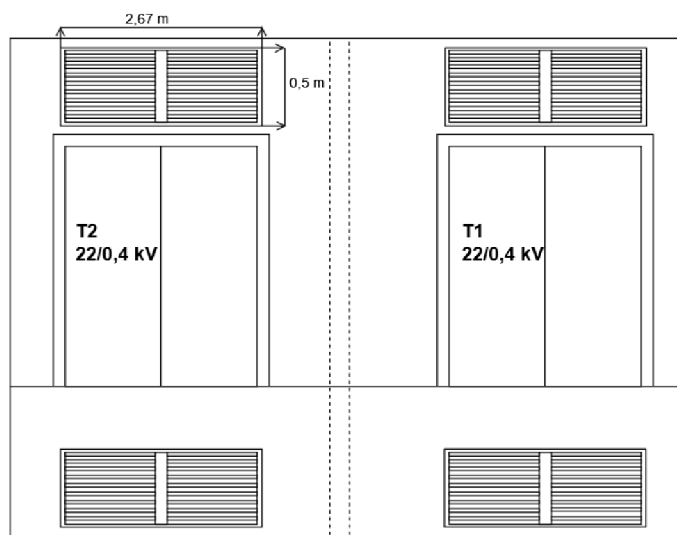
Na prvom podlaží sa nachádzajú dva olejové transformátory Dyn1 22/0,4 kV T1 a T2 umiestnené v samostatných komorách. Prívodný kábel z rozvodni VN 3x22 AXEKCY 1x70 mm² je upevnený na svorky plochého hliníkového pasového vodiča 3x Al 40/5 pripevneného na vstupné svorky vinutia vyššieho napätia (22 kV). Obe transformátory majú výkon 400 kVA a obsahujú záchytnú nádrž pre prípadné vypustenie oleja. Hĺbka záchytnej nádrže je 1,7 m. Parametre štítkov transformátorov sú rovnaké a sú umiestnené v Tab.5.2.

Rozmery transformátora sú 2,1x1,8 m. Chladenie transformátorov je riešené prirodzenou cirkuláciou vzduchu (ONAN). Nad vstupnými dvermi sa nachádzajú otvory pre cirkuláciu vzduchu. Plocha otvorov je rovná 1,34 m². Rozmery otvorov sú

na obr.5.4.

Tab. 5.2: Štítok transformátora

| | |
|---------------|------------|
| Typ | aT0v354/22 |
| S_n (kVA) | 400 |
| U_{n1} (V) | 22000 |
| I_{n1} (A) | 10,5 |
| U_{n2} (V) | 400/231 |
| I_{n2} (A) | 577 |
| u_k (%) | 6 |
| Zapojenie | Dyn1 |
| Hmotnosť (kg) | 1920 |

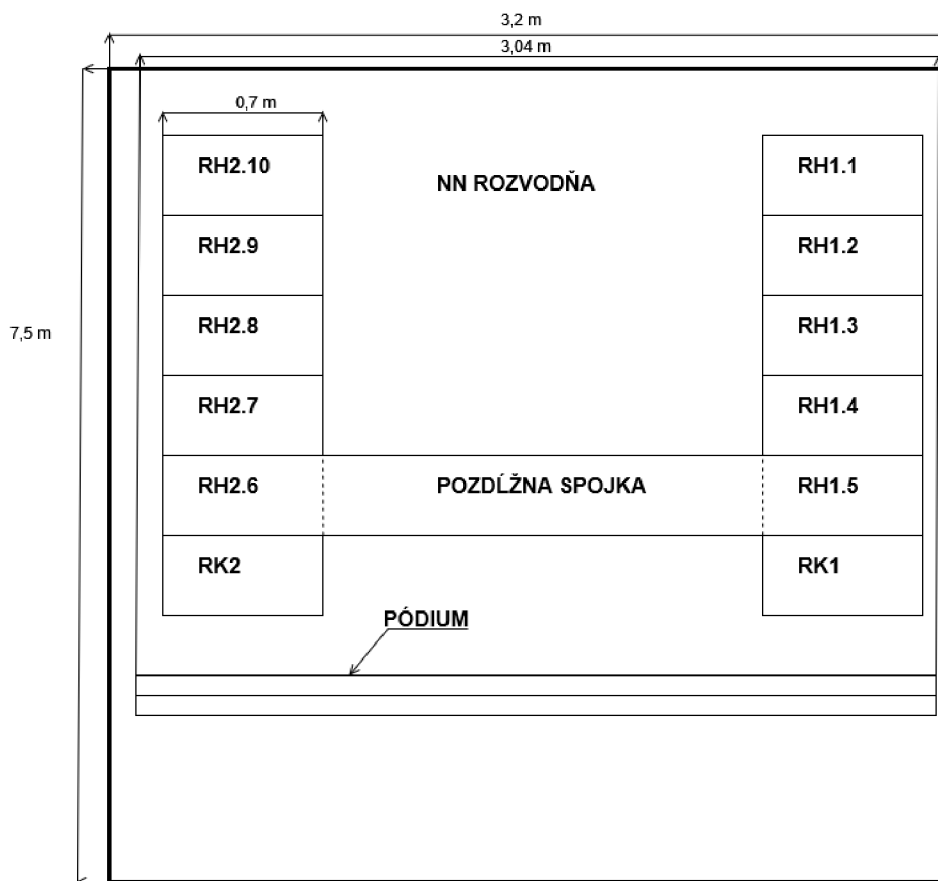


Obr. 5.4: Stanovište transformátorov

Pred transformátorovým stanoviskom je umiestená zábrana slúžiaca k zabráneniu pred náhodným vstupom. Zo sekundárneho vinutia transformátora 400 V vedú svorky pre jednotlivé káble 2xAYKY 3x240+120 mm² do prívodného poľa rozvodni NN umiestnenej na druhom podlaží.

5.3 NN rozvodňa 400 V

Rozvodná miestnosť NN pozostáva z dvoch úsekov skriňových rozvádzačov. Sieť je riešená sústavou TN-C. Každý úsek je napájaný samostatne transformátorom



Obr. 5.5: NN rozvodňa 400 V

22/0,4 kV. Úsek rozvádzačov napájaných z transformátora T1 pozostáva z piatich polí označených ako RH1.1 až RH1.5 a druhý úsek napájaný transformátorom T2 pozostáva z polí RH2.6 až RH2.10. Tieto dva úseky sú vzájomne prepojené pozdĺžnou spojkou obsahujúcou odpojovač. Polia RH1.1 a RH2.10 sú prívodné, ďalej polia RH1.2-RH1.5 a RH2.6-RH2.9 sú vývodové a pole RK1 je kompenzačné.

Na vstupe do prívodového polia RH1.1 a RH2.10 je umiestnený odpojovač ARV1033 800 A. Následne sú umiestnené MTP 4x1000/5 A pre podružné meranie. Pre podružné meranie sa využíva dvoj-tarifový elektromer PJ1 x/5A. Na vstupe sú ešte umiestnené istiace prvky ako poistkový spodok 10 A a istič 1 A. Na dverách prívodných polí sa nachádza tlačidlo pre zapínanie a vypínanie so signalizáciou a displej ukazujúci aktuálny nameraný prúd a napätie. Pole je pripojené hliníkovými pasovými vodičmi 3xAl 63/10 mm na prípojnice umiestnené na podperách a vedú celým úsekom polí.

Vývodové polia RH1.2 až RH1.4 a RH2.9 sú riešené topologicky rovnako. V týchto poliach je pripojený na každú fázu poistkový odpojovač, PTP, displej ukazujúci aktuálne nameraný prúd. Z fázy L1 a L2 polia RH1.3 vedie energia do rozvádzaču



Obr. 5.6: Rozvodňa NN

RMY, ktorý je prepojený s ďalšími rozvádzača. Energia z RH1.3 sa využíva na:

- ovládanie pohonov teplovod + kondenzát,
- kondenzáty + výťah,
- horúcovod,
- ovládanie pohonov horúcovodu.

Z fázy L1 v poli RH4.1 je napájaný rozvádzač RMK napájajúci kompresory. Fáza L2 tohto poľa napája čerpadlo kondenzátu.

Z poľa RH2.9 je napájaný rozvádzač RMC, ktorý napája čerpadlá vody pre kotolňu.

Vývodové polia RH2.7 až RH2.8 sú riešené topologicky rovnako. Tieto polia obsahujú nožové poistky, PTP, dvoj-tarifné elektromery, poistky chrániace elektromery, poistkové odpojovače. Fáza L1 poľa RH2.8 napája ovládací rozvádzač RO, fáza L2 vedie do miestnosti kuchyňa, fáza L3 napája rozvádzač RD umiestený v dielni a fáza L4 je napojená na meráciu techniku. Z poľa RH2.7 sú vyvedené štyria vývody slúžiace pre napájanie svetelných rozvádzačov RS1 až RS4.

Vývodové pole RH2.6 obsahuje dva vývody, ktoré obsahujú poistkový odpojovač, PTP a displej ukazujúci aktuálne nameraný prúd. Z fázy L2 je napojený rozvádzač RMV pre rozvod energie pre vzduchové ventilátory.

Rozvodňa NN obsahuje kompenzačné polia RK.1 a RK.2. Každý úsek rozvodni (úsek 1 a 2) je kompenzovaný samostatne. V oboch poliach sa nachádza regulátor jalového výkonu NOVAR 106. Celkový možný kompenzačný výkon poľa RK.1 je 68,75 kvar a poľa RK.2 je 62,75 kvar. Rozvodňa NN je zobrazená na Obr.5.6 Inštalovaný výkon odberu na jeden transformátor je odhadovaný na 200 kW. Jednopolová schéma rozvodni NN sa nachádza v elektronickej prílohe.

6 Popis projektu

Predmetom projektu je inštalácia nových VN rozvádzačov, transformátorov a výmena NN rozvádzačov. Ďalej je cieľom výmena káblov VN a NN v rozvodni za nové s ohľadom na správne nadimenzovanie podľa súčasných noriem. Na základe žiadosti investora sa bude realizovať kompletná výmena rozvodni NN. Súčasťou projektu je návrh kompenzácie jalového výkonu.

6.1 Dôvody rekonštrukcie

V budúcom časovom horizonte sa predpokladá rozšírenie v okolitom prostredí teplárne o obytnú výstavbu, ktorá spôsobí vyššie zataženie teplárni a súčasné transformátory nedokážu pokryť túto zmenu. Staré opotrebované kobky vo VN rozvodni, staré olejové transformátory s malým výkonom a veľkými stratami. Ďalej sa budú pridávať frekvenčné meniče a súčasné štyri asynchrónne motory 75 kW sa nahradia dvomi motormi s výkonom 160 kW. Plánuje sa umiestnenie nabíjačky s výkonom 150 kW a pravdepodobne bude napájaná z poľa 2 alebo 3. U horúcovodu sa pridá posilňovacie čerpadlo s výkonom 75 kW a frekvenčný menič. Predmetom projektu nie je prípojka VN, NN.

V teplárni budú realizované nasledujúce úpravy:

- kobková rozvodňa VN sa nahradí skriňovými modulárnymi rozvádzačmi a súčasné prepojovacie káble medzi rozvádzačom VN a transformátorom sa nahradia novými káblami,
- súčasne transformátory sa nahradia transformátormi o výkone 800 kVA,
- súčasné prepojovacie káble medzi rozvádzačom VN a transformátorom sa nahradia novými káblami,
- súčasne skriňové rozvádzače sa nahradia novými modulárnymi rozvádzačmi.

Odhadovaný inštalovaný výkon novej sústavy je do 800 kW. Prevádzka teplárni je radená do 2. stupňa zabezpečenia dodávky.

7 Návrh rekonštrukcie trafostanice

7.1 Vstupné parametre

Skladba zariadení teplárni pre návrh projektu je v Tab.7.1.

Tab. 7.1: Vstupné parametre

| TYP | Počet | P_i (kW) |
|----------------------|-------------------|------------|
| Vzduchový ventil | 2 | 75 |
| Napájačky+kondezátky | 2 | 25 |
| Obehové čerpadlá | 2 | 160 |
| Obehové čerpadlo | 1 | 75 |
| Obehové čerpadlá | 1 | 5,5 |
| Nabíjačky | 2 | 22 |
| Osvetlenie | - | 20 |
| Ďalšie | - | 10 |
| Rezerva | - | 106 |
| | ΣP_i (kW) | 780,5 |

7.2 Stanovenie výpočtového výkonu

Pre potreby dimenzovania prívodu VN, počtu a veľkosti transformátorov a rozvodu NN sa používa výpočtové zaťaženie a výpočtový prúd. Z normy ČSN 34 1610 je daný vzťah pre výpočtové zaťaženie P_p , ktorý je daný súčinom inštalovaného výkonu P_i a súčiniteľa náročnosti β [19]:

$$P_p = P_i \cdot \beta \quad (7.1)$$

Súčiniteľ náročnosti bude určený z informatívnych tabuliek ČSN 34 1610.[19]

V tabulke sú uvedené hodnoty inštalovaných výkonov spotrebičov napájaných z vlastnej spotreby.[19]

Aby sme určili celkové výpočtové zaťaženie vlastnej spotreby, musíme určiť súčiniteľ náročnosti celej prevádzky. Z normy ČSN 34 1610 je pre vlastnú spotrebu udaná stredná hodnota $\beta = 0,78$. Po úprave rovnice (7.1) dostaneme vzťah pre výpočtový výkon[19]:

$$P_p = \Sigma P_i \cdot \beta \quad (7.2)$$

$$P_p = 780,5 \cdot 10^3 \cdot 0,78 = 608,79 \text{ kW}$$

Z výsledného výpočtového výkonu sa ďalej spočíta výpočtový prúd na primárnej a sekundárnej strane transformátora. Pri výpočte je ale nutné uvažovať s budúcim zvyšovaním zataženia vplyvom budovania okolitých obytných stavieb a zapájaním nových spotrebičov v teplárni. Uvažuje sa rezervou výkonu do 106 kW.[19]

Výpočtový prúd na primárnej strane sa spočíta z výpočtového výkonu následovne[19]:

$$I_{pVN} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{svn} \cdot \cos\varphi} \quad (7.3)$$

$$I_{pVN} = \frac{608,79 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0,95} = 16,82 \text{ A}$$

Vypočítaný prúd sa využije pri návrhu kábla VN.

Výpočtový prúd na sekundárnej strane sa spočíta obdobne, len za združené napätie sa dosadí napätie o hodnote 400 V[19]:

$$I_{pNN} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{snn} \cdot \cos\varphi} \quad (7.4)$$

$$I_{pNN} = \frac{608,79 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,95} = 924,97 \text{ A}$$

Vypočítaný prúd sa využije pri návrhu kábla NN.

7.3 Inštalovaný výkon trafostanice

V nasledujúcom kroku sa stanoví inštalovaný výkon trafostanice a tomu odpovedajúci počet transformátorov.

Inštalovaný výkon trafostanice S_T sa stanoví z výpočtového výkonu, koeficientu využitia γ a účinníka $\cos\varphi$. Pri výpočte sa uvažuje rezerva výkonu 106 kW.[15]

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos\varphi} \quad (7.5)$$

$$S_T = \frac{608,79 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 0,95} = 915,47 \text{ kVA}$$

Teraz je možné určiť počet transformátorov n a inštalovaný výkon transformátorov S_{ni} pri čom musí platiť[15]:

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T \quad (7.6)$$

Počet transformátorov sa volí na základe[15]:

- maximálneho použiteľného výkonu S_{ni} ,
- vlastnosťami technologického zariadenia,

- stupňa dôležitosti dodávky elektrickej energie.

Norma ČSN 34 1610 definuje tri stupne dodávky[19]:

- dodávky prvého stupňa sú dodávky, u ktorých nemôže dojsť k prerušeniu dodávky energii a musí byť dodávka energie zabezpečená z dvoch nezávislých zdrojov. Výkon každého zdroja musí napájať všetky spotrebiče daného stupňa,
- dodávky druhého stupňa sú dodávky, ktoré majú byť pokiaľ možno zaistené, pretože ich prerušenie a zastavenie dôležitých strojov môže spôsobiť len podstatné zmenšenie alebo zastavenie výroby (bez toho, aby pri tom nastalo ohrozenie osôb),
- dodávky tretieho stupňa sú dodávky, ktoré nemusia byť zaistované zvláštnymi opatreniami.

Požiadavkou investora je umiestnenie dvoch olejových transformátorov. V projekte sa uvažuje, že technológia vlastnej spotreby v teplárni spadá do dodávky 2. stupňa, a teda pri výpadku jedného transformátora je druhý schopný pokryť celé zaťaženie.

Z menovitého radu distribučných transformátorov (50; 100; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500) kVA spoločnosti BEZ transformátory sa vyberie transformátor o menovitom výkone 800 kVA. Následne sa overí podmienka[15]:

$$n \cdot S_n \geq S_T \quad (7.7)$$

Po dosadení za $n = 2$:

$$1600 \text{ kVA} \geq 915,47 \text{ kVA}$$

Skutočné využitie navrhnutého transformátora γ_S s uvažovaním nárastu zaťaženia sa spočíta nasledujúcim vzťahom[15]:

$$\gamma_S = \frac{P_p}{n \cdot S_T \cdot \cos\varphi} \quad (7.8)$$

$$\gamma_S = \frac{608,79 \cdot 10^3}{2 \cdot 800 \cdot 0,95} = 0,4$$

V prípade výpadku jedného transformátora[15]:

$$\gamma_N = \frac{P_p}{(n-1) \cdot S_T \cdot \cos\varphi} \quad (7.9)$$

$$\gamma_N = \frac{608,79 \cdot 10^3}{(2-1) \cdot 800 \cdot 0,95} = 0,8$$

7.3.1 Navrhnutý transformátor

Zvolený nový transformátorom je transformátor od spoločnosti BEZ transformátory konkrétne typ TOHn 3810/22, vyhotovenie ekodizajn 2021. Transformátory sú olejové, inštalované v samostatných trafokomorách, s prirodzeným vetraním. Parametre zvoleného transformátora sú zhrnuté v Tab.7.2.[20]

Tab. 7.2: Technické údaje navrhnutého transformátora TOHn 3810/22 prevzaté z [[20]]

| | | |
|-------------------------|-------|---------|
| Menovitý výkon | (kVA) | 800 |
| Menovité vyššie napätie | (kV) | 22 |
| Menovité nižšie napätie | (kV) | 400/231 |
| Zapojenie | | Dyn1 |
| Straty naprázdno | (W) | 585 |
| Straty nakrátko | (W) | 6000 |
| Napätie nakrátko | (%) | 6 |
| Prúd naprázdno | (%) | 0,25 |
| Hmotnosť oleja | (kg) | 285 |
| Hmotnosť celková | (kg) | 2395 |

7.4 Návrh chladenia

Pre transformátor uvedeného výkonu a napätia je počítané so zaručenými hodnotami strát naprázdno a nakrátko podľa údajov výrobcu. Vstupné parametre[20]:

- $\Delta P_k = 6 \text{ kW}$,
- $\Delta P_0 = 0,65 \text{ kW}$,
- $S_n = 800 \text{ kVA}$,
- $S_v = 800 \text{ kVA}$,
- $H = 4,6 \text{ m}$.

$$HL = NLL + 1,1 \cdot LL \cdot \left(\frac{S_n}{S_v}\right)^2 = 0,585 + 1,1 \cdot 6 \cdot \left(\frac{800}{800}\right)^2 = 7,2 \text{ kW}$$

$$A_1 = \frac{HL}{0,1 \cdot \sqrt{H \cdot \Delta\theta_a^3}} = \frac{7,2}{0,1 \cdot \sqrt{4,8 \cdot 15^3}} = 0,57 \text{ m}^2$$

Prierez výstupného otvoru vzduchu A_2 je daný vzťahom:

$$A_2 = 1,1 \cdot A_1 = 1,1 \cdot 0,57 = 0,63 \text{ m}^2$$

Návrhom sa dosiahli hodnoty prierezov vstupného a výstupného otvoru pre cirkuláciu vzduchu v trafokobke.

7.5 Návrh kábla medzi primárnou stranou transformátora a rozvádzačom VN

Jedná sa o silový kábel s izoláciou z tieného polyetylénu.[21]

Tab. 7.3: Parametre kábla AXEKVCEY 70 mm² prevzaté z [[21]]

| | | |
|--|--------------------|-------|
| Prierez kábla | (mm ²) | 70 |
| Menovité napätie | (kV) | 22 |
| Činný odpor pri 20°C | (Ω/km) | 0,443 |
| Indukčnosť na vzduchu (paralelne) | (mH/km) | 0,61 |
| Prúdová zatažitelnosť na vzduchu (paralelne) | (A) | 273 |
| Prevádzková teplota jadra | (°C) | 90 |
| Maximálna prevádzková teplota pri skrate | (°C) | 250 |

7.5.1 Kontrola dimenzovania kábla VN

Kontrola z pohľadu dovolenej prevádzkovej teploty

Prúd, ktorým je kábel zatažovaný nesmie spôsobiť prekročenie dovoleného oteplenia vodiča nad stanovenú hodnotu, pretože môže dôjsť k poškodeniu izolácie a k zmene mechanických vlastností. Podľa hodnoty udanej výrobcom kábla AXEKVCEY 70 mm², nesmie prevádzkový prúd presiahnuť prúdovú zatažitelnosť kábla $I_Z = 273$ A. V závislosti od spôsobu uloženia sa pomocou koeficientov prepočíta prúd I_Z podľa (7.10) a stanoví sa, či kábel vyhovuje prúdovej zatažitelnosti.[22]

Podľa ČSN 33 2000-5-52 ed.2 je referenčná hodnota kábla uloženého na vzduchu 30°C. Pre túto teplotu odčítame z príslušnej tabuľky koeficient $k_1 = 1$. Kábel bude uložený na látke a z toho plynie referenčné uloženie typu F. Podľa spôsobu uloženia kábla sa určí z tab. B.52.21 v ČSN 33 2000-5-52 ed.2 koeficient $k_2 = 0,87$. Na základe získaných koeficientov sa overí prúdová zatažitelnosť kábla následovne[22][15]:

$$I_{pVN} \leq I_Z \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n, \quad (7.10)$$

$$16,8175 \text{ A} \leq (273 \cdot 1 \cdot 0,87) \text{ A}$$

$$16,8175 \text{ A} \leq 237,51 \text{ A}$$

Kábel AXEKVCEY 70 mm² vyhovelo podmienke a pri zaťažovaní prevádzkovými prúdmi nedôjde k otepleniu kábla nad prípustnú hodnotu.

Kontrola z pohľadu úbytku napätia

V nasledujúcom kroku sa spočíta úbytok napätia. Parametre kábla sú dané výrobcom (viz. Tab.7.3).

Vstupné parametre:

- $R_k = 0,443 \text{ } \Omega/\text{km}$,
- $L_k = 0,61 \text{ mH}/\text{km}$,
- $l_1 = 10 \text{ m}$,
- $l_2 = 15 \text{ m}$,
- $\cos\varphi = 0,95$,
- $\sin\varphi = 0,31$,
- $I_{pVN} = 16,82 \text{ A}$.

Úbytok napätia vznikajúci na prepojuvacom kábli dĺžky 10 m sa spočíta s využitím vzorca 3.4:

$$\Delta U_1 = R_k \cdot l_1 \cdot I_{pVN} \cdot \cos\varphi + 2\pi \cdot f \cdot L_k \cdot l_1 \cdot I_{pVN} \cdot \sin\varphi, \quad (7.11)$$

$$\Delta U_1 = 0,443 \cdot 0,01 \cdot 16,82 \cdot 0,95 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0,61 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01 \cdot 16,82 \cdot 0,31 = 0,08 \text{ V}.$$

Úbytok napätia vznikajúci na prepojuvacom kábli dĺžky 10 m sa spočíta s využitím vzorca 3.4:

$$\Delta U_2 = R_k \cdot l_2 \cdot I_{pVN} \cdot \cos\varphi + 2\pi \cdot f \cdot L_k \cdot l_2 \cdot I_{pVN} \cdot \sin\varphi, \quad (7.12)$$

$$\Delta U_2 = 0,443 \cdot 0,015 \cdot 16,82 \cdot 0,95 + 2\pi \cdot 50 \cdot 0,61 \cdot 10^{-3} \cdot 0,015 \cdot 16,82 \cdot 0,31 = 0,12 \text{ V}.$$

Percentuálny úbytok napätia:

$$\Delta u_{1\%} = \frac{\Delta U_1 \cdot \sqrt{3}}{U_{svn}} \cdot 100 \quad (7.13)$$

$$\Delta u_{1\%} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{3}}{22 \cdot 10^3} \cdot 100 = 6 \cdot 10^{-4} \%$$

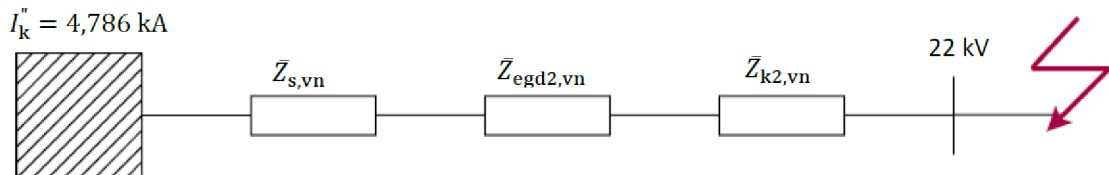
Percentuálny úbytok napätia:

$$\Delta u_{2\%} = \frac{\Delta U_2 \cdot \sqrt{3}}{U_{svn}} \cdot 100 \quad (7.14)$$

$$\Delta u_{2\%} = \frac{0,12 \cdot \sqrt{3}}{22 \cdot 10^3} \cdot 100 = 9 \cdot 10^{-4} \%$$

Kontrola z pohľadu tepelných účinkov skratových prúdov

V tomto kroku sa overí, či prierez navrhnuté kábla vyhovie požiadavkám dimenzovania pri tepelných účinkov skratových prúdov. Skratové pomery daného miesta siete sú dané PDS. Je uvedený postup výpočtu pre navrhovaný kábel s $l_2 = 15$ m. Pre kábel s $l_1 = 10$ m sú výsledky zhrnuté v prílohe. PDS sú zadané parametre prívodných káblov do teplárni. Na Obr.7.1 je zobrazené schéma siete VN pri skrate na pripojniciach rozvádzača.



Obr. 7.1: Schéma siete VN pri skratu na pripojniciach rozvádzača

Absolútna hodnota impedancii siete sa spočíta podľa [23] následovne:

$$Z_{s,vn} = \frac{c \cdot U_{svn}}{\sqrt{3} \cdot I_k} \quad (7.15)$$

$$Z_{s,vn} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 4,786 \cdot 10^3} = 2,92 \Omega$$

Hodnota napätového súčiniteľa c je daná pre napätovú hladinu vn v [23]. Podľa [23] sa uvažuje, že reaktancia siete je rovná:

$$X_{s,vn} = 0,995 \cdot Z_{s,vn} = 0,995 \cdot 2,92 = 2,91 \Omega$$

Podľa [23] sa uvažuje, že rezistencia siete je rovná:

$$R_{s,vn} = 0,1 \cdot X_{s,vn} = 0,1 \cdot 2,91 = 0,29 \Omega$$

Impedancia siete $Z_{s,vn}$:

$$Z_{s,vn} = (R_{s,vn} + j \cdot X_{s,vn}) = (0,29 + j \cdot 2,91) \Omega$$

Impedancia prívodného kábla $Z_{egd2,vn}$ je rovná:

$$Z_{egd2,vn} = (R_{egd,vn} + j \cdot X_{egd,vn}) \cdot l_{egd,2} = (0,125 + j \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,57 \cdot 10^{-3}) \cdot 43,48 \cdot 10^{-3} = (5,4 \cdot 10^{-3} + j \cdot 7,8 \cdot 10^{-3}) \Omega$$

Impedancia navrhovaného kábla $Z_{k2,vn}$ je rovná:

$$Z_{k2,vn} = (R_k + j \cdot X_k) \cdot l_2 = (0,443 + j \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,61 \cdot 10^{-3}) \cdot 15 \cdot 10^{-3} = (6,6 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}) \Omega$$

Celková impedancia $Z_{c,vn2}$ je daná súčtom predchádzajúcich impedancií:

$$Z_{c,vn2} = Z_{s,vn} + Z_{egd2,vn} + Z_{k2,vn} = (0,29 + j \cdot 2,91) + (5,4 \cdot 10^{-3} + j \cdot 7,8 \cdot 10^{-3}) + (6,6 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}) = (0,3 + j \cdot 2,92) \Omega$$

Absolútna hodnota celkovej impedancii:

$$Z_{c,vn2} = \sqrt{R_{c,vn2}^2 + X_{c,vn2}^2} = \sqrt{(0,3^2 + 2,92^2)} = 2,94 \Omega$$

Počiatočný rázový skratový prúd $I''_{k,vn2}$:

$$I''_{k,vn2} = \frac{c \cdot U_{svn}}{\sqrt{3} \cdot Z_{c,vn2}} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 2,94} = 4,8 \text{ kA}$$

Súčiniteľ κ :

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R_{c,vn2} / X_{c,vn2}} \quad (7.16)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot 0,3 / 2,92} = 1,74$$

Nárazový skratový prúd $i_{p,vn2}$:

$$i_{p,vn2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k,vn2} \quad (7.17)$$

$$i_{p2} = 1,74 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,8 \cdot 10^3 = 11,8 \text{ kA}$$

Ekvivalentný oteplovací skratový prúd $I_{th,vn2}$:

$$I_{th,vn2} = I''_{k,vn2} \cdot \sqrt{m+n} \quad (7.18)$$

Podľa [23] je možné uvažovať pre súčiniteľ $m+n=1$, pre vzdialené skraty s dobou trvania skratu $t_k \geq 0,5$ s.

$$I_{th,vn2} = 4,8 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1} = 4,8 \text{ kA}$$

Podľa rovnici 3.6 sa spočíta minimálny prierez $S_{min,vn2}$:

$$S_{min,vn2} = \frac{4,8 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{2,417 \cdot (228+20)}{0,02941} \cdot \ln\left(\frac{228+250}{228+90}\right)}} = 53 \text{ mm}^2$$

Overí sa, či zvolený prierez navrhovaného kábla vyhovuje nasledujúcej podmienke:

$$S \geq S_{min,vn2} \quad (7.19)$$

$$70 \text{ mm}^2 \geq 53 \text{ mm}^2$$

Dimenzia novo navrhovaného vn kábla pre uvedený vývod vyhovuje z hľadiska tepelného účinku skratových prúdov.

7.6 Návrh rozvádzača VN

Návrh rozvádzača VN není požiadavkou investora. Tento návrh slúži ako potenciálna možnosť prevedenia v prípade odkúpenia časti rozvodni VN od PDS.

V nasledujúcej časti sa stanoví s ohľadom na vypočítané hodnoty skratových prúdov v predchádzajúcej kapitole menovitý rad skratových odolností, na základe ktorých sa bude voliť rozvádzač VN. Podľa normy ČSN 38 1754 sa určili menovité hodnoty krátkodobého a dynamického prúdu z rady skratových odolností rozvodných zariadení následovne[24]:

$$I_{\text{thn}} \geq I_{\text{th}} \quad (7.20)$$

$$6,3 \text{ kA} \geq 4,8 \text{ kA}$$

$$i_{\text{pn}} \geq i_{\text{p}} \quad (7.21)$$

$$16 \text{ kA} \geq 11,8 \text{ kA}$$

V transformačnej stanici bude použitý modulárny SF6 VN rozvádzač od výrobcu Schneider electric typ SM6-24. Parametre rozvádzača sú uvedené v Tab.7.4. Modulárny rozvádzač bude vyzbrojený piatimi rozvádzačovými modulmi[25]:

- 2xDM1-A - prírodné pole.
- 1xGBC-B - pole merania.
- 2xQM (Prípadne QMC) - vývodové pole.

Rozvádzače sa umiestnia v jednej rade. Fakturačné meranie spotreby elektrickej energie bude zriadené na VN strane v poli merania. Rozvádzače VN sú vyrobené z modulových skriň obsahujúcich pevné a výsuvné kovové kryté spínacie prvky s izolačným a zhášacím médiom SF6.[25]

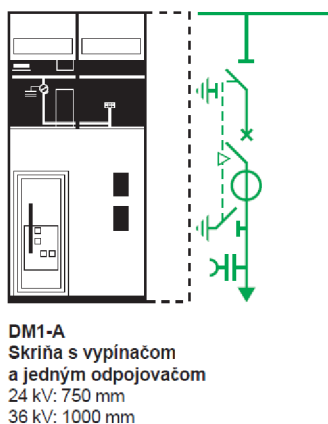
Tab. 7.4: Parametre rozvádzača SM6 prevzaté z [[25]]

| | | |
|----------------------------------|---------|-------|
| Menovité napätie | (kV) | 24 |
| Menovitá frekvencia | (Hz) | 50/60 |
| Menovitý krátkodobý výdržný prúd | (kA/1s) | 25 |
| Zapínacia schopnosť | (kA) | 31,25 |
| Menovitý prúd | (A) | 630 |

Do nového rozvádzača sa presmerujú existujúce prírodné vedenia PDS.

7.6.1 Jednotlivé moduly rozvádzača VN

Prívodné pole



Obr. 7.2: Prívodné pole (Prevzaté z [25])

Prívodné pole obsahuje[25]:

- SF6 vypínač.
- Odpojovač.
- Uzemňovač.
- Ochranu sepam 42S.
- PTP ARM3/N2F 300/5/5A.

Ako ochrana prívodu je zvolená multifukčná ochrana Sepam 42S. Ochrana sa používa na ochranu prívodu a vývodu rozvodni. Kombinuje sa s LPCT snímačmi - prúdovými snímačmi s napätovým výstupom. Tieto snímače sú v súlade s normou ČSN EN IEC 60044-8.[25]

Ochrany rady Sepam 40 zahrňujú rôzne konfigurácie. Rozdelujú sa na základe chráneného objektu - prívody a vývody rozvodne, transformátor, motor alebo generátor. Konkrétne ochranné funkcie zvolenej ochrany sú uvedené v katalógu výrobcu.[26]

Pole merania

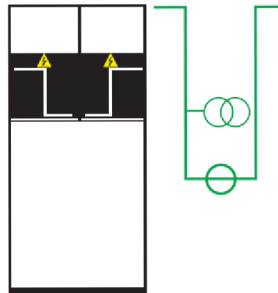
Spôsob a zapojenie merania bude v súlade s požiadavkami prevádzkovateľa distribučnej sústavy (PDS) a odpovedá zákonu č. 458/2000 Sb. Celé meracie zariadenie má právo PDS preskúšať a zaplombovať. Zákazník nesmie zasahovať do meracieho zariadenia a musí umožniť neustály prístup pracovníkom PDS k zariadeniu.[27]

Meranie bude zrealizované na strane vyššieho napätia transformátora, t.j. v rozvodni VN. Vybraný spôsob umiestenia merania sa používa pri transformátoroch s

výkonom vyšším ako 400 kVA. Meranie bude zrealizované v samostatnom poli merania, kde budú umiestené MTP a MTN. MTP budú osadené v krajných fázach L1 a L3 a MTN sa osadia vo všetkých fázach. Ďalej podľa PDS sa použije dvojsystémový trojvodičový elektromer. Prívod elektromeru sa istí poistkovým odpínačom s poistkou 2 A. Menovitá záťaž MTP a MTN je 10 VA. Vyžaduje sa trieda presnosti 0,5 MTP so sekundárnym prúdom 5 A, u MTN je trieda presnosti 0,5S.[27]

Pole merania obsahuje[25]:

- Dve MTP ARM3, 300/5/5A, úradne ciachované.
- Tri MTN VRM3-n/S2, úradne ciachované. $20/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}/$.



GBC-B
Skríňa s meraním prúdu
a/alebo napätia
24 a 36 kV: 750 mm

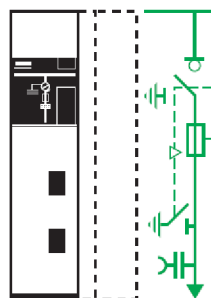
Obr. 7.3: Pole merania (Prevzaté z[25])

Vývodové pole

Transformátor je chránený kombináciou odpínač s výkonovou poistkou na primárnej strane. Transformátor je vypínaný VN poistkou 40 A.[25]

Vývodové pole obsahuje[25]:

- Odpínač.
- Poistky VN 40 A.
- Uzemňovač.
- Indikátor napätia.
- PTP ARJP1/N2F, 100/5A.



QM
Skriňa s kombináciou
odpínač-poistka
 24 kV: 375 or 500 mm
 36 kV: 750 mm

Obr. 7.4: Vývodové pole (Prevzaté z[25])

7.7 Návrh kábla medzi sekundárnou stranou transformátora a rozvádzačom NN

Zvoleným prepojovacím káblom medzi sekundárnou stranou transformátora a rozvádzačom NN je CHBU 240 mm². Kábel sa vyznačuje zvýšenou odolnosťou proti poveternostným vplyvom, odieraniu a pôsobenia motorovej nafty. Parametre kábla sú uvedené v Tab.7.5.[28]

Tab. 7.5: Parametre kábla CHBU 240 mm² prevzaté z [[28]]

| | | |
|--|--------------------|-------|
| Menovitý prierez | (mm ²) | 240 |
| Reaktancia | (Ω/km) | 0,14 |
| Činný odpor jadier pri 20°C | (Ω/km) | 0,082 |
| Ekvivalentný skratový prúd 1s | (kA) | 34,3 |
| Zaťažiteľnosť na vzduchu | (A) | 796 |
| Prevádzková teplota jadra | (°C) | 90 |
| Maximálna prevádzková teplota pri skrate | (°C) | 250 |

7.7.1 Kontrola dimenzovania kábla NN

Kontrola z pohľadu dovolenej prevádzkovej teploty

Pri tomto overovaní sa postupuje obdobne ako v podkapitole 7.5.1. Uvažujú sa rovnaké koeficienty. Podľa hodnoty udanej výrobcom kábla CHBU 240 mm², nesmie prevádzkový prúd presiahnuť prúdovú zaťažiteľnosť kábla $I_Z = 796$ A.

Na základe získaných koeficientov sa overí prúdová zaťažiteľnosť kábla následovne[22][15]:

$$I_{pNN} \leq I_Z \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n, \quad (7.22)$$

$$924,47 \text{ A} \geq (796 \cdot 1 \cdot 0,87) \text{ A}$$

$$924,47 \text{ A} \geq 692,52 \text{ A}$$

Z výpočtu vyplýva, že pre použitie kábla CHBU 240 mm² je nutné pripojiť na každú fázu dve paralelné káble. Ich prúdová zatažiteľnosť bude rovná 1385,04 A. Pri takomto prevedení kábel vyhoví podmienke a pri zatažovaní prevádzkovými prúdmi nedôjde k otepleniu kábla nad prípustnú hodnotu.

Kontrola z pohľadu úbytku napätia

V nasledujúcom kroku sa spočíta úbytok napätia. Parametre kábla sú dané výrobcom (viz. Tab.7.5).

Vstupné parametre:

- $R_k = 0,082 \text{ } \Omega/\text{km}$.
- $X_k = 0,14 \text{ } \Omega/\text{km}$.
- $l_1 = 7 \text{ m}$.
- $l_2 = 5 \text{ m}$.
- $\cos\varphi = 0,95$.
- $\sin\varphi = 0,31$.
- $I_{pNN} = 924,97 \text{ A}$.

Úbytok napätia vznikajúci na prepojovacom kábli dĺžky 7 m sa spočíta s využitím vzorca 3.4:

$$\Delta U_1 = R_k \cdot l_1 \cdot I_{pNN} \cdot \cos\varphi + X_k \cdot l_1 \cdot I_{pNN} \cdot \sin\varphi \quad (7.23)$$

$$\Delta U_1 = 0,082 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 924,97 \cdot 0,95 + 0,14 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 924,97 \cdot 0,31 = 0,79 \text{ V}$$

Úbytok napätia vznikajúci na prepojovacom kábli dĺžky 5 m sa spočíta s využitím vzorca 3.4:

$$\Delta U_2 = R_k \cdot l_2 \cdot I_{pNN} \cdot \cos\varphi + X_k \cdot l_2 \cdot I_{pNN} \cdot \sin\varphi \quad (7.24)$$

$$\Delta U_2 = 0,082 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 924,97 \cdot 0,95 + 0,14 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 924,97 \cdot 0,31 = 0,56 \text{ V}$$

Percentuálny úbytok napätia:

$$\Delta u_{1\%} = \frac{\Delta U_1 \cdot \sqrt{3}}{U_{\text{SNN}}} \cdot 100 \quad (7.25)$$

$$\Delta u_{1\%} = \frac{0,79 \cdot \sqrt{3}}{400} \cdot 100 = 34 \cdot 10^{-2} \%$$

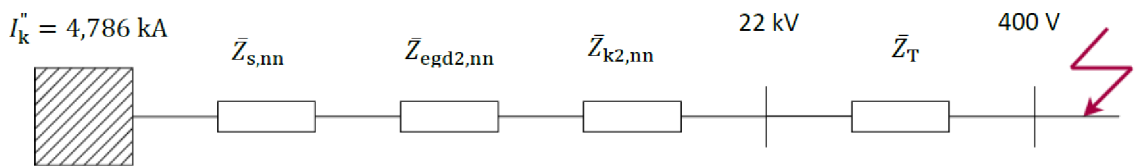
Percentuálny úbytok napätia:

$$\Delta u_{2\%} = \frac{\Delta U_2 \cdot \sqrt{3}}{U_{\text{SNN}}} \cdot 100 \quad (7.26)$$

$$\Delta u_{2\%} = \frac{0,56 \cdot \sqrt{3}}{400} \cdot 100 = 24 \cdot 10^{-2} \%$$

Kontrola z pohľadu teplených účinkov skratových prúdov

Postup výpočtu je obdobný ako v 7.5.1. V tomto prípade sa prepočítajú impedancie na nižšiu napäťovú hladinu. Schéma siete pri skratu na pripojniciach rozvádzača NN je na Obr.7.5



Obr. 7.5: Schéma siete pri skratu na pripojniciach rozvádzača NN

Impedancia siete $Z_{s,nn}$:

$$Z_{s,nn} = Z_{s,vn} \cdot \frac{1}{p^2} \quad (7.27)$$

$$Z_{s,nn} = (0,29 + j \cdot 2,91) \cdot \left(\frac{400}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = (1 \cdot 10^{-4} + j \cdot 1 \cdot 10^{-3}) \Omega$$

Impedancia prívodného kábla $Z_{egd2,nn}$ je rovná:

$$Z_{egd2,nn} = Z_{egd2,vn} \cdot \frac{1}{p^2} \quad (7.28)$$

$$Z_{egd2,nn} = (5,4 \cdot 10^{-3} + j \cdot 7,8 \cdot 10^{-3}) \cdot \left(\frac{400}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = (1,8 \cdot 10^{-6} + j \cdot 2,6 \cdot 10^{-6}) \Omega$$

Impedancia navrhovaného kábla $Z_{k2,nn}$ je rovná:

$$Z_{k2,nn} = Z_{k2,vn} \cdot \frac{1}{p^2} \quad (7.29)$$

$$\mathbf{Z}_{k2,nn} = (6,6 \cdot 10^{-3} + j \cdot 2,9 \cdot 10^{-3}) \cdot \left(\frac{400}{22 \cdot 10^3} \right)^2 = (2,2 \cdot 10^{-6} + j \cdot 1 \cdot 10^{-6}) \Omega$$

Z menovitých údajov transformátora sa vypočíta jeho impedancia:

$$Z_T = u_k \cdot \frac{U_{SNN}^2}{S_n} \quad (7.30)$$

$$Z_T = 0,06 \cdot \frac{400^2}{800 \cdot 10^3} = 12 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{SNN}^2}{S_n^2} \quad (7.31)$$

$$R_T = \frac{6000 \cdot 400^2}{(800 \cdot 10^3)^2} = 1,5 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_{T1}^2 - R_{T1}^2} \quad (7.32)$$

$$X_T = \sqrt{(12 \cdot 10^{-3})^2 - (1,5 \cdot 10^{-3})^2} = 12 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$\mathbf{Z}_T = (R_T + j \cdot X_T) \quad (7.33)$$

$$\mathbf{Z}_T = (1,5 \cdot 10^{-4} + j \cdot 11,9 \cdot 10^{-3}) \Omega$$

Celková impedancia $\mathbf{Z}_{c,nn2}$ je daná súčtom predchádzajúcich impedancií:

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}_{c,nn2} &= \mathbf{Z}_{s,nn} + \mathbf{Z}_{egd2,nn} + \mathbf{Z}_{k2,nn} + \mathbf{Z}_T = (1 \cdot 10^{-4} + j \cdot 1 \cdot 10^{-3}) + (1,8 \cdot 10^{-6} + \\ & j \cdot 2,6 \cdot 10^{-6}) + (2,2 \cdot 10^{-6} + j \cdot 1 \cdot 10^{-6}) + (1,5 \cdot 10^{-4} + j \cdot 11,9 \cdot 10^{-3}) = \\ & (1,6 \cdot 10^{-3} + j \cdot 13 \cdot 10^{-3}) \Omega \end{aligned}$$

Absolútna hodnota celkovej impedancii:

$$Z_{c,nn2} = \sqrt{R_{c,nn2}^2 + X_{c,nn2}^2} = \sqrt{(1,6 \cdot 10^{-3})^2 + (13 \cdot 10^{-3})^2} = 13 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Počiatočný rázový skratový prúd $I''_{k,nn2}$:

$$I''_{k,nn2} = \frac{c \cdot U_{SNN}}{\sqrt{3} \cdot Z_{c,nn2}} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 13 \cdot 10^{-3}} = 19,5 \text{ kA}$$

Súčiniteľ κ :

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot R_{c,nn2} / X_{c,nn2}} \quad (7.34)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot 0,016/0,013} = 1,7$$

Nárazový skratový prúd $i_{p,vn2}$:

$$i_{p,vn2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k,nn2} \quad (7.35)$$

$$i_{p,vn2} = 1,7 \cdot \sqrt{2} \cdot 19,6 \cdot 10^3 = 47,1 \text{ kA}$$

Ekvivalentný oteplovací skratový prúd $I_{th,nn2}$:

$$I_{th,nn2} = I_{k,nn2} \cdot \sqrt{m+n} \quad (7.36)$$

Podľa [23] je možné uvažovať pre súčiniteľ $m+n=1$, pre vzdialené skraty s dobou trvania skratu $t_k \geq 0,5$ s.

$$I_{th,nn2} = 47 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1} = 19,6 \text{ kA}$$

Podľa rovnici 3.6 sa spočíta minimálny prierez $S_{min,nn2}$:

$$S_{min,nn2} = \frac{19,6 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1}}{\sqrt{\frac{3,5 \cdot (234,5+20)}{0,01786} \cdot \ln\left(\frac{234,5+250}{234,5+90}\right)}} = 139 \text{ mm}^2$$

$$S \geq S_{min,nn2} \quad (7.37)$$

$$240 \text{ mm}^2 \geq 139 \text{ mm}^2$$

Dimenzovanie navrhovaného nn kábla pre uvedený vývod vyhovuje z hľadiska tepelného účinku skratových prúdov.

7.8 Rozvádzač NN

V nasledujúcom kroku sa stanoví s ohľadom na vypočítané hodnoty skratových prúdov v predchádzajúcej kapitole menovitý rad skratových odolnosti, na základe ktorých sa bude voliť rozvádzač NN. Podľa normy ČSN 38 1754 som určil menovité hodnoty krátkodobého a dynamického prúdu z rady skratových odolností rozvodných zariadení následovne[24]:

$$I_{thn} \geq I_{th} \quad (7.38)$$

$$20 \text{ kA} \geq 19,6 \text{ kA}$$

$$i_{pn} \geq i_p \quad (7.39)$$

$$50 \text{ kA} \geq 47,1 \text{ kA}$$

7.8.1 Technické parametre rozvádzača NN

Rozvádzače NN inštalované vo vnútorných inštaláciách nesmú byť vystavené teplote okolného vzduchu prekračujúcej $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jej priemerná hodnota počas 24 h nepresiahne $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Spodná medze teploty je $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Rozvodná sústava NN: 3NPE AC 50 Hz, 400 V, TNC-S.

Ochrana pred úrazom elektrickým prúdom - ČSN 33 2000-4-41 ed.2:

- základná ochrana (ochrana pred dotykom živých častí): izoláciou, krytmi a prepážkami, polohou, zábranou,
- ochrana pri poruche (ochrana pred dotykom neživých častí): ochranné uzemnenie, ochranné pospojovanie, automatické odpojenie od zdroja,
- doplnková ochrana: prúdové chrániče, dopĺňujúce ochranné pospojovanie.

Vonkajšie vplyvy: podľa ČSN 33 2000-5-51 ed. 3, PNE 33 2000-2 ed. 4, tab. č.6.

7.8.2 Kritéria výberu rozvádzača NN

Podľa normy ČSN EN 61439-1 je I_{pk} definovaný ako[29]: „*Jmenovitý dynamický proud musí byť rovný hodnotám stanoveým pro vrcholovou hodnotu předpokládaného zkratového proudu napájecí soustavy (napájecích soustav), k niž (k nimž) má být obvod připojen (mají být obvody připojeny), nebo musí být vyšší než tyto hodnoty*“. Podmienka je nasledujúca[29]:

$$I_{pk} \geq i_p \quad (7.40)$$

Podľa normy ČSN EN 61439-1 je I_{cw} definovaný ako[29]: „*Jmenovitý krátkodobý výdržný proud musí být rovný eketviní hodnotě předpokládaného zkratového proudu v každém místě připojení k napájení nebo musí být vyšší než táto hodnota*“. Podmienka je nasledujúca[29]:

$$I_{cw} \geq I_k'' \quad (7.41)$$

Podľa normy ČSN EN 61439-1 je I_{cc} definovaný ako[29]: „*Jmenovitý podmíněný zkratový proud musí být rovný eketviní hodnotě předpokládaného zkratového proudu po dobu trvání omezenou provozem zařízení jistícího před zkratem, které chrání ROZVÁDĚČ, nebo musí být vyšší než táto hodnota*“. Podmienka je nasledujúca[29]:

$$I_{cc} \geq I_k'' \quad (7.42)$$

Z menovitej rady prúdov normy ČSN EN 60059 sa určí menovitá hodnota prúdu, na ktorú sa budú dimenzovať prístroje v rozvádzači NN.[30]

Maximálny prúd, ktorý z transformátora 800 kVA môže vytekať sa počíta:

$$I_{TNN} = \frac{S_{NT}}{\sqrt{3} \cdot U_{sNN}} \quad (7.43)$$

$$I_{TNN} = \frac{800 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1154,7 \text{ A}$$

Na základe výsledku sa určí menovitá hodnota 1250 A.

Vyber konkrétneho rozvádzača

Navrhnutým rozvádzačom NN je rozvádzač od firmy Schneider electric, typ Block-Set. Parametre rozvádzača sú v Tab.7.6

Tab. 7.6: Parametre rozvádzača BlokSet prevzaté z [[31]]

| | | |
|---|-------------|----------|
| Menovité napätie | (V) | do 690 V |
| Menovitá frekvencia | (Hz) | 50/60 |
| Menovitá prúd prípojnice | (A) | do 7000 |
| Menovitý krátkodobý výdržný prúd I_{cw} | (kA/1s) rms | do 100 |
| Podmienený skratový prúd I_{cc} | (kA) | do 100 |
| Menovitý dynamický prúd I_{pk} | (kA) | do 100 |

7.8.3 Hlavný istič

Hlavný istič je vybraný z rady vzduchových ističov MTZ1 s pokročilými digitálnymi technológiami. Rozsah menovitých prúdov tejto rady je od 630 - 1600 A. Zvolený typ ističa je MTZ1 12 H1.[32]

Pri výbere ističa sa zohľadňujú podľa ČSN EN 60947-1 ed. 4 tieto podmienky[33]:

$$I_{cu} \geq I_k'' \quad (7.44)$$

$$50 \text{ kA} \geq 19,6 \text{ kA}$$

I_{cu} - menovitá medzná skratová vypínacia schopnosť (A).

$$I_{cm} \geq i_p \quad (7.45)$$

$$88 \text{ kA} \geq 47 \text{ kA} \quad (7.46)$$

I_{cm} - menovitá skratová zapínacia schopnosť (A).

$$I_{cw} \geq I_{th} \quad (7.47)$$

$$42 \text{ kA} \geq 19,6 \text{ kA}$$

I_{cw} - menovitý krátkodobý výdržný prúd (A).

7.8.4 Vybavenie rozvádzača NN

Rozvádzač sa skladá celkovo z desiatich polí, na každý transformátor prihliada päť polí.

Prívodné polia

Prívodné pole bude vybavené zariadeniami:

- Istič MTZ1 12 H1 s motorovým pohonom.
- Multimeter PM2000 Series.
- Meracie transformátory prúdu pre multimeter.
- Poistkový odpínač a zvodíč prepätia.

Poloha ističa bude indikovaná svetelnými signálovými jednotkami umiestnenými na dverách rozvádzača. Osvetlenie trafokobiiek a servisné zásuvky budú napájané spred hlavného ističa a budú funkčné aj pri vypnutom hlavnom ističi v príslušnom hlavnom rozvádzači NN (RH1.1).

Multimeter PM2000 Series zahŕňa v sebe množstvo funkcií. Okrem merania parametrov ako je prúd, činný a jalový výkon a napätie, dokáže analyzovať kvalitu elektrickej energie. Ponúka meranie THD a jednotlivé harmonické až do 31. Celkový popis zariadenia aj so špecifikami je dostupný v katalógu výrobcu.[34]

Vývodové polia

Budú osadené kombináciou odpínač-poistka. Meracie prístrojové transformátory a meracia technika bude osadená v požadovaných poliach určených investorom. Z vývodu sú napájané podružné rozvádzače.

- Pole RH1.2
Pole je vybavené 3x odpínačom do 200 A a pole je uvažované ako rezerva.
- Pole RH1.3
Pole je vybavené 3x odpínačom do 630 A.
- Pole RH1.4
Pole je vybavené 3x odpínačom do 200 A.
- Pole RH2.6
Pole je vybavené odpínačom do 630 A.
- Pole RH2.7
Pole je vybavené odpínačom do 200 A, MTP, multimetrom PM2000 Series, 4x poistkovým odpínačom.
- Pole RH2.8
Pole je vybavené odpínačom do 200 A, MTP, multimetrom PM2000 Series, 4x poistkovým odpínačom a ističom.

- Pole RH2.9

Pole je vybavené 3x odpínačom do 400 A. Dva vývody sú uvažované ako rezerva.

Pole pozdĺžnej spojky

Pole RH1.5 bude vybavené pozdĺžnou spojkou, ktorá bude uvedená do činnosti v prípade výpadku jedného z transformátorov, prípadne pri uskutočnení revízie. Pri normálnej prevádzke bude spojka rozpojená.

Jednopolová schéma návrhu rozvodni NN sa nachádza v elektronickej prílohe.

8 Kompenzácia jalového výkonu

Spôsoby kompenzácie indukčného výkonu sú[35]:

- individuálna,
- skupinová,
- centrálna.

Individuálna kompenzácia

Podstata individuálnej kompenzácie spočíva v umiestnení k spotrebiču indukčného výkonu vlastný nadimenzovaný kondenzátor. Minimálny návrh tejto kompenzácie je, aby spotrebič neodoberal magnetizačný výkon v stave naprázdno.[35]

Skupinová kompenzácia

Skupinová kompenzácia zahŕňa niekoľko spotrebičov indukčného výkonu a kondenzátorová jednotka sú umiestnené na pripojniciach skupinového rozvádzača. Podľa normy ČSN 33 3080 sa odporúča navrhnuť viacero samostatných skupín, do ktorých sa rozdelí žiadaný kompenzačný výkon.[35]

Centrálna kompenzácia

Pri centrálnej kompenzácií sa kompenzačný výkon reguluje automaticky a indukčný výkon sa kompenzuje pre celý závod.[35]

Spôsoby riadenia kompenzačného výkonu

Spôsoby riadenia kompenzačného výkonu sú[36]:

1. Stupňovité riadené kompenzátory:
 - kontaktné,
 - bezkontaktné.
2. Plynulá regulácia:
 - pasívna,
 - aktívna.

8.0.1 Stykače

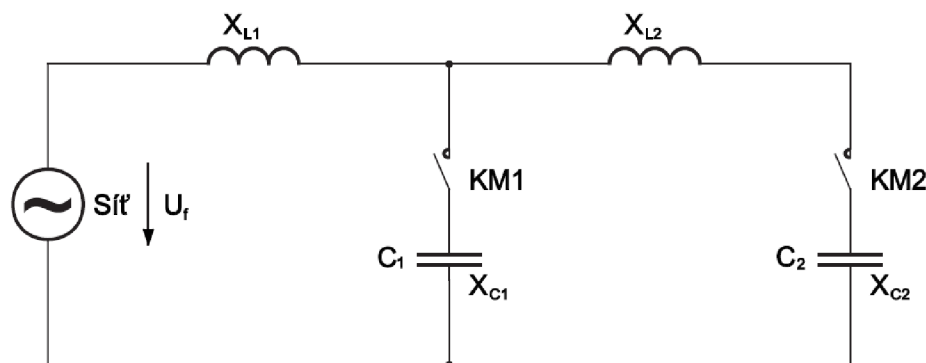
Podkapitola s názvom stykače sa zaoberá objasnením prechodných javov, ktoré sú spojené pri stupňovitej regulácii kompenzačného výkonu.

Pri stupňovitej regulácii je prúdový prechodný dej charakterizovaný tlmeným kmitavým priebehom, ktorého amplitúda a kmitočet je závislý na[36]:

- napätí siete,

- kapacity kondenzátora,
- okamžiku zopnutia,
- impedancii medzi obvodom zdroj-kondenzátor.

Pre predstavu je zobrazený na obr.8.1 obvod so spínaním dvoch kondenzátorov. Ak sa zameriame na veľkosť nabíjacieho prúdu pri zopnutí, tak najhorší prípad nastane u zopnutia nenabitého kondenzátora (C2) k nabitému (C1). Nabíjaci prúd obmedzi iba impedancia prívodov ku kondenzátoru C2. Veľkosť tohto prúdu pri spínaní jedného stupňa pri skratovom prúde v rozsahu 10-50 kA dosahuje hodnoty 200 - 1200 A. Pri zaradení ďalšieho stupňa je to rozmedzie 1300 - 2500 A.[36]



Obr. 8.1: Pripínanie nenabitých kondenzátorov (Prevzaté z [36])

Ak zanedbáme činné odpory, tak veľkosť nabíjacieho prúdu pri spínaní kondenzátora C1 je rovná[36]:

$$I_s = \sqrt{2} \cdot \frac{U_f}{\sqrt{X_{L1} \cdot X_c}} \cong \sqrt{2} \cdot I_c \cdot \sqrt{\frac{S_k''}{Q_{c,k}}} \quad (8.1)$$

Spomenutý najhorší prípad spínania nenabitého kondenzátora k nabitému sa vyjadří cez nabíjaci prúd ako[36]:

$$I_s = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{\frac{Q_{c,k1} \cdot Q_{c,k2}}{(Q_{c,k1} + Q_{c,k2}) \cdot X_{L2}}} \quad (8.2)$$

Prechodný dej negatívne ovplyvňuje stykače a hlavne jeho kontakty - poškodenie, opaľovanie až zvarenie. Je potrebné si uvedomiť, že amplitúda dosahuje až stonásobok menovitého prúdu kondenzátora a kmitočet je vyšší ako 10 kHz. Okrem negatívneho dopadu na stýkač (a ďalšie komponenty kompenzačného rozvádzača), prechodný dej ovplyvňuje napájaciu sieť, do ktorej sa šíri impulzné rušenie. Na toto rušenie je citlivá výpočtová technika, telekomunikačná technika apod.[36]

Eliminácia prechodného deja spočíva vo zvýšení impedancie obvodu medzi spínaným a už spínaným kondenzátorom. Impedancia sa zvyšuje dvomi spôsobmi[36]:

- tlmivkou (trvalé zvýšenie impedancie),
- odporovým spínaním (prechodné zvýšenie impedancie).

Preradene tlmivky sa používajú u obvodov s výskytom vyšších harmonických. U odporového spínania prebieha proces postupne, t.j. najprv cez odpor vložený do elektrického obvodu nenabitého kondenzátora pomocou predstihového kontaktu a po odznení prechodného deja preberá hlavný kontakt ustálenou hodnotu prúdu kondenzátora.[36]

8.1 Návrh centrálnej kompenzácie

V podkapitole návrh centrálnej kompenzácie sa rozoberá metodika postupu návrhu vhodného spôsobu kompenzácie účinníka pre dodržanie jeho minimálnej hodnoty $\cos\varphi = 0,95$. Je nutné podotknúť, že kompenzácia bude riešená až v okamžiku využitia rezervy konkrétnym spotrebičom.

Tepláreň disponuje širokým spektrom zariadení, ktoré pracujú s rôznymi hodnotami účinníkov (viz Tab. 8.1). Z pohľadu charakteru sú tieto zariadenia buď indukčné alebo kapacitné. Pre návrh centrálnej kompenzácie je nutnosť sa pozerat na tieto zariadenia ako celok a určiť celkovú bilanciu činného a jalového výkonu. Väčšina zariadení je spotrebičom jalového výkonu, ale zariadenia označené v Tab. 8.1 ako nabíjačka a osvetlenie sú spotrebičmi kapacitného charakteru. Táto skutočnosť ovplyvňuje celkový návrh centrálnej kompenzácie a zanedbanie by vnieslo značnú chybu.

Tab. 8.1: Údaje zariadení napájaných z rozvodne NN

| Typ zariadenia | Počet (ks) | P_n (kW) | P_{nc} (kW) | $\cos\varphi$ (-) | $tg\varphi$ (-) | Q_{nc} (kvar) |
|-----------------------|---------------|---------------|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Vzduchový ventil s FM | 2 | 75 | 150 | 0,98, ind. | 0,2 | 30 |
| Napájačky+kondezátky | 2 | 25 | 50 | 0,8, ind. | 0,75 | 37,5 |
| Obehové čerpadlo s FM | 2 | 160 | 320 | 0,98, ind. | 0,2 | 64 |
| Obehové čerpadlo s FM | 1 | 7,5 | 7,5 | 0,98, ind. | 0,2 | 1,5 |
| Obehové čerpadlo s FM | 1 | 5,5 | 5,5 | 0,98, ind. | 0,2 | 1,1 |
| Nabíjačka | 2 | 22 | 44 | 0,8, kap. | 0,75 | 33 |
| Osvetlenie | 1 | 20 | 20 | 0,8, kap. | 0,75 | 15 |
| Rôzne spotrebiče | 1 | 10 | 10 | 0,8, ind. | 0,75 | 7,5 |

Okrem vyššie spomenutého treba vniesť do návrhu aj možnosti prevádzky, tzn. pravdepodobné scenáre, ktoré sa môžu vyskytnúť v teplárni. Touto úvahou je snaha

dosiahnuť, aby v prípade napr. poruchy nedošlo k tomu, že v rozvodni NN budú dominantné práve zariadenia s kapacitným charakterom a s navrhnutou kompenzáciou dôjde k prekompenzovaniu. Z týchto aspektov vytvorím návrh centrálnej kompenzácie s rôznymi variantami, ktoré poslúžia investorovi ako podklad pri reálnej realizácii kompenzácie so zvolenou firmou.

Kompenzácia bude umiestená v kompenzačných rozvádzačoch, pre každú napájanú sekciu transformátormi samostatne, t.j. celkovo dve kompenzačné rozvádzače. Pretože je prevádzka zaradená do 2.stupňa zabezpečenia dodávky (v prípade výpadku jedného transformátora je druhý transformátor schopný napájať celú prevádzku), navrhuje sa kompenzácia pre celú prevádzku ako celok. To znamená, že daný kompenzačný rozvádzač je navrhnutý nie len pre zariadenia vo svojej sekcii, ale pre všetky zariadenia napájané z rozvodni NN.

8.1.1 Výpočet požadovaného kompenzačného výkonu

Prvým krokom k dosiahnutiu výsledku je určenie celkovej bilancie činných a jalových výkonov.

Bilancia činných výkonov:

$$P_c = \sum_{i=1}^n P_{nci} = (150 + 50 + 320 + 7,5 + 5,5 + 44 + 20 + 10) = 607 \text{ kW}$$

Bilancia indukčných jalových výkonov:

$$Q_{n,j} = \sum_{i=1}^n Q_{nci,j} = (30 + 37,5 + 64 + 1,5 + 1,1 + 7,5) = 141,6 \text{ kvar}$$

Do bilancie jalových výkonov sa nezapočítali kapacitné jalové výkony $Q_{nc,c}$ zariadení nabíjačka a osvetlenie. Spočítaná bilancia $Q_{n,j}$ sa zníži práve o kapacitné jalové výkony týchto zariadení. Výsledná bilancia jalového výkonu je:

$$Q_c = Q_{n,j} - \sum_{i=1}^2 Q_{nci,c} = 141,6 - (33 + 15) = 93,6 \text{ kvar}$$

Následne sa spočíta účinník, na základe ktorého sa skonštatuje nutnosť kompenzácie:

$$tg\varphi_c = \frac{Q_c}{P_c} = \frac{93,6 \cdot 10^3}{607 \cdot 10^3} = 0,154$$

$$\cos\varphi_c = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi_c}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,154^2}} = 0,989$$

Výsledok sa porovná s minimálnou požadovanou hodnotou účinníka $\cos\varphi_p = 0,95$:

$$0,989 \geq 0,95$$

Z vyššie uvedeného vyplýva, že kompenzácia účinníka danej rozvodni NN s danou skladbou zariadení nie je potrebná.

Návrh kompenzácie v tomto bode neskončil. Vyskytuje sa potreba preskúmať možnú variantu prevádzky zariadení, ktorá by potenciálne mohla spôsobiť zníženie účinníka pod hranicu 0,95, prípadne zvýšiť nad hranicu 1.

Ako rozhodujúci aspekt určujúci variantu prevádzky je topná sezóna. V letnej sezóne oproti zimnej sezóne nie sú v prevádzke kotle. Znamená to, že zariadenia vzduchový ventil s FM a napájačky+kondezátky z Tab. 8.1 sú mimo prevádzky.

Výpočet kompenzačného výkonu pre variantu bez kotlov

Bilancia činných výkonov:

$$P_c = \sum_{i=1}^n P_{ni} = (320 + 7,5 + 5,5 + 44 + 20 + 10) = 407 \text{ kW}$$

Bilancia indukčných jalových výkonov:

$$Q_{n,j} = \sum_{i=1}^n Q_{ni,j} = (64 + 1,5 + 1,1 + 7,5) = 74,1 \text{ kvar}$$

Do bilancii jalových výkonov sa nezapočítalo kapacitné jalové výkony zariadení nabíjačka a osvetlenie. Spočítaná bilancia $Q_{n,j}$ sa zníži práve o kapacitné jalové výkony týchto zariadení. Výsledná bilancia jalového výkonu je:

$$Q_c = Q_{n,j} - \sum_{i=1}^2 Q_{ni,c} = 74,1 - (33 + 15) = 26,1 \text{ kvar}$$

Následne sa spočíta účinník, na základe ktorého sa skonštatuje nutnosť kompenzácie:

$$tg\varphi_c = \frac{Q_c}{P_c} = \frac{26,1 \cdot 10^3}{407 \cdot 10^3} = 0,064$$

$$\cos\varphi_c = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi_c}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,064^2}} = 0,998$$

Výsledok sa porovná s minimálnou požadovanou hodnotou účinníka $\cos\varphi_p = 0,95$:

$$0,998 \geq 0,95$$

Aj po preskúmaní varianty prevádzky teplárne bez kotlov vychádza účinník vyšší ako minimálny požadovaný ($\cos\varphi_p = 0,95$) a pritom neprekročil limitnú hranicu 1. Pri tejto variante prevádzky nevzniká potreba kompenzácie jalového výkonu.

Z dosiahnutých výsledkov a po preskúmaní varianty prevádzky sa dá usúdiť, že kompenzácia jalového výkonu pre danú prevádzku nie je aktuálne nutná. To, ale neznamená, že v budúcom časovom horizonte nedôjde k jej potrebe. Z tohto dôvodu je potrebné pri realizácii projektu uvažovať s rezervným miestom pre kompenzačné rozvádzače.

9 Ekonomické hľadisko

Kapitola ekonomické hľadisko sa zaoberá ekonomickým zhodnotením výberu transformátorov o výkonoch 800, 1000 a 1250 kVA.

Celkový technický návrh trafostanice v predchádzajúcej kapitole je stiahnutý k transformátoru o výkone 800 kVA. Neoddeliteľnou súčasťou návrhu je aj ekonomická stránka projektu popísaná v nasledujúcich podkapitolách.

9.1 Náklady na životný cyklus transformátorov (TCO)

Náklady na životný cyklus transformátorov je ekonomická analýza, nazývaná niekedy aj ako celkové náklady na vlastníctvo. Princíp spočíva v porovnaní nákladov na nákup, prevádzku a údržbu transformátora s uvažovaním časovej hodnoty peňazí.[37]

U časovej hodnoty peňazí sa uvažuje koncept vyššej hodnoty peňazí v prítomnosti ako v budúcom horizonte. V praxi sa uskutočňuje zjednodušenie pri výpočte v neuvažovaní stratových faktorov, nákladov ako údržba a inštalácia transformátorov. Toto zjednodušenie sa používa len pri rovnakom type transformátora, t.j. olejový alebo suchý.[37]

Celkové náklady na vlastníctvo (Total cost of ownership TCO) sa vypočítajú podľa vzorca[37]:

$$TCO = PP + A \cdot P_0 + B \cdot P_k, \quad (9.1)$$

kde

PP - obstarávacia cena transformátora (Kč),

A - priradené náklady pri stratách naprázdno na kilowatt ($Kč \cdot W^{-1}$),

P_0 - straty naprázdno (W),

B - priradené náklady pri stratách nakrátko na kilowatt ($Kč \cdot W^{-1}$),

P_k - straty nakrátko (W).

Parametre A a B závisia na očakávanom zaťažení transformátora a ceny energií. Odhad týchto faktorov (A , B) je náročný, pretože to sprevádza neznámy rast cien energií vrátane úrokovej sadzby a predpokladanej ekonomickej životnosti. Z tohto dôvodu existuje metóda na určenie parametrov A a B pre distribučné transformátory, kde je uvažované konštantné zaťaženie transformátora a cien energie.[37]

Kapitalizácia pri stratách naprázdno A [37]:

$$A = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C_{kWh} \cdot 8760 \quad (9.2)$$

Kapitalizácia pri stratách nakrátko B [37]:

$$B = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C_{kWh} \cdot 8760 \cdot \left(\frac{I_1}{I_r}\right)^2, \quad (9.3)$$

kde

i - diskontná sadzba ($\% \cdot \text{rok}^{-1}$),

n - obdobie (rok),

C_{kWh} - cena energie ($\text{Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$),

8760 - počet hodín v roku ($\text{hod} \cdot \text{rok}^{-1}$),

I_1 - zatažovací prúd (A),

I_r - menovitý prúd (A).

Nevýhodou analýzy je neschopnosť predpokladať budúci profil zaťaženia a náklady na elektrickú energiu a tarify v budúcom časovom horizonte.[37]

Pre vlastný výpočet sú v Tab.9.1 uvedené ceny transformátorov od spoločnosti BEZ Transformátory. Investor neuviedol cenu energie kvôli verejnej publikácii práce. Vo výpočte sa preto uvažuje s cenou silovej energie danou na komoditnej burze Power Exchange Central Europe (PXE). Pre dátum 18.05.2022 je cena energie $235,38 \text{ €} \cdot \text{MWh}^{-1}$. Pre prepočet na českú korunu sa využije aktuálny kurz ČNB z dňa 18.05.2022, konkrétne $1 \text{ €} = 24,71 \text{ Kč}$. Cena silovej energie je potom $5816 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}$. K tejto cene sa pripočíta $+10\%$, aby sme sa teoreticky priblížili k reálnej cene, za ktorú nakupuje investor ($6400 \text{ Kč} \cdot \text{MWh}^{-1}$). Obdobie n je stanovené na 25 rokov a hodnota diskontnej sadzby je $6,54 \%$ a je daná ERÚ. Zataženie transformátora je na úrovni 50% . Toto zaťaženie je dané na základe merania za rok 2021, kedy najväčšie zaťaženie transformátora bolo práve 50% . [38][39][40]

Treba podotknúť, že výpočet je prevedený v rovine fikcie - ceny energií nezodpovedajú reálnej cene dohodnutej v zmluve medzi investorom a PDS. Je to ukážka, ako sa dá ekonomicky posúdiť výmena transformátorov.

Nasledujúci výpočet je realizovaný pre cenu $6,4 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$.

Kapitalizácia pri stratách naprázdno A :

$$A = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C_e \cdot 8760 = \frac{\left(1 + \frac{6,54}{100}\right)^{25} - 1}{\frac{6,54}{100} \cdot \left(1 + \frac{6,54}{100}\right)^{25}} \cdot 6,4 \cdot 8760 = 681\,338 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$$

Kapitalizácia pri stratách nakrátko B :

$$B = \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \cdot C_e \cdot 8760 \cdot \left(\frac{I_1}{I_r}\right)^2 = \frac{\left(1 + \frac{6,54}{100}\right)^{25} - 1}{\frac{6,54}{100} \cdot \left(1 + \frac{6,54}{100}\right)^{25}} \cdot 6,4 \cdot 8760 \cdot 0,5^2 = 170\,335 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$$

Celkové náklady na vlastníctvo:

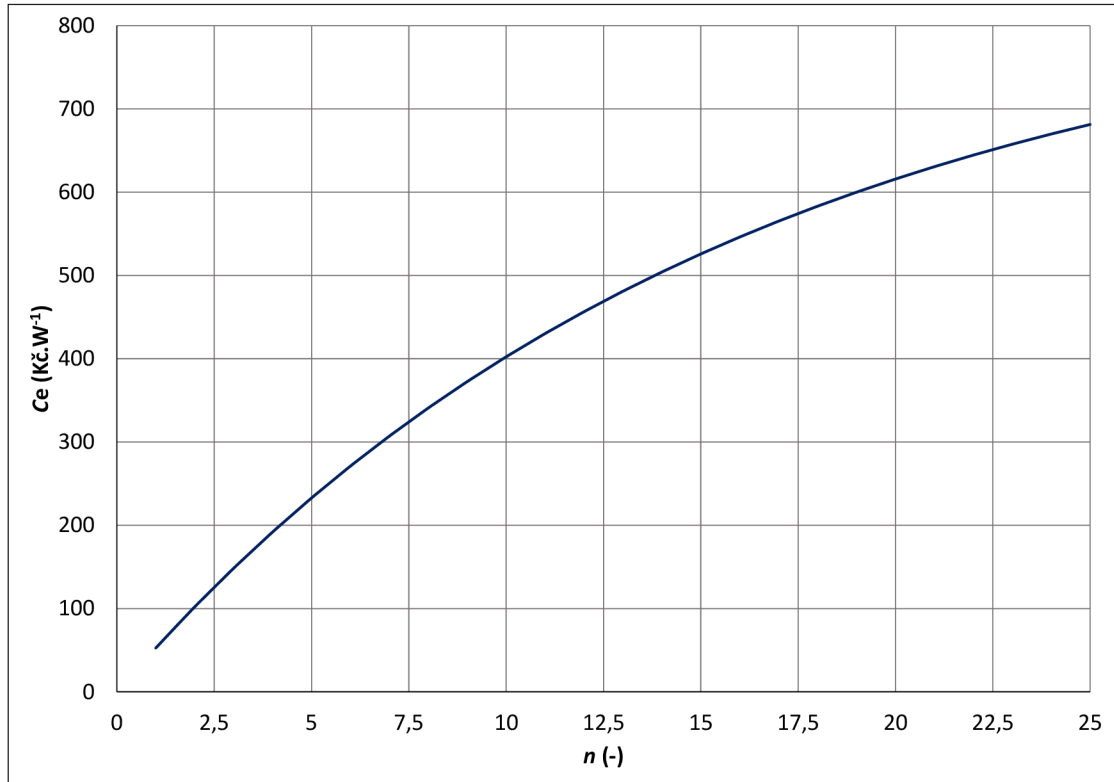
$$TCO = PP + A \cdot P_0 + B \cdot P_k = 485\,211 + 681\,338 \cdot 0,585 + 170\,335 \cdot 6 = 1\,905\,804 \text{ CZK}$$

Pre jednoduchšiu aplikáciu metódy TCO sa používa graf zahrňujúci faktor A . Tento faktor vyjadruje vzťah medzi nákladmi na straty naprázdno a [37]:

- cenou elektriny,

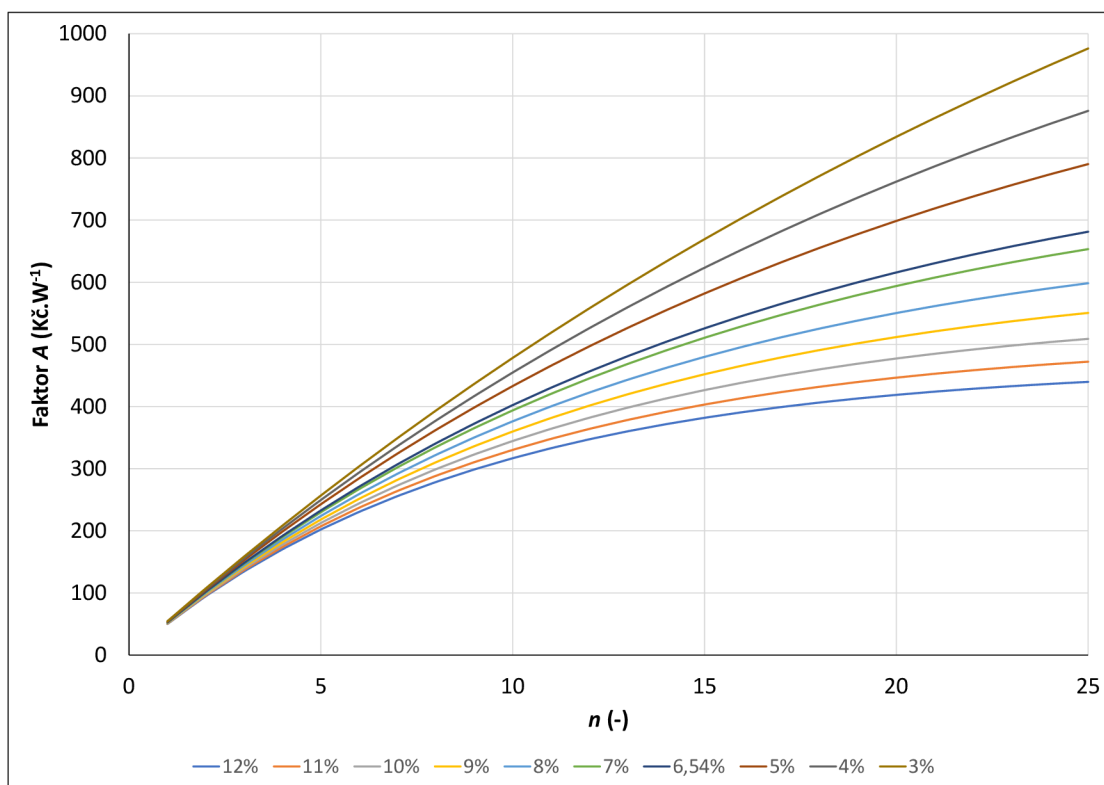
- diskontnou alebo úrokovou sadzbou alebo priemerné náklady kapitálu
- obdobie kapitalizácie alebo životnosť transformátora.

Faktor A je zobrazený na Obr.9.1. Tento graf zobrazuje kolko stoja v danom období n pri $i = 6,54\%$ náklady na straty naprázdno.



Obr. 9.1: Faktor A

Pri zmene hodnoty i dochádza k zmene ceny za watt strát naprázdno. Na grafe Obr.9.2 je zobrazená kolerácia medzi diskontnou sadzbou i a faktorom A .



Obr. 9.2: Kolerácia medzi i a faktorom A

9.2 Ekonomické hodnotenie nákladov na transformátory rôzneho výkonu

Podkapitola ekonomická hodnotenie nákladov sa zaoberá posúdením výdavkov na jednotlivé transformátory rôzneho výkonu. Samotný výpočet obsahuje iba tie hodnotiace kritériá, ktoré sú relevantné pre odborné zhodnotenie ekonomického prínosu pre transformátor so zníženými stratami.[41]

Pri kúpe elektrického stroja sa ekonomicky zhodnocuje vzťah medzi jeho stratami a následnými nákladmi na elektrickú energiu. V prípade transformátorov je to obzvlášť dôležité. U investícií do kúpy nízkostratových transformátorov sa vo väčšine prípadov získava návratnosť nákladov na straty v podobe usporenej energie v priebehu menej ako troch rokov.[41]

Výpočet zahrňuje nízkostratové transformátory o výkonoch 800, 1000 a 1250 kVA. Pri výpočte sa uvažujú nasledujúce predpoklady[41]:

- transformátor je prevádzkovaný nepretržite,
- v prípade neúplného zaťaženia je charakter zaťaženia konštantný,
- neuvažujú sa dodatočné náklady a inflačné faktory,
- požadované náklady sú založené na 100 % zaťažení.

V Tab.9.1 sú uvedené transformátory od spoločnosti BEZ Transformátory, a.s, u ktorých vyhodnocujem celkové náklady, ktoré sú kombináciou ceny a strát.

Tab. 9.1: Údaje transformátorov spoločnosti BEZ transformátory, a.s.

| Typ (-) | Menovitý výkon (kVA) | Straty nakrátko (W) | Straty naprázdno (W) | Cena bez DPH (Kč) |
|--------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|
| aTOHn3810/22 | 800 | 6000 | 585 | 485 211 |
| aTOHn3910/22 | 1000 | 7600 | 693 | 519 658 |
| aTOHn3810/22 | 1250 | 9500 | 1080 | 575 265 |

Potrebné vstupné parametre výpočtu sú[41]:

- obstarávacía cena transformátora C_p (viz. Tab.9.1),
- odpisové obdobie $n = 25$ r,
- diskontná sadzba $p = 6,54$ %,
- cena energie $C_e = 6,4$ Kč·kWh⁻¹,
- ekvivalentný ročný koeficient zaťaženia $a = 50$ %,
- cena za rezervovaný výkon $C_d = 172,74$ Kč·kWh⁻¹.

Cena za rezervovanú kapacitu prevádzkovateľa distribučnej sústavy je udaná energetickým regulačným úradom (viz Tab.9.2).[42]

Tab. 9.2: Cena za rezervovanú kapacitu prevádzkovateľa distribučnej sústavy[[42]]

| Prevádzkovateľ distribučnej sústavy | Hladina napätia | Mesačná cena za ročnú rezervovanú kapacitu (Kč/MW/mesiac) | Mesačná cena za mesačnú rezervovanú kapacitu (Kč/MW/mesiac) |
|-------------------------------------|-----------------|--|--|
| ČEZ Distribuce, a. s. | VVN | 70 648 | 81 096 |
| | VN | 172 7351 | 198 281 |
| EG.D, a.s. | VVN | 64 972 | 72 842 |
| | VN | 162 194 | 181 839 |
| PREdistribuce, a.s. | VVN | 77 253 | 90 323 |
| | VN | 192 953 | 225 597 |
| UCED Chomutov s.r.o. | VN | 259 727 | 280 811 |
| SV servisní, s.r.o. | VN | 176 440 | 210 514 |

Odpisový faktor[41]:

$$r = p \cdot \frac{q^n}{q^n - 1} \quad (9.4)$$

Úrokový[41]:

$$q = \frac{p}{100} + 1 \quad (9.5)$$

Kapitálové náklady[41]:

$$C_c = C_p \cdot \frac{r}{100} \quad (9.6)$$

Náklady na straty naprázdno[41]:

$$C_{p0} = C_e \cdot T \cdot P_0 \quad (9.7)$$

Náklady na straty nakrátko[41]:

$$C_{pk} = C_e \cdot T \cdot a^2 \cdot P_k \quad (9.8)$$

Náklady z poplatkov za rezervovaný výkon[41]:

$$C_D = C_d \cdot (P_0 + P_k) \quad (9.9)$$

Celkové vynaložené náklady[41]:

$$C = C_c + C_{p0} + C_{pk} + C_D \quad (9.10)$$

Nižšie je uvedený výpočet, ktorý je realizovaný pre transformátor s výkonom 800 kVA. Výsledky ostatných transformátorov sú zhrnuté v Tab. 9.3. Zataženie a je u 1000 kVA 40 % a u 1250 kVA 32 %. Tieto zataženia sú vzťahnuté k zataženiu transformátora 800 kVA, tzn. 400 kVA.

Úrokový

$$q = \frac{p}{100} + 1 = \frac{6,54}{100} + 1 = 1,0654$$

Odpisový faktor:

$$r = p \cdot \frac{q^n}{q^n - 1} = 6,54 \cdot \frac{1,0654^{25}}{1,0654^{25} - 1} = 8,23$$

Kapitálové náklady:

$$C_c = C_p \cdot \frac{r}{100} = 485\,211 \cdot \frac{8,23}{100} = 39\,926 \text{ Kč}$$

Náklady na straty naprázdno:

$$C_{p0} = C_e \cdot T \cdot P_0 = 6,4 \cdot 8760 \cdot 0,585 = 32\,797 \text{ Kč}$$

Náklady na straty nakrátko:

$$C_{pk} = C_e \cdot T \cdot a^2 \cdot P_k = 6,4 \cdot 8760 \cdot 0,5^2 \cdot 6 = 84\,096 \text{ Kč}$$

Náklady z poplatkov za rezervovaný výkon:

$$C_D = C_d \cdot (P_0 + P_k) = 2072,4 \cdot (0,585 + 6) = 13\,647 \text{ Kč}$$

Celkové vynaložené náklady:

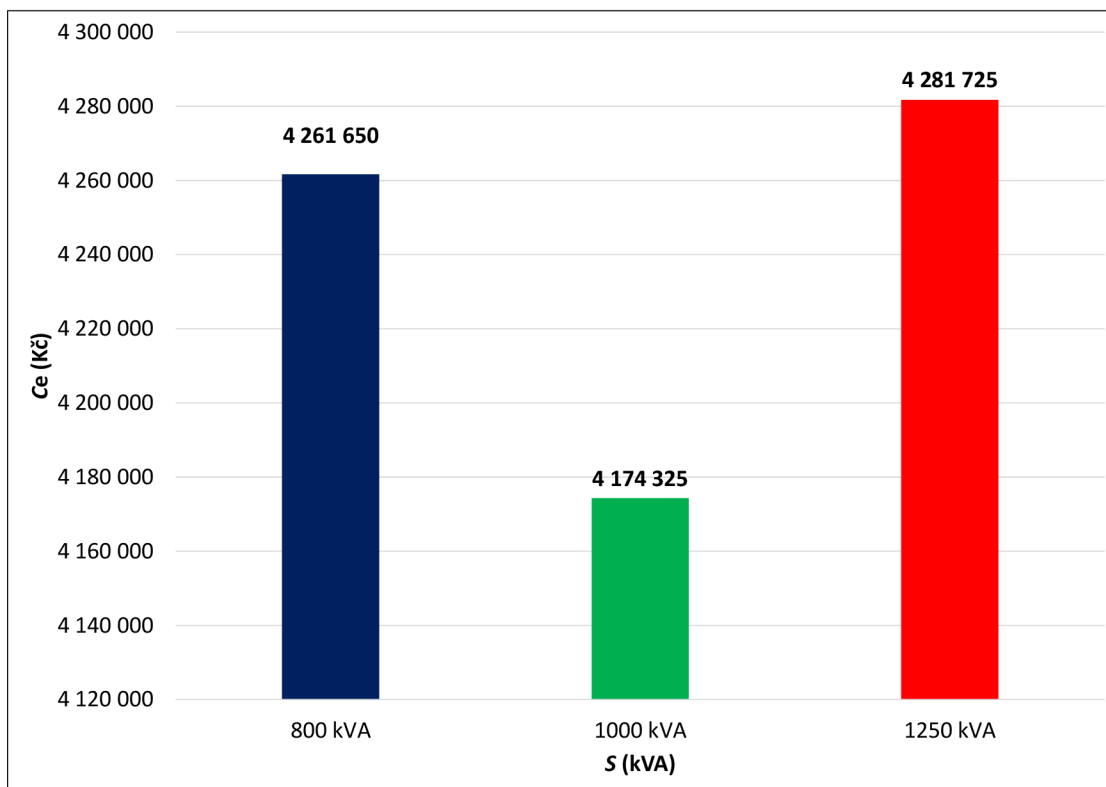
$$C = C_c + C_{p0} + C_{pk} + C_D = 39\,926 + 32\,797 + 84\,096 + 13\,647 = 170\,466 \text{ Kč}$$

Vypočítané náklady pre dané transformátory odpovedajú ročnej prevádzke a sú uvedené v Tab.9.3.

Tab. 9.3: Výsledné údaje z ekonomického hodnotenia nákladov na transformátory rôznych výkonov

| Menovitý výkon (kVA) | C_c (Kč) | C_{p0} (Kč) | C_{pk} (Kč) | C_D (Kč) | C (Kč) |
|-------------------------|---------------|------------------|------------------|---------------|-------------|
| 800 | 39 926 | 32 797 | 84 096 | 13 647 | 170 466 |
| 1 000 | 42 760 | 38 852 | 68 174 | 17 186 | 166 973 |
| 1 250 | 47 336 | 47 935 | 54 539 | 21 460 | 171 269 |

Pri porovnaní celkových vynaložených nákladov C je možné usúdiť úsporu pri nákupe transformátor s vyšším výkonom, konkrétne 1000 kVA oproti žiadanému transformátoru 800 kVA investorom. Porovnaním sa zistí, že pri kúpe transformátora 1000 kVA usporí investor za rok 3493 Kč. Do transformátora 1250 kVA sa nevyplatí investovať, pretože náklady sú vyššie ako u 800 kVA. Okrem nákladov za jeden rok sa spočítajú náklady za dobu 25 rokov. Sú uvedené spoločne na Obr.9.3



Obr. 9.3: Celkové vynaložené náklady na transformátory rôznych výkonov

Pretože sa uvažuje s dobou prevádzky 25 rokov, je žiaduce zanalyzovať náklady za túto dobu a poukázať na možné zefektívnenie návratnosti investícií v podobe kúpy transformátora s vyšším výkonom. V nasledujúcej tabuľke sú zhrnuté vynaložené náklady C za 25 rokov a z toho aj vyplývajúca úspora oproti transformátoru 800 kVA.

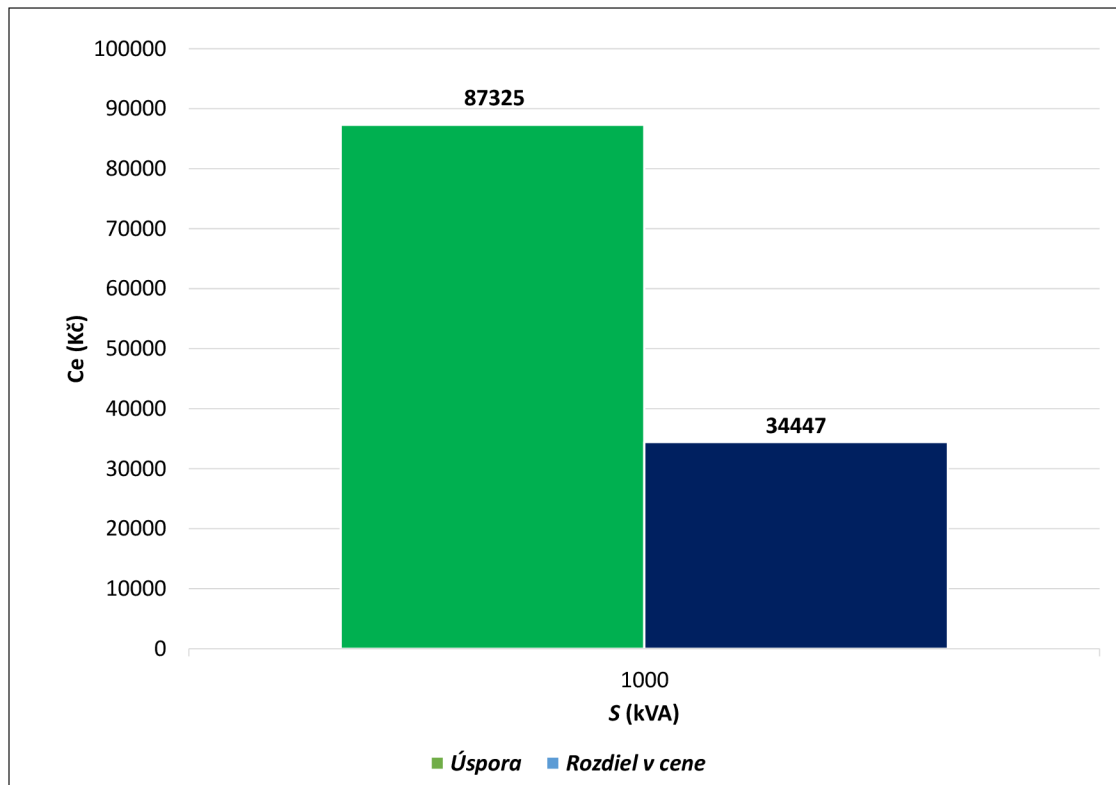
Tab. 9.4: Celkové vynaložené náklady na transformátory rôznych výkonov za 25 rokov

| Menovitý výkon (kVA) | C (Kč) | Úspora v porovnaní s transformátorom 800 kVA (Kč) |
|----------------------|-----------|---|
| 800 | 4 261 650 | - |
| 1000 | 4 174 325 | 87 325 |

Ak sa zaobstará transformátor s vyšším výkonom ušetrí sa z nákladov na jeho prevádzku určitá suma v porovnaní s transformátorom 800 kVA (viz. Tab.9.4). Túto úsporu je vhodné porovnať s vyčíslenou hodnotou rozdielu v nákupných cenách transformátorov. Obstarávacie ceny transformátorov sú v Tab.9.1.

Transformátor s výkonom 800 kVA sa uvažuje ako referenčný. K nemu sa vzťahnu rozdiely v obstarávacích cenách a porovná sa to s vypočítanou úsporou. Týmto spôsobom sa dosiahne možnosť poukázať na lepšiu efektívnosť pri voľbe transformátora s vyšším výkonom.

Na nasledujúcom Obr.9.4 sú zhrnuté úspory a rozdiely v obstarávacích cenách.



Obr. 9.4: Úspora vynaložených nákladov C a rozdiel v obstarávacej cene transformátora 1000 kVA oproti transformátoru 800 kVA

Záverom tejto metódy je dopracovanie sa k výsledku, že investícia do transformátora 1000 kVA pri danom zatažení je ekonomicky výhodnejšia ako kúpa transformátora 800 kVA. U transformátora 1250 kVA nevzniká úspora a teda neoplatí sa doňho investovať.

9.3 Hospodárne zaťaženie

Kritériom hospodárneho hodnotenia transformátora je hospodárne zaťaženie, pri ktorom sú v transformátore najmenšie vzťažné straty ΔP . [43]

Vzťažné straty sú dané rovnicou [43]:

$$\Delta p_T = \frac{\Delta P_T}{S_v}, \quad (9.11)$$

kde S_v - zaťaženie transformátora,

ΔP - celkové straty činného výkonu vyvolané zaťaženým transformátorom v sieti a sú dané vzťahom [43]:

$$\Delta P_T = \frac{\Delta P_0 + k_\Delta \cdot \Delta Q_0}{S_v} + \frac{S_v}{S_n^2} \cdot (\Delta P_k + k_\Delta \cdot \Delta Q_k), \quad (9.12)$$

kde k_Δ - merný činiteľ strát, ktorý vyjadruje straty činného výkonu vyvolané 1 kVAr jalového zaťaženia.

Straty jalového výkonu naprázdno ΔQ_0 [43]:

$$\Delta Q_0 = \frac{i_0}{100} \cdot S_n \quad (9.13)$$

Straty jalového výkonu nakrátko ΔQ_k [43]:

$$\Delta Q_k = \frac{u_k}{100} \cdot S_n \quad (9.14)$$

Pre dosiahnutie vzťahu pre hospodárne zaťaženie sa derivácia rovnice (9.11) položí rovné nule a nájde sa minimum hodnoty pri zaťažení. Hospodárne zaťaženie je potom rovné [43]:

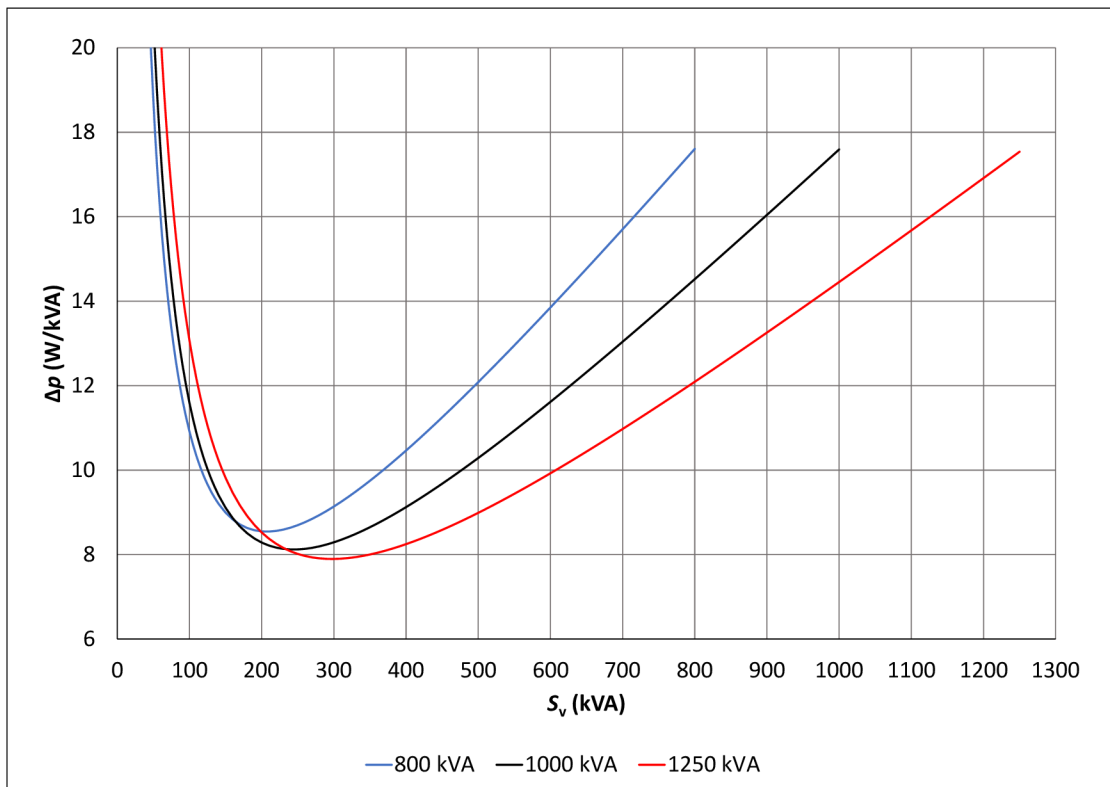
$$S_h = S_n \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_0 + k_\Delta \cdot \Delta Q_0}{\Delta P_k + k_\Delta \cdot \Delta Q_k}} \quad (9.15)$$

Pri vlastnom výpočte hospodárneho zaťaženia sa uvažujú opäť všetky tri transformátory (800;1000;1250 kVA). Pri výpočte sa počíta s k_Δ rovné 0,15. Vypočítané hodnoty sú zobrazené nižšie v Tab.9.5.

Tab. 9.5: Hospodárne zaťaženie transformátorov

| S_n (kVA) | ΔQ_0 (kvar) | ΔQ_k (kvar) | S_h (kVA) | Δp_T pri S_h (W/kVA) |
|----------------|------------------------|------------------------|----------------|-----------------------------------|
| 800 | 2 | 48 | 207 | 8,5 |
| 1000 | 2 | 60 | 245 | 8,1 |
| 1250 | 2,1 | 75 | 297 | 7,9 |

V nasledujúcom grafe 9.5 sú zobrazené vzťažné straty jednotlivých transformátorov.



Obr. 9.5: Hospodárne zaťaženie transformátorov

Výpočtom hospodárneho zaťaženia sa dosiahlo iba technického výsledku. U výpočtu sa neuvažovali parametre, ktoré súvisia s nákladmi, tzn. použili sa len straty výkonu. Zaťažovať transformátory týmto výkonom ma len technické opodstatnenie.

Záver

Predmetom diplomovej práce je návrh rekonštrukcie trafostanice v areáli teplárne Staré Brno. Dôvodom rekonštrukcie sú zvýšené požiadavky na zaťaženie teplárne vplyvom plánovaného rozšíreniu obytných stavieb v okolí teplárne. Úloha návrhu je modernizácia trafostanice, ktorého riešenie pozostáva z výmeny transformátorov, rozvodni vysokého a nízkeho napätia. Návrh bol riešený normatívne.

V teoretickej časti práce sú spracované podklady, ktoré sa využívajú pri kompletizácii návrhu. Samotný návrh vychádza zo súčasného stavu trafostanice v teplárni, ktorý je popísaný v piatej kapitole.

V siedmej kapitole je riešený samotný návrh. Výpočtový výkon je stanovený na hodnotu 608,79 kW. Prevádzka teplárni je zaradená do druhého stupňa dodávky energie. Navrhnuté sú dve nízkostratové transformátory o výkone 800 kVA v prevedení ekodizajn 2 od spoločnosti BEZ transformátory. Pre transformátory je navrhnutý spôsob chladenia ONAN - prirodzená cirkulácia vzduchu, kde sú určené prierezy vstupných a výstupných otvorov pre cirkuláciu vzduchu.

Riešenie pokračuje návrhom káblových vedení medzi VN a NN. Prepojovacím káblom medzi novo navrhnutým rozvádzačom VN a primárnou stranou navrhnutého transformátora je silový kábel AXEKVCEY 70 mm². Prepoj medzi sekundárnou stranou transformátora a novo navrhnutým rozvádzačom NN je navrhnutý káblom CHBU 240 mm². Obidve káble sú overené na dovolenú prevádzkovú teplotu, úbytok napätia a teplené účinky skratových prúdov. Vypočítané skratové pomery sú využité pri návrhu rozvádzačov VN a NN.

Ako VN rozvádzač je zvolený typ SM6-24 od výrobcu Scheinder electric. Rozvádzač pozostáva z piatich polí. V ďalšej časti práce je zrealizovaný návrh rozvodni NN. Ako rozvádzač NN je navrhnutý typ BlockSet od výrobcu Scheinder electric. Z polí rozvádzača sú napájané podružné rozvádzače prevádzky teplárne.

V nasledujúcej kapitole je zhodnotený návrh centrálnej kompenzácie. Pri danej skladbe zariadení je zistené, že kompenzácia jalového výkonu nie je aktuálne nutná. Pri realizácii projektu je potrebné uvažovať do budúcnosti s rezervným miestom pre kompenzačné rozvádzače.

V poslednej kapitole sa rozoberá ekonomické zhodnotenie transformátorov, kde sú využité tri metódy hodnotenia. V prvej ekonomickej metóde sú spočítané celkové náklady na prevádzku transformátora za obdobie 25 rokov. U druhej metódy sa porovnáva, či sa oplatí kúpiť transformátor s vyšším výkonom ako 800 kVA, pri predpokladanom zaťažení 400 kVA. V poslednej metóde je určené hospodárske zaťaženie transformátorov z technického hľadiska.

Literatúra

- [1] ČSN EN 61936-1: *Elektrické instalace nad AC 1 kV - Část 1: Všeobecná pravidla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2011, str. 63 - 67;.
- [2] GILL, P. *Power Transformer Design Practices*. 1. vyd., Taylor&Francis Group/CRC Press, 2009. ISBN 978-1-57444-656-2
- [3] *Vykurovanie a chladenie transformátora. Velká encyklopédia ropy a plynu* [online]. [cit. 17. 10. 2021]. Dostupné z URL: <https://tanders.ru/sk/heating-and-cooling-of-the-transformer-the-great-encyclopedia-of-oil-and-gas/>.
- [4] ZHU, F.; YANG, B. *Electrical power equipment maintenance and testing*. 2. vyd., CRC Press, 2021. ISBN 978-0-367-41843-4
- [5] *Chladiaci systém transformátora a jeho metody* [online]. [cit. 15. 10. 2021]. Dostupné z URL: <https://riverglennapts.com/sk/transformer-accessories/885-transformer-cooling-system-and-methods.html>.
- [6] *Prečo je chladenie nevyhnutné pre dlhú životnosť transformátora?* [online]. [cit. 17. 10. 2021]. Dostupné z URL: <https://crushtymks.com/sk/transformers/1563-why-cooling-is-essential-for-long-transformer-life.html>.
- [7] *Chladenie transformérov a metody chladenia* [online]. [cit. 17. 10. 2021]. Dostupné z URL: <https://illustrationprize.com/sk/704-cooling-of-transformer-and-methods-of-cooling.html>.
- [8] *Cooling Methods of a Transformer* [online]. [cit. 17. 10. 2021]. Dostupné z URL: <https://www.electricaleasy.com/2014/06/cooling-methods-of-transformer.html>.
- [9] ČSN EN IEC 60076-11: *Výkonové transformátory - Část 11: Suché transformátory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2019.
- [10] ČSN 33 3051: *Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 1992.

- [11] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [12] *Závady v jištění výkonových transformátorů* [online]. [cit. 24. 11. 2021]. Dostupné z URL:
<<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38057.pdf/>>.
- [13] VALENTA, Jiří. *Jištění transformátorů*. Brno 2021.
- [14] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Elektrické stanice a vedení*. Brno 2008.
- [15] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno 2008.
- [16] *ČSN 38 1120: Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren*. 20 str. Praha: Český normalizační institut, 1994.
- [17] *Příručka elektrikáře* [online]. [cit. 24. 11. 2021]. Dostupné z URL:
<http://www.bqz.sk/download/_info/oez_prirucka_elektrikare_web.pdf/>.
- [18] *Provozy a SZTE* [online]. [cit. 2021-12-20]. Dostupné z URL:
<<https://www.teplarny.cz/cs/provozy-a-szte>>.
- [19] *ČSN 34 1610: Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1963.
- [20] *DISTRIBUČNÉ TRANSFORMÁTORY: OLEJOVÉ TRANSFORMÁTORY* [online]. 2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z URL:
<<https://bez-transformers.com/upload/katalog-bez-2022-olejove-transformatory-2022-05.pdf>>.
- [21] *Silové kabely s izolací ze zesíťového polyetylénu: Medium Voltage Cables with XLPE Insulation* [online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z URL:
<https://nkt.widen.net/content/tlg00rmu8x/pdf/22-AXEKVCEYDSCZENAPP_MV_DS_CS-EN.pdf?u=gj0n1y>.
- [22] *ČSN 33 2000-5-52: Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [23] *ČSN EN 60909-0: Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

- [24] *ČSN 38 1754: Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů*. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1974.
- [25] *SM6 modular units* [online]. [cit. 2022-03-30]. Dostupné z URL:
<https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SM6_AMTED398078EN_1020.pdf&p_Doc_Ref=AMTED398078EN>.
- [26] *Sepam: series 20, series 40, series 60, series 80* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z URL:
<https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SEPED303005EN_sept21.pdf&p_Doc_Ref=SEPED303005EN_Cover>.
- [27] *Požadavky na umístění, provedení a zapojení měřících souprav u zákazníků kategorie A a B, výrobců* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z URL:
<https://www.egd.cz/sites/default/files/2018-09/Pozadavky_na_umisteni_provedeni_a_zapojeni_mericich_souprav_u_zakazniku_kategorie_A_a_B_vyrobcu_verze_3.pdf>.
- [28] *Pryžové kabely: Rubber cables* [online]. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z URL:
<<http://www.konex.sk/files/2015-04-29-140253-pryzove-kabely.pdf>>.
- [29] *ČSN EN 61439-1: Rozváděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení*. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [30] *ČSN EN 60059: Normalizované hodnoty proudů IEC*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [31] *Panel Builders & Contractors* [online]. 2020 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z URL:
<https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=PNBCONTR0120EN+%28web%29.pdf&p_Doc_Ref=PNBCONTR0120EN>.
- [32] *MasterPact™ MTZ: Air circuit breakers and switch-disconnectors* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z URL:
<https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=LVPED216026EN_WEB.pdf&p_Doc_Ref=LVPED216026EN_WEB>.

- [33] ČSN EN 60947-1: *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení*. Ed.4. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [34] *EasyLogic™ Power metering Catalog: A complete range of meters for essential electrical system measurement* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=PLSED310053EN_Web.pdf&p_Doc_Ref=PLSED310053EN_Web.
- [35] ČSN 33 3080: *Elektrotechnické předpisy. Kompenzace indukčního výkonu statickými kondenzátory*. Praha: Vydavatelství norem, 1978.
- [36] *Kompenace jalového výkonu v praxi*. Praha: IN-EL, 1999. ISBN 978-80-87942-86-4.
- [37] *ELECTRICAL ENERGY EFFICIENCY*. West Sussex: John Wiley, 2012. ISBN 978-0-470-97551-0.
- [38] PXE [online]. [cit. 2022-04-20]. Dostupné z URL: <http://old.pxe.cz/On-Line/Futures/>.
- [39] *Zásady cenové regulace pro regulační období 2021-2025* [online]. 2020 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z URL: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/20200609tzzasadycenovereregulace21-25.pdf>.
- [40] *Kurzycz* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z URL: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/nejlpsi-kurzy/EUR-euro/>.
- [41] *Power Engineering Guide* [online]. Siemens Aktiengesellschaft [cit. 2022-04-24]. Dostupné z URL: https://pangonilo.com/index.php?sdmon=files/Siemens_Power_Engineering_Guide.pdf.
- [42] *Energetický regulační VĚSTNÍK: ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD* [online]. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z URL: <https://www.eru.cz/sites/default/files/obsah/prilohy/erv112021.pdf>.
- [43] CHMELA, Michal. *Ekonomika a řízení*. Brno, 2007.

Zoznam symbolov a skratiek

| | | |
|---------------|---|---|
| A | elektrická energia prenesená vedením za rok | (Wh) |
| A_1 | efektívny prierez prívodu vzduchu | (m ²) |
| A_2 | efektívny prierez vývodu vzduchu | (m ²) |
| c_o | objemová hustota tepelnej kapacity | (J·cm ⁻³ ·°C ⁻¹) |
| $\cos\varphi$ | účinník | (-) |
| f | frekvencia | (Hz) |
| G | odstupnené vzdialenosti | (m) |
| H | rozdiel výšok medzi stredom výstupného otvoru a stredom výšky transformátora | (m) |
| HL | tepelné straty transformátora v priestore | (kW) |
| I_{cc} | menovitý podmienený skratový prúd | (A) |
| I_{cw} | menovitý krátkodobý výdržný proud | (A) |
| I_k | eketvina hodnota predpokládaného skratového prúdu | (A) |
| I_k'' | počiatočný rázový skratový prúd | (A) |
| I_n | menovitý prúd | (A) |
| $I_{n,z}$ | menovitá zatažiteľnosť | (A) |
| I_{th} | ekvivalentný oteplovací skratový prúd | (A) |
| I_{thn} | menovitý kratkodobý prúd | (A) |
| i_p | nárazový skratový prúd | (A) |
| i_{pn} | menovitý dynamický prúd | (A) |
| I_p | vypočtový prúd | (A) |
| I_{pk} | menovitý dynamický prúd | (A) |
| I_s | nabíjací prúd | (A) |

| | | |
|--------------|--|-------------------------|
| I_T | maximálny prúd transformátora | (A) |
| I_z | prúdová zatažiteľnosť | (A) |
| l | dĺžka | (km) |
| LL | straty nakrátko pri referenčnej teplote | (kW) |
| NLL | straty naprázdno transformátora | (kW) |
| n | počet transformátorov | (-) |
| n_o | otáčky | (ot·min ⁻¹) |
| n_p | počet pracujúcich transformátorov | (-) |
| P_i | inštalovaný výkon | (W) |
| ΔP_k | straty nakrátko | (W) |
| P_n | menovitý výkon | (W) |
| P_p | výpočtový výkon | (W) |
| ΔP_0 | straty naprázdno | (W) |
| Q_{AF} | teplo rozptýlené nútenou ventiláciou vzduchu | (kW) |
| Q_c | rozptýlené straty stropom | (kW) |
| $Q_{c,k}$ | menovitý výkon pripínaného kondenzátora | (var) |
| Q_{nac} | rozptýlenie prirodzenou cirkuláciou vzduchu | (kW) |
| Q_{tot} | rozptýlenie tepla v priestore | (kW) |
| Q_w | rozptýlené straty stenami | (kW) |
| Q_{wc} | rozptýlenie cez steny a strop | (kW) |
| q | súčiniteľ plasticity prierezu vodiča | (-) |
| R | činný odpor | (Ω) |
| $R_{p0,2}$ | zmluvná medza prieraznosti | (MPa) |
| R_T | reálna zložka impedancie transformátora | (Ω) |
| S | hospodársky prierez | (mm ²) |

| | | |
|------------------|---|--------------------|
| S_k'' | trojfázový počiatočný rázový skratový výkon napájacej siete | (VA) |
| S_{\min} | minimálny prierez | (mm ²) |
| S_n | menovitý výkon | (VA) |
| S_T | inštalovaný výkon trafostanice | (VA) |
| S_v | zaťaženie | (VA) |
| T | doba plných strát | (s) |
| t | počet prevádzkových hodín zariadení | (h) |
| t_k | doba skratu | (s) |
| u_k | napätia nakrátko | (%) |
| U_f | efektívna hodnota fázového napätia | (V) |
| U_n | menovité napätia | (V) |
| ΔU | úbytok napätia | (V) |
| U_s | združené napätie | (V) |
| $\Delta u_{\%}$ | percentuálny úbytok napätia | (%) |
| X_c | kapacitná reaktancia pripínaného kondenzátora | (Ω) |
| X_L | induktívna reaktancia napájacej siete | (Ω) |
| X_T | imaginárna složka impedancie transformátora | (Ω) |
| X | reaktancia | (Ω) |
| Z_c | celková impedancia | (Ω) |
| Z_{egd} | impedancia prívodného kábla | (Ω) |
| Z_k | impedancia navrhovaného kábla | (Ω) |
| Z_s | impedancia siete | (Ω) |
| Z_T | impedancia transformátora | (Ω) |
| β | súčiniteľ náročnosti | (-) |

| | | |
|------------------|---|--|
| γ | súčiniteľ využitia | (-) |
| σ_m | ohybové namáhanie vodiča | (Pa) |
| σ_s | ohybové namáhanie dielčieho vodiča | (Pa) |
| ρ_{20} | rezistivita pri 20°C | ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \text{m}^{-1}$) |
| θ_1 | teploty vzduchu na vstupe | (°C) |
| θ_2 | teploty vzduchu na výstupe | (°C) |
| $\Delta\theta_a$ | oteplenie vzduchu | (K) |
| ϑ_f | fiktívna teplota | (°C) |
| ϑ_z | prevádzková teplota | (°C) |
| ϑ_k | dovolená teplota vodiča pri skratu | (°C) |
| AM | Asynchronný motor | |
| ERÚ | Energetický regulačný úrad | |
| MTP | Merací transformátor prúdu | |
| MTN | Merací transformátor napätia | |
| NN | Nízke napätie | |
| OFAF | Chladenie oleja s ventilátormi a núteným obehom olejového chladiča- Oil Forced Air Forced | |
| OFAF | Olejové chladenie vodou s núteným obehom oleja - Oil Forced Water Forced | |
| ONAF | Chladenie oleja s ventilátormi a prirodzenou cirkuláciou oleja - Oil Natural Air Forced | |
| ONAN | Prírodné chladenia oleja - Oil Natural Air Natural | |
| PDS | Prevádzkovateľ distribučnej sústavy | |
| VN | Vysoké napätie | |
| VS | Vlastná spotreba | |

Zoznam príloh

| | |
|----------------------------------|----|
| A Skratové pomery pre prívod č.1 | 88 |
| B Obsah elektronickej prílohy | 89 |

A Skratové pomery pre prívod č.1

Tab. A.1: Vypočítané skratové pomery pre prívod č.1, VN časť

| VN časť | | |
|---------------|-----------|--|
| Veličina | Jednotka | Hodnota |
| $Z_{s,vn}$ | Ω | $(0,29+j\cdot 2,91)$ |
| $Z_{egd1,vn}$ | Ω | $(1,8\cdot 10^{-4}+j\cdot 7,6\cdot 10^{-4})$ |
| $Z_{k1,vn}$ | Ω | $(4,4\cdot 10^{-3}+j\cdot 1,9\cdot 10^{-3})$ |
| $Z_{c,vn1}$ | Ω | $(0,3 +j\cdot 2,92)$ |
| $Z_{c,vn1}$ | Ω | 2,94 |
| $I''_{k,vn1}$ | kA | 4,8 |
| κ | (-) | 1,74 |
| $i_{p,vn1}$ | kA | 11,8 |
| $I_{th,vn1}$ | kA | 4,8 |
| $S_{min,vn1}$ | mm^{-2} | 53 |

Tab. A.2: Vypočítané skratové pomery pre prívod č.1, NN časť

| NN časť | | |
|---------------|-----------|--|
| Veličina | Jednotka | Hodnota |
| $Z_{s,nn}$ | Ω | $(1\cdot 10^{-4}+j\cdot 1\cdot 10^{-3})$ |
| $Z_{egd1,nn}$ | Ω | $(1,8\cdot 10^{-7}+j\cdot 2,5\cdot 10^{-7})$ |
| $Z_{k1,nn}$ | Ω | $(1,5\cdot 10^{-6}+j\cdot 6,3\cdot 10^{-7})$ |
| $Z_{c,nn1}$ | Ω | $(1,6\cdot 10^{-3}+j\cdot 13\cdot 10^{-3})$ |
| $Z_{c,nn1}$ | Ω | 13^{-3} |
| $I''_{k,nn1}$ | kA | 19,5 |
| κ | (-) | 1,7 |
| $i_{p,nn1}$ | kA | 47,1 |
| $I_{th,nn1}$ | kA | 19,6 |
| $S_{min,nn1}$ | mm^{-2} | 139 |

B Obsah elektronickej prílohy

Súčasťou elektronickej prílohy je výkresová dokumentácia rozvodni NN. Príloha obsahuje nasledujúce súbory:

```
/Elektornická príloha
├─ pdf
│   ├── Sucasnystav_usekRH1.pdf
│   ├── Sucasnystav_usekRH2.pdf
│   ├── Navrhovanystav_usekRH1.pdf
│   └── Navrhovanystav_usekRH2.pdf
```