



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Seppälä

Katkaisijälähdön relesuojaus

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Ville Seppälä

Työn nimi alaotsikoineen: Katkaisijälähdön relesuojaus

Ohjaaja: Matti Perälä

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 33

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin Harju Elekter Oy:lle tehdyn puistomuuntamotilauksen relesuojausta. Tavoitteena oli selvittää relesuojaukseen vaikuttavat tekijät ja valita toteutukseen soveltuva suojarele sekä piirtää kuvasarja muuntamon toteutusta varten.

Teoriaosuudessa käsitellään sähköverkon kehittämisen näkökohtia ja relesuojauksen tuomia etuja. Lisäksi perehdytään muuntamossa käytettävien kytkinlaitteiden ja mittamuuntajien ominaispiirteisiin ja toimintaan.

Tutkimuksen vertailtiin neljää relettä, joista parhaaksi suojarelevaihtoehdoksi toteutukseen valikoitui Arcteq AQ-F255A-PL0AAAA-B. Rele oli toiminnoiltaan sopiva ja kustannuksiltaan edukas. Puistomuuntamosta piirrettiin kuvasarja Autocad-ohjelmistolla. Piirustukset tehtiin muuntamon pien- ja keskijänniteosioista sekä relekaapista, mihin katkaisijan ohjauksessa käytettävä suojarele asennetaan.

Asiasanat: Suojarele, Katkaisija, Mittamuuntaja, Sähkönjakelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Ville Seppälä

Title of thesis: Protection of a circuit breaker

Supervisor: Matti Perälä

Year: 2025

Number of pages: 33

The thesis studied the relay protection of a vacuum circuit breaker installed in a park transformer substation. The purpose was to identify different factors that affect relay protection. Drawings had to be made for the park transformer substation and a protective relay had to be selected for the implementation.

The theory part studied the development of the electrical grid, which can be achieved through better protection systems. The properties of current and voltage transformers and the operating principles of switchgear were examined.

As a result, drawings of the park transformer station were obtained and a protective relay suitable in terms of function and cost was selected. The drawings included wiring diagrams for the protective relay and drawings of low and medium voltage devices. The relay was chosen from four options. The selected relay was manufactured by Arcteq and its model was AQ-F255A-PL0AAAA-B.

Keywords: relay protection, circuit breaker, current transformer, electrical grid

SISÄLTÖ

| | |
|---|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä | 2 |
| Thesis abstract | 3 |
| SISÄLTÖ | 4 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo | 6 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet..... | 7 |
| 1 JOHDANTO | 8 |
| 1.1 Työn tausta | 8 |
| 1.2 Työn tavoite..... | 8 |
| 1.3 Työn rakenne | 8 |
| 1.4 Yritys | 8 |
| 2 TEORIAA..... | 9 |
| 2.1 Verkkoliiketoiminnan valvonta | 9 |
| 2.2 Keskiänniteverkon suojaaminen | 9 |
| 2.3 Kytkinlaitteet | 10 |
| 2.3.1 Tyhjiökatkaisija..... | 11 |
| 2.3.2 Kuormanerotin | 12 |
| 2.4 Mittamuuntajat..... | 12 |
| 2.4.1 Virtamuuntajat..... | 13 |
| 2.4.2 Jännitemuuntajat..... | 15 |
| 2.5 Suojarele | 16 |
| 3 Toteutus..... | 19 |
| 3.1 Työn aloitus | 19 |
| 3.2 Käytetyt komponentit..... | 20 |
| 3.3 Releiden vertailua..... | 25 |
| 3.3.1 Siemens SIPROTEC 7SJ8..... | 26 |
| 3.3.2 Arcteq AQ-F255..... | 26 |
| 3.3.3 Schweitzer engineering laboratories SEL-751 | 27 |
| 3.3.4 ABB REF615 IEC..... | 27 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 3.4 Releen valinta..... | 28 |
| 3.5 Suunnitelmien laatiminen | 28 |
| 4 TULOKSET | 30 |
| 5 YHTEENVETO JA POHDINTA..... | 31 |
| LÄHTEET | 32 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

| | |
|---|----|
| Kuva 1. NAL-erotin valmiina asennettavaksi..... | 20 |
| Kuva 2. Tavridan tyhjiökatkaisija..... | 21 |
| Kuva 3. Erottimen apukoskettimet. | 22 |
| Kuva 4. Maadoitusveitsien apukoskettimet. | 22 |
| Kuva 5. KOLA 06B2 -tyypin kaapelivirtamuuntajia..... | 23 |
| Kuva 6. KOLA 06D2 tyypin kaapelivirtamuuntajia..... | 24 |
| Kuva 7. TJC6 jännitemuuntaja..... | 25 |
| | |
| Kuvio 1. Muuntamon lähtökaavio..... | 19 |
| Kuvio 2. Tyhjiökatkaisijan johdotuskaavio..... | 29 |
| | |
| Taulukko 1. Mittasydämen tarkkuusluokitukset..... | 14 |
| Taulukko 2. Suojaussydämen tarkkuusluokat..... | 15 |
| Taulukko 3. Jännitemuuntajien tarkkuusluokituksia. | 15 |
| Taulukko 4. Suojausmuuntajien lisävaatimukset. | 16 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|---------------------------|---|
| DVG-tiedosto | DVG on tiedostomuoto, jota käytetään Autocad-ohjelmistossa. |
| Galvaaninen erotus | Sähköjärjestelmän kaksi osaa on eristetty toisistaan niin, että varauksenkuljettajat eivät pääse kulkemaan osien välillä. |
| IEC | International Electrotechnical Commission toimii kansainvälisenä sähköalan standardointiorganisaationa. |
| Indusoitua | Johdinsilmukkaan aiheutuu muuttuvassa sähkömagneettisessa kentässä tämän muutosnopeutta vastaava sähkömotorinen voima. |
| Ionisoituminen | Elektronin saadessa riittävästi energiaa se voi irrota atomista kokonaan. Näin atomi ionisoituu. |
| Keskijännite | Keskijännitteellä, 1–36 kV, siirretään sähköä suurjänniteverkosta pienjänniteverkon jakelumuuntajille. |
| Konfiguroida | Asettaa ja ohjelmoida laitteen toiminnot ja arvot. |
| Selektiivinen | Selektiivisessä sähköverkossa verkon suojalaitteet toimivat oikea-aikaisesti niin, että mahdollisimman pieni osa verkosta jää sähköttö. |
| SF6-kaasu | Rikkiheksafluoridi on rikistä ja fluorista koostuva kaasu. Se on myrkytön ja palamaton ja sitä käytetään sähköeristeenä. |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Työn taustana on Harju Elekterille tehty tilaus 20 kV:n puistomuuntamosta, jonka toisiojännite on 0,4 kV. Muuntamalla on tarkoitus lisätä sähkön toimitusvarmuutta yhdessä maakaapeloinnin kanssa. Yksi muuntamon keskijännitelähdöistä oli muita haavoittuvampi sen jatkuessa myöhemmin ilmajohtona. Tämä lähtö haluttiin lisäsuojata tyhjiöverkkokatkaisijalla, jonka ohjaamiseen tarvitaan suojarole.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli suunnitella ja piirtää puistomuuntamon sähkökuvat, sekä selvittää releen valintaan vaikuttavat tekijät. Selvityksen jälkeen releitä ja niiden ominaisuuksia vertailemalla tulisi löytää toteutuksen vaatimuksiin vastaava rele. Releistä saatua tietoa voidaan hyödyntää tulevilla projekteilla.

1.3 Työn rakenne

Tämän opinnäytetyön ensimmäisessä luvussa käydään läpi työn tausta ja tavoitteet. Toisessa luvussa käydään läpi teoriaa muuntamon komponenteista. Seuraavassa luvussa käydään läpi suunnittelua, komponenttien valintaa ja releiden vertailua. Sen jälkeen vuorossa on tulosten esittely ja lopuksi yhteenveto ja pohdintaa.

1.4 Yritys

Toimeksiantaja Harju Elekter Kurikan toimialaan kuuluu keskijänniteverkon muuntamoiden suunnittelu ja valmistus. (Harju Elekter, 2025). Kurikan toimipiste toimi ennen nimellä Finn-kumu, joka fuusioitui osaksi Harju Elekter Oy:tä vuonna 2021. Kurikan toimipiste työllistää noin 40 henkilöä.

2 TEORIAA

2.1 Verkkoliiketoiminnan valvonta

Verkkoliiketoiminnan tiukkoja säädöksiä Suomessa valvoo Energiamarkkinavirasto, joka toimii kauppaja- ja teollisuusministeriön alaisuudessa (Lakervi & Partanen, 2008, s. 19). Valvonnan kohteina ovat yhtiöiden verkkoliiketoiminnasta syntyvä voitto sekä verkon tekninen suoriutuvuus. Verkkoyhtiöiden voitolle on asetettu maksimitaso, johon vaikuttaa suuresti verkkoon sidottu pääoma. Yhtiöt haluavat voitoille asetetun maksimitason mahdollisimman korkealle. Sidotun pääoman lisäksi voittotasoon vaikuttaa verkon tehokkuusmittaus, jossa sähkön laadun valvonta on olennainen osa. Suomessa ja Norjassa verkkoyhtiöiden on mahdollista kasvattaa investointeja ja voittoja vähentämällä keskeytyskustannuksia. Suurentuvat keskeytyskulut puolestaan vaikuttavat päinvastoin.

Taloudellisen valvonnan osaksi sähkön laadun valvonta otettiin vuosien 2008 ja 2011 välisellä seurantajaksolla (Lakervi & Partanen, 2008, s. 20). Keskeytyskustannukset kuvaavat sähkönlaatua, joka vaikuttaa sallitun liikevaihdon suuruuteen. Suomessa on osana taloudellista valvontaa käytössä myös vakiokorvausmenettely. Tämä velvoittaa verkkoyhtiön maksamaan käyttäjälle korvausta, mikäli sähkönjakelu estyy yli 12 tunniksi.

2.2 Keskijänniteverkon suojaaminen

Sähköverkon suunnittelussa pitää olla hyvä tietämys tulevasta, jotta suunnittelun tuloksena saaduista vaihtoehdoista kyetään valitsemaan parhaat aikaa vievät suuret ratkaisut ja välittömästi toteutettavissa olevat pienemmät, mutta vaikuttavat toteutukset (Lakervi & Partanen, 2008, s. 126). Sähköverkon kehittämiseen on monia erilaisia tarpeita ja metodeja aina uusien sähköasemien rakentamisesta metsänhoidollisiin toimenpiteisiin sähkölinjojen läheisyydessä. Verkon kehittämisellä pyritään parantamaan käyttövarmuutta, jännitteen laatua ja jakelujärjestelmän taloudellisuutta.

Kauko-ohjattuja suojarleavusteisia katkaisijoita on mahdollisuus käyttää keskijänniteverkossa (Lakervi & Partanen, 2008, s. 152). Näin asiakkaalle aiheutuvat sähkön toimituskatkot vähenevät ja ovat lyhyempikestoisia. Katkaisijan jälkeisen sähköverkon pituus

vaikuttaa ilmenevien vikojen lukumäärällä, jolla puolestaan on suora yhteys lisättävillä katkaisijoilla saavutettavaan hyötyyn. Viat, jotka tapahtuvat katkaisijan jälkeen, eivät aiheuta sähkövirran keskeytymistä katkaisijaa edeltävässä verkossa.

Pikajälleenkytkentöjen yhteydessä ilmenee jännitekuoppia, jotka lyhyiden keskeytysten taapaa saattavat aiheuttaa haittaa sähkölaitteille (Pakonen ym., 2022, s. 10). Jälleenkytkentöjä on kolmenlaisia: pika-, aika- ja kokeilujälleenkytkentä. Ongelman ilmetessä yleisenä käytäntönä on suorittaa yksi pikajälleenkytkentä noin 0,3–0,5 sekunnin kuluttua katkosta. Jos ongelma ei tällä ratkea, käytetään aikajälleenkytkentää, joka tapahtuu automaattisesti 0,5–2 minuuttia katkon jälkeen. Ongelman jatkuessa voidaan tehdä kokeilujälleenkytkentöjä manuaalisesti tai automaattisesti halutun aikamäärän kuluttua. Eri verkkoyhtiöillä on kuitenkin erilaisia käytäntöjä ja tapauskohtaisia tarpeita jälleenkytkentöjä varten. Näin ollen sähkölaitteille voi lyhyen ajan sisällä aiheutua useita jännitekuoppia.

Jännitekuopaksi määritellään tila, jossa jännite laskee 1–90 prosenttiin normaalista jännitteestä (Energiateollisuus, 2024). Jännitekuoppa syntyy äkillisesti ja kestää 0,01 s–3 min ajan. Jännitekuoppien yleisin syy on verkon vikaantuminen, mutta myös suuren kuorman kytkemisestä voi aiheutua suuri jännitteen alenema. Keski-jänniteverkossa tapahtuvat vaihekohtaiset viat voivat heijastaa läheisiin johtolähtöihin jännitekuoppia.

2.3 Kytkinlaitteet

Kytkinlaitteilla voidaan ohjata sähköenergian kulkua, mikä on tarpeellista useissa tilanteissa (Elovaara & Haarla, 2011, s. 161). Niillä kyetään katkaisemaan yhteys sähköverkon eri osien välillä ja eristämään tehokkaasti vikaantunut paikka materiaali- ja henkilövahinkojen välttämiseksi.

Kytkinlaitteilla suoritetaan kuormittamattomien ja kuormitettujen johtojen kytkentöjä ja vikavirtojen katkaisuja (McDonald, 2012, s. 50). Sopivaa kytkinlaitetta valittaessa pitää huomioida kuormitusvirtojen ja vikavirtojen suuruus ja kesto. Laitteita määritettäessä on myös otettava huomioon järjestelmä- ja huoltotoimenpiteet.

2.3.1 Tyhjiökatkaisija

Katkaisijoilla voidaan tarpeen mukaan ohjata virtapiiriä auki ja kiinni. Niitä voidaan ohjata automaattisesti sekä manuaalisesti (Elovaara & Haarla, 2011, s. 162). Yleisin syy automaattiohjaukseen on oikosulun tai maakosketuksen aiheuttama ylivirta, jolloin katkaisija avautuu. Katkaisijan ohjauksesta vastaa tässä tapauksessa rele virtapiiriin kytkettyjä mittamuuntajia hyödyntäen. Katkaisijalle on ominaista sen kyky avata ja sulkea mitoitusvirtaa moninkertaisesti suurempi oikosulkuvirta ilman vaurioita.

Tyhjiökatkaisijan rakenne on hyvin yksinkertainen. Siinä on tiivis tyhjiösäiliö, jonka sisällä on kiinteä kosketin ja ohjattava kosketin (Elovaara & Haarla, 2011, s. 182). Tässä katkaisijatyypissä kosketinten erotessa toisistaan kosketinpinnoilta höyrystyy valokaaren voimasta ionisoitunut metallipilvi, johon valokaari jää palamaan. Metallipilven ionisaatio loppuu ja se kasautuu, kun virran kulku lakkaa. Tyhjiö estää hyvin jännitteen läpilyöntejä, mikä mahdollistaa riittävän jännitelujuuden lyhyellä 5–15 mm:n avausvälillä. Kosketinpintojen elektrodiaineiden ominaisuudet, kuten höyrystymispiste ja terminen johtavuus määrittävät valokaaren syntymisen ja sammumisen.

Käyttäjän näkökulmasta tyhjiökatkaisija on rakenteellisesti hyvin yhtenevä konventionaalisten katkaisijoiden kanssa (Elovaara & Haarla, 2011, s. 182). Katkaisijavalmistajat suunnittelevat tyhjiökatkaisijat vaihtokelpoisiksi omien öljy- tai vähäöljykatkaisijoiden kanssa. Katkaisuyksikkö on huoltovapaa. Sähköisesti sen elinikä on 10 000–20 000 kytkentää mitoitusvirralla ja täyttä oikosulkuvirtaa se kestää 20–100 kertaa. Katkaisijoissa hyödynnetään yleensä moottorijousiohjainta. Sekä katkaisijan että ohjain kestävät mekaanisesti 10 000–30 000 kytkentää. Ainoa laitteistolle tarvittava huoltotoimenpide on ohjauslaitteen voitelu kerran kymmenessä vuodessa, mikä lisää katkaisijan taloudellista kilpailukykyä.

Tyhjiökatkaisija soveltuu hyvin jälleenkytkentöihin (Elovaara & Haarla, 2011, s. 184). Vian ilmetessä jälleenkytkijänä toimiva katkaisija tekee pikajälleenkytkennän, ja mikäli vika on poistunut, se säilyy kytkettynä. Jälleenkytkentöjä voidaan suorittaa muutamaan otteeseen, mutta mikäli vika ei poistu asetettujen jälleenkytkentöjen puitteissa, katkaisia lukittuu auki asentoon.

2.3.2 Kuormanerotin

Erottimella pyritään nimensä mukaisesti erottamaan osa virtapiiristä luotettavalla avausvä-
lillä. Tämä takaa turvallisen työskentelyn jännitteettömänä halutussa paikassa (Elovaara &
Haarla, 2011, s. 190). Vaatimukset erottimen avausvälille ovat tiukat. Avausvälin tulee olla
silmillä havainnoitavissa, joko suoraa erottimesta tai varmatoimisesta mekaanisesta ti-
lanosoittimesta. Lisäksi erottimen avausväliltä vaaditaan muuta ympäröivää eristystä kor-
keampaa jännitelujuutta. Erotin on suunniteltu toimimaan näiden turvallisuuskriteerien mu-
kaisesti.

Erotin ei sovellu sulkemaan tai avaamaan kuormitettua sähköverkkoa, joten virran kyt-
kentä- ja katkaisuominaisuuksille ei ole vaatimuksia (Elovaara & Haarla, 2011, s. 190). On
kuitenkin mahdollista erottaa tyhjäkäyvä muuntaja, lyhyt kiskosto tai johto. Nopean ohjatun
erottimen virran sulkukyky on joitain ampeereita. Erotin pitää pystyä lukitsemaan eri asen-
toihin virheellisen käytön aiheuttamien vaaratilanteiden välttämiseksi. Erottimen tulee kyt-
kettynä voida johtaa kuormitus- ja oikosulkuvirtoja ilman ongelmia.

Sisälle asennettavat erottimet ovat usein kolminapaisia veitsierottimia yhtenäisellä rungolla
(Elovaara & Haarla, 2011, s. 195). Kuormaerottimeen on asennettu jousilaite nopeaan ero-
tukseen ja kahdet vaihekohtaiset koskettimet. Avaushetkellä erottimen pääkoskettimet
avautuvat ensin ja välittömästi tämän jälkeen avautuvat valokaarikoskettimet. Pääkosketti-
met toimivat ensin myös erotinta suljettaessa. Valokaaren sammutukseen voidaan hyö-
dyntää niin sanottua kovakaasuefektia, jossa sammutuskammiosta höyrystyvien teflon- tai
valuhartsikaasujen viileys sammuttaa valokaaren. Toinen vaihtoehto on jäädyttää valo-
kaarta erottimen liikkeestä saadulla ilmavirralla autopneumaattisesti. Joissain tapauksissa
käytetään SF₆-kaasua tai öljyä.

2.4 Mittamuuntajat

Mittamuuntajilla mitataan verkon jännitettä ja virtaa, ja niillä on tehtävänsä soveltuva ra-
kenne (Elovaara & Haarla, 2011, s. 198). Suurjännitteinen pääpiiri erotetaan galvaanisesti
mittauspiiristä. Mittamuuntajat muuntavat sähkömitta- ja suojareleille sopiviksi. Ne myös
mahdollistavat keskitetyn mittauksen, jolloin mittarien ja releiden asennus tapahtuu etääm-
mälle mitattavasta virtapiiristä.

Tavallisten muuntajien tarkastelussa käytettyä sijaiskytkentää on mahdollista hyödyntää myös mittamuuntajien ominaisuuksia tutkittaessa (Elovaara & Haarla, 2011, s. 198). Mittamuuntajien poikkeukselliset toisiokäämit on kuitenkin huomioitava. Mittausalueella, jolle mittamuuntaja on suunniteltu, tulee sen toisintaa mittaustulos mahdollisimman tarkasti. Mittaustarkkuuteen vaikuttavat negatiivisesti käämityksen hajaimpedanssi ja tyhjäkäyntivirta, jotka aiheuttavat virta-, jännite- ja kulmavirheitä mittaustuloksiin.

2.4.1 Virtamuuntajat

Virtamuuntajille tärkeitä mitoitusarvoja ovat eristystaso sekä mitoitusensiövirta (Långland ym., 1991, s. 209). Eristystaso ilmaisee virtamuuntajan jännitekestoisuutta. Mitoitusensiövirralle on määritelty joukko arvoja IEC-standardissa: **10–12,5–15–20–25–30–40–50–60–75 A**, joista lihavoidut ovat suositeltavimpia käyttää. Käytössä on myös standardiarvojen kymmenpotenssikerrannaiset. Samassa virtamuuntajassa saattaa olla useampia sydämiä, joiden ensiövirrat voivat olla erilaiset. Mitoitustoisiovirralla on käytössä standardoidut arvot 1 A, 2 A ja 5 A, joista 1 A ja 5 A ovat yleisimpiä.

Virtamuuntajille on määritelty mitoitustaakka, joka on suurin toisiopiirin kuormitusimpedanssi, jolla se voi toimia tarkkuusvaatimustensa mukaisesti (Elovaara & Haarla, 2011, s. 200). Taakka ilmaistaan tehona kuormitusimpedanssia ja toisiopiirin mitoitusvirtaa hyödyntäen kaavalla:

$$S_R = Z_R * I_{SR}^2 \quad (1)$$

missä

S_R on mitoitustaakka tehona ilmaistuna

Z_R on kuormitusimpedanssia

I_{SR} on toisiopiirin mitoitusvirta.

Mitoitustaakkaan lasketaan kojeiden ja johtimien impedanssi, ja sille on useita vaihtoehtoja 2,5–30 VA:n väliltä (Långland ym., 1991, s. 210). Sisätaakka kuvaa muuntajan toisiokäämin sisäistä impedanssia ja se ilmoitetaan mitoitustaakan tavoin tehona.

Virtamuuntajassa voi olla useampia sydämiä (Långland ym., 1991, s. 210). Kaikilla sydämillä on sama ensiökäämi, mutta omat toisiokääminsä. Sydämiä voidaan kutsua käyttötarkoituksen mukaisesti mittaus- tai suojaussydämeksi. Mittaus sydämen tarkkuusluokituksessa arvioidaan virtamuuntajassa tapahtuvia virta- ja kulmavirheitä (taulukko 1). Virtavirhe lasketaan kaavalla:

$$\text{Virtavirhe} = \frac{k_n I_s - I_p}{I_p} * 100\% \quad (2)$$

missä

- k_n on mitoitusmuuntosuhde
- I_p on todellinen ensiövirta ja
- I_s on todellinen toisiovirta.

Kulmavirheellä tarkoitetaan ensiö- ja toisiovirtojen vaihe-eroa, ja se mielletään positiiviseksi, mikäli toisiovirta kulkee ensiövirran edellä.

Taulukko 1. Mittasydämen tarkkuusluokitukset (Långland ym., 1991, s. 211).

| $I_p = I_{pn} \times$ | Virtavirhe +/- % | | | | | Kulmavirhe +/- % | | | |
|-----------------------|------------------|------|-----|-----|-----|------------------|-----|-----|-----|
| | 0,05 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | 1,2 | 0,05 | 0,2 | 1,0 | 1,2 |
| Luokka | | | | | | | | | |
| 0,1 | 0,4 | 0,2 | | 0,1 | 0,1 | 15 | 8 | 5 | 5 |
| 0,2 | 0,75 | 0,35 | | 0,2 | 0,2 | 30 | 15 | 10 | 10 |
| 0,5 | 1,5 | 0,75 | | 0,5 | 0,5 | 90 | 45 | 30 | 30 |
| 1 | 3,0 | 1,5 | | 1,0 | 1,0 | 180 | 90 | 60 | 60 |
| 3 | | | 3,0 | | 3,0 | | | | |
| 5 | | | 3,0 | | 3,0 | | | | |

Suojaussydämille on määritelty tarkkuuskerroin, joka kuvaa tarkkuusrajavirran ja mitoitus-ensiövirran suhdetta (Långland ym., 1991, s. 213). Tarkkuusvirta määräytyy yhdistetyn virheen mukaan, kun virhe luokassa 5P on 5 % ja luokassa 10P 10 %. Tarkkuusrajakerroin saatetaan releen toiminnan kannalta valita suureksi. Tarkkuusrajakerroinelle on standardoidut arvot 5, 10, 15, 20 ja 30. Tarkkuusrajakerroin merkitään suojausvirtamuuntajassa samassa yhteydessä luokkamerkinnän jälkeen esim. 5 P 5, jossa tarkkuusluokka on 5 P ja tarkkuuskerroin 5.

Suojareleen moitteettoman toiminnan edellyttämiseksi virtamuuntajien tulee kaikissa tilanteissa taata releen tarvitsema toimintavirta (Långland ym.,1991, s. 213). Virtamuuntajat eivät saa kuitenkaan toisintaa ensiövirtaa virheellisesti, mikä aiheuttaisi suojareleen aiheettoman toimimisen.

Virtamuuntajat ovat kelvolliset tehtäväänsä, mikäli ne pystyvät toisintamaan releeseen asetetun suurimman oikosulkuvirran arvon moitteetta (Långland ym.,1991, s. 213). Yleisesti suositeltavia arvoja virtamuuntajalle ovat 10P tarkkuusluokaksi ja 10 tarkkuusrajaker-toimeksi. Ylikuormitussuojaukseen valitaan tarkkuusluokan 5P, koska ylikuormitussuojauksen toiminta edellyttää parempaa toisintamistarkkuutta (taulukko 2).

Taulukko 2. Suojaussydämen tarkkuusluokat (Långland ym.,1991, s. 213).

| Luokka | Mitoitusensiövirtaa- ja taakkaa vastaavat | |
|--------|---|------------|
| | Virtavirhe | Kulmavirhe |
| 5P | +/- 1 % | +/- 60min |
| 10P | +/- 3 % | - |

2.4.2 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajat on jaoteltu käyttötarkoituksen mukaisesti mittaus- ja suojausjännitemuuntajiin (Elovaara & Haarla, 2011, s. 215). Jännitemuuntajien tarkkuuden tärkeimmät arvot ovat jännitevirhe ja kulmavirhe (taulukko 3).

Taulukko 3. Jännitemuuntajien tarkkuusluokituksia (Elovaara & Haarla, 2011, s. 217).

| Luokka | Jännitevirhe | Kulmavirhe |
|--------|--------------|------------|
| 0,1 | +/- 0,1 % | +/- 5 min |
| 0,2 | +/- 0,2 % | +/- 10 min |
| 0,5 | +/- 0,5 % | +/- 20 min |
| 1 | +/- 1,0 % | +/- 40 min |
| 3 | +/- 3,0 % | - |

Jännitevirhe lasketaan seuraavasti:

$$F_u = \frac{k_n U_s - U_p}{U_p} * 100\% \quad (3)$$

missä

F_u on jännitevirhe

- k_n on mitoitusmuuntosuhde
 U_s on toisiojännitteen tehollisarvo ja
 U_p on ensiojännitteen tehollisarvo.

Kulmavirhe selvitetään virtamuuntajien tapaan vertailemalla muuntajan ensiö- ja toisio-
 käämin kulmaeroja (Elovaara & Haarla, 2011, s. 215). Jännitemuuntajien kestoisuutta ku-
 vataan mitoitusjännitekertoimella. Se kertoo suurimman jännitteen, jota jännitemuuntajan
 tulee kestää vaaditun ajan. Muuntajan ensiökäämin kytkentä ja sähköverkon maadoitus
 vaikuttavat jännitekertoimen suuruuteen. Suojaukseen käytettävien muuntajien pitää pys-
 tyä toisintamaan mittaustulos riittävällä tarkkuudella jännitekertoimen asettamaan arvoon
 saakka (taulukko 4).

Taulukko 4. Suojausmuuntajien lisävaatimukset (Elovaara & Haarla, 2011, s. 217).

| Luokka | Jännitevirhe | Kulmavirhe |
|--------|--------------|-------------|
| 3 P | +/- 3,0 % | +/- 120 min |
| 6 P | +/- 6,0 % | +/- 240 min |

Keskijännitteellä käytetään pääosin rautasydämellä varustettuja induktiivisia jännitemuun-
 taja (Långland ym., 1991, s. 222). Induktiiviset jännitemuuntajat voidaan jakaa rakenteelli-
 sestä kahteen tyyppiin riippuen ensiökäämin kytkentätavasta. Yksinapaisesti eristetyt
 muuntajat kytketään vaiheen ja maan väliin. Yksinapaisia muuntajia käytettäessä jokai-
 selle vaiheelle tulee olla oma muuntaja. Niiden avulla voidaan ilmaista verkon nolajännite.
 Kaksinapaisesti eristetyt muuntajat kytketään kahden vaiheen välille. Kaksinapaisia muun-
 taja käytettäessä voidaan kahdella muuntajalla suorittaa mittauksia v-kytkennän avulla. V-
 kytkennästä ei kuitenkaan selviä verkon nolajännite.

2.5 Suojarele

Relesuojauksella pyritään nopeaan ja luotettavaan toimilaitteiden ohjaukseen (Elovaara &
 Haarla, 2011, s. 342). Ohjauksen tulee olla selektiivinen ja toimia mahdollisimman hyvin
 eri tilanteissa. Selektiivisessä verkossa kaikki osat on relesuojattu ja mahdollista erottaa
 vian sattuessa niin, että loppukäyttäjän kokema sähkönjakelun keskeytys olisi mahdolli-
 simman lyhyt.

Releiden toiminta-arvoja asetettaessa on tiettyjä perusasioita, jotka edistävät suojauksen oikeaa toimintaa. Kun releen toiminta halutaan varmistaa esimerkiksi vikavirtatilanteessa, mitattava suure kerrotaan jollain yhtä pienemmällä luvulla, esimerkiksi kertoimella 0,8. Jos taas halutaan estää releen aiheeton laukaisu, kerrotaan haluttu suure yhtä suuremmalla luvulla esimerkiksi 1,2:lla.

Relesuojauksen luotettavuuteen vaikuttaa releen toiminta- ja käyttövarmuus (Elovaara & Haarla, 2011, s. 343). Toimintavarmuudella tarkoitetaan releen kykyä välttää virhelaukauksia. Releen ei tule toimia, mikäli sille asetettuja arvoja ei ylitetä. Käyttövarmuudella puolestaan kuvataan releen toimintaa suojausalueelle sattuneen vian takia: releen tulee toimia vian ilmetessä. Relesuojauksen luotettavuus on tärkeää, koska sillä saadaan lyhennettyä vika-aikoja. Pahimmillaan huono rele asettelu voi aiheuttaa verkkoon suurhäiriön tai stabiiliuden menettämisen.

Suojareleen toiminta perustuu erilaisten mittaussuureiden tarkkailuun (Elovaara & Haarla, 2011, s. 344). Releen tila säilyy muuttumattomana, mikäli sen tarkkailema mittasuure pysyy halutulla raja-alueella. Mikäli raja-alue ylittyy, rele havahtuu. Pian releen havahduttua se ohjaa katkaisijan auki ja lähettää tapahtumasta hälytyksen. Mitatun suureen normalisoiduessa rele palautuu. Releen toiminta-aika on aika, joka kuluu releen havahtumisesta sen toiminnan aloittamiseen. Releelle voidaan asettaa hidastus toiminta-ajan pidentämiseksi. Mittasuureen normalisoitumisen ja releen palautumisen välistä aikaa kutsutaan palautumisajaksi. Erotusaika kuvaa aikaa, joka kuluu vian alkamisesta vikaantuneen verkon osan erottamiseen.

Staattiset releet aiheuttavat vähäisen noin 0,5 VA:n kuormituksen mittauspiirille, koska ne saavat apusähköä erillisestä lähteestä (ABB, 2000, s. 15). Apusähköä ne kuluttavat lepotilassa noin kolme wattia ja toimiessaan noin kahdeksan wattia. Mekaaniset releet puolestaan hyödyntävät mittauspiirin energiaa, ja kuormittavat sitä jopa 15 VA:lla.

Numeeriset releet käyttävät numeerista tietoa, joten mittauksista saatu analoginen tieto muunnetaan digitaaliseksi A/D-muuntimen avulla (ABB, 2000, s. 15). Releessä on mikroprosessori, joka suorittaa kaikki mittaus- ja suojaustoimintonsa. Numeeriset releet ovat tarkkoja ja hyvin monipuolisia. Niiden helposti luettavia asetteluarvoja voidaan digitaalisesti

muuttaa halutunlaisiksi. Numeerisiin releisiin on sisään asennettu loogisia toimintoja, jotka lisäävät releiden käyttömahdollisuuksia. Vikatilanteiden tarkastelun helpottamiseksi releet tallentavat vikatilanteiden mittaustulokset. Suojauksen luotettavuutta parantaa releen itsevalvonta. Itsevalvonta tarkastelee releen omaa toimintaa ja antaa hälytyksen, mikäli toiminnassa on poikkeavuuksia. Näin rele voidaan mahdollisimman nopeasti vaihtaa tai korjata.

Suojareleillä on useita nimityksiä, jotka kuvaavat releen toimintaa ja mitattuja suureita (ABB, 2000, s. 15). Releet vastaavat rakenteeltaan ja asettelumahdollisuuksiltaan nimensä mukaiseen tehtävään. Suojaukseen saatetaan myös käyttää yhdistelmäsuojarelettä, joka sisältää useampia tarpeellisia toimintoja. Avojohtoverkoissa käytetään usein pikajälleenkytkentärelettä usein tapahtuvien valokaarin varalta. Valokaariviat häviävät nopeasti ja verkon osa saadaan nopeasti uudelleen toimintaan.

Suojarelettä valittaessa pitää huomioida useita asioita käyttötarkoitukseen, luotettavuuteen ja kustannuksiin liittyen (ABB, 2000, s. 17). Pitää huomioida muiden toisilaitteiden kanssa syntyvä vaikutus mittamuuntajiin. Releelle pitää pystyä asettelemaan normaalintilan ja virhetilan alueet. Releen tulee toimia riittävän tarkasti ja porrastetusti. Releellä on oltava riittävä määrä tarkoituksenmukaisia I/O-liittimiä automaatio-ohjauksia ja tilatietoja varten. Huomioitavaa on myös releen vaatima käyttöjännite ja sen luotettavuus.

yksi ylimääräinen keskijännitekenno, johon ei alustavasti tarvittu erotinta. Kennoon voidaan kuitenkin jälkikäteen asentaa erotin, mikäli tarve lisälähdölle syntyy.

3.2 Käytetyt komponentit

Kuormanerottimeksi käytettiin ABB:n valmistamaa, keskijännitteelle suunniteltua ja sisätiloihin asennettavaa NAL-erotinta (kuva1) (ABB, 2024, s. 2). Ne ovat jousiavusteisia erottimia, joita voidaan ohjata manuaalisesti kiertokammen välityksellä tai kauko-ohjattuna moottorin avulla. Toiminnaltaan luotettavina ja pitkäikäisinä ne ovat varma ja järkevä valinta. NAL-erotin pystyy toimimaan jopa $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa, joten ne selviävät hyvin myös Suomen kylmästä talvesta. Valokaaren sammuttamiseksi käytössä on kaksiosainen systeemi, josta toinen on autopneumaattinen puhallus, ja toinen virran suuruudesta riippuvainen hart-kaasu-efekti.



Kuva 1. NAL-erotin valmiina asennettavaksi.

Lähdön suuntaan toisena kytkinlaitteena asennettiin Tavidan mallia ISM25_LD_1 oleva tyhjiökatkaisija (kuva 2). Se on kolmivaiheinen ja soveltuu 20 kV:n jännitteelle (Tavrida Electric, i.a.). Katkaisijan ohjauksessa hyödynnetään jousia ja sähkömagnetismia, mikä varmistaa laitteen nopean ja luotettavan toiminnan. Sillä on korkea käyttöikä, jonka aikana suoritetaan jopa 150000 ohjausta ilman tyhjiösäiliön alipaineen menettämistä. Kyseinen

katkaisija on fyysisiltä mitoiltaan kilpailijoitaan pienempi, minkä vuoksi se soveltuu hyvin puistomuuntamon rajalliseen sisätilaan asennettavaksi.

Katkaisijan yhteydessä asennetaan relekaappiin Tavridan valmistama ohjausyksikkö CM16. Ohjausyksikkö on tukevarakenteinen ja se voidaan yksinkertaisella johdotuksella asentaa haluttuun paikkaan. Ohjausyksikkö suorittaa itsevalvontaa, mikä nopeuttaa vikojen korjaamista ja vähentää näin sähköverkon häiriötilanteita.

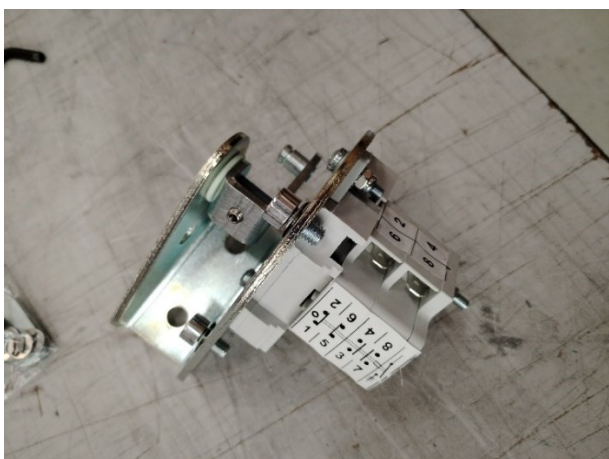


Kuva 2. Tavridan tyhjiökatkaisija.

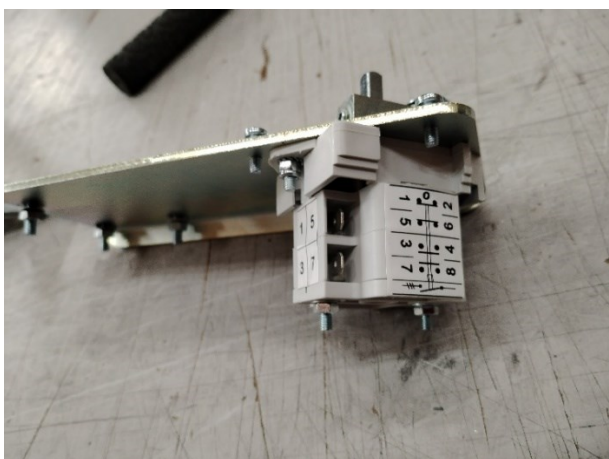
Katkaisijan kyljessä on kaksi kytkentäkotelo, joiden sisällä sijaitsevat ohjauksen ja tilatietojen liittimet. Katkaisijan johdottamiseen käytettiin kahta Gamaflex 7x1,5 mm²-kaapelia. Ensimmäistä kaapelia käytettiin katkaisijan ohjauksen toteuttamiseen. Sen kaksi ensimmäistä johdinta kytkettiin magnetointipiiriin ja kaksi seuraavaan asennon osoittimeen. Toisen kaapelin johtimet kytkettiin apukosketinten liittimille. Paluutietona saadaan kahden avautuvan, ja kahden sulkeutuvan apukoskettimen tieto.

Tyhjiökatkaisijan alapuolelle asennettiin ABB:n valmistamat maadoitusveitsiset, jotka on suunniteltu toimimaan yhdessä NAL-erottimen kanssa. Maadoitusveitsien avulla voidaan helpokäyttöisesti varmistaa lähdön työmaadoitus. Maadoitusveitsien ohjaamiseen käytetään erottimen tapaan kiertokampea. Erottimen ja maadoitusveitsien välille asennettiin mekaaninen lukituslaite, joka estää niiden yhtäaikaisen sulkeutumisen aiheuttaman oikosulun.

Asiakkaalla oli tarve saada katkaisijan lisäksi tilatiedot myös lähdön kuormaerottimelta sekä maadoitusveitsiltä. Tilatietojen keräämiseksi asennettiin erotinvalmistajan toimittamat apukoskettimet (kuva 3) (kuva 4) (ABB, 2024, s. 21). Apukoskettimet kiinnitettiin ensin mekaanisesti laitteiden runkoihin, minkä jälkeen niiden vipuvarret liitettiin asianmukaisesti toimilaitteiden akseleihin. Valmistajan apukosketinvaihtoehdoista käytettiin yksinkertaisempaa vaihtoehtoa, joissa on kahdet avautuvat ja kahdet sulkeutuvat koskettimet. Apukoskettimet toimivat 24 V:n tasavirralla ja kestävät myös 230 V:n vaihtovirtaa.



Kuva 3. Erottimen apukoskettimet.



Kuva 4. Maadoitusveitsien apukoskettimet.

Muuntamon katkaisijälähdön vaihekohtaisten virtojen mittaamiseksi asennettiin ABB:n valmistamat KOLA 06B2 -kaapelivirtamuuntajat (kuva 5). Muuntajat ovat rengasmaisia ja halkaisijaltaan 100 mm (ABB, 2022, s. 2). Muuntajien ensiövirta on 150 A ja toisiovirta 1 A. Tyypiltään ne ovat 10P10 ja kuormitettavuudelta 2 VA. Maasta nouseva kaapeli tuodaan rengasmaisen muuntajan läpi, jolloin muuntajan indusoituu kaapelissa kulkeva virta. Kaapelin kuoren alla kauttaaltaan kulkeva maadoituspunos tuodaan takaisin virtamuuntajarenkään lävitse, ettei se vääristä mittaustulosta. Muuntajien rengassydän on mahdollista avata, mikä mahdollistaa vaivattoman asennuksen. Nämä muuntajat ovat hyviä maasulun ilmaisemiseen ja ongelmapaikan rajaamiseen. Virtamuuntajat johdotettiin Gamaflex 3x2,5 mm² -kaapelilla, jonka ensimmäinen johdin kytkettiin liittimeen S1 ja johdin kaksi sekä keltavihreä maadoitusjohdin liittimeen S2.



Kuva 5. KOLA 06B2 -tyypin kaapelivirtamuuntaja.

Muuntamoon asennettiin myös ABB:n valmistama KOLA 06D2 -virtamuuntaja mittaamaan kaapelin summavirtaa (kuva 6). Summavirtamuuntaja on rakenteeltaan vastaavanlainen kuin vaihekohtaisen muuntajat, mutta halkaisijaltaan suurempi, 180 mm (ABB, 2022, s. 2).

Summamittauksessa käytettiin tarkempaa tyyppin 5P10 muuntajaa, jonka kuormitettavuus on 0,5 VA. Muuntajan ensiövirta on 100 A ja toisiovirta 1 A. Lähdön kaikki kolme vaihetta tuodaan summavirtamuuntajan lävitse. Normaalityössä erivaiheiset virrat kompensoivat toisensa, jolloin mittaustulos on lähellä nollaa. Summavirtamuuntaja johdotettiin vaihekoh- taisten virtamuuntajien tapaan Gamaflex-kaapelilla ja samoilla liittimillä.



Kuva 6. KOLA 06D2 -tyypin kaapelivirtamuuntaja.

Muuntamon keskijännitekiskoston yhteyteen asennettiin ABB:n valmistamat TJC6-malliset jännitemuuntajat (kuva 7). Muuntajien muuntosuhde on $20\ 000:\sqrt{3} / 100:\sqrt{3} / 100:3$ V ja taa- kan sieto 25 VA (ABB, 2021, s. 2). Tarkkuusluokaltaan jännitemuuntajat ovat 0,2 ja li- säsuojausluokaltaan P6. Muuntajat ovat yksinapaisia ja niitä asennettiin kolme kappaletta yksi kiskoston jokaiselle vaiheelle. Jännitemuuntajien johdotuksessa käytettiin Gamaflex $7 \times 2,5$ mm² -kaapelia. Kaapelin kolme ensimmäistä johdinta kytkettiin muuntajien mittaus- käämien a-liittimiin ja johdin neljä ketjutettiin mittauskäämien n-liittimeltä toiselle. Johdin viisi kytkettiin ensimmäisen muuntajan avokolmiokäämin da-liittimeen ja johdin kuusi vii- meisen muuntajan dn-liittimeen. Lisäksi samaan dn-liittimeen kiristettiin maadoitusruuvi,

jolloin avokolmiokytkentä oli valmis. Avokolmiopiiriin kytkettiin myös vaimennusvastus, joka asennettiin relekaapin päälle. Mittamuuntajien johdotuksessa käytetty Gamaflex on häiriösuojattua kaapelia, eli sen päällimmäisen eristekerroksen alla on johdinpunos, joka ehkäisee mittaustulosten häiriintymistä.



Kuva 7. TJC6-jännitemuuntaja.

3.3 Releiden vertailua

Sopivan releen valinnassa ensisijaisen tärkeää on varmistua releen soveltuvuudesta kohteeseen. Releessä tulee olla pikajälleenkytkentä-mahdollisuus katkaisijan ohjaamiseksi. Releen pitää pystyä lukemaan mittamuuntajien sille syöttämää virta- ja jännitetietoa. Katkaisijan ja muiden tarvittavien tilatietojen saamiseksi input-liittimiä pitää olla riittävästi. Vastavasti pitää olla riittävästi output-liittimiä toimilaitteiden ohjaamiseen. Rele kykenee itsenäiseen toimintaan, mutta siihen pitää olla yhteys, jolla sitä voidaan ohjata myös etäältä.

Asiakas halusi releelle Ethernet-liitännän, jolla se myöhemmin asiakkaan toimesta liitettäisiin haluttuun etäyhteyslaitteeseen. Tärkeä tekijä on tietysti myös hinta.

3.3.1 Siemens SIPROTEC 7SJ8

Siemensin valmistama SIPROTEC 7SJ8 -rele on toiminnoiltaan hyvin monipuolinen (Siemens, 2024, s. 1). Se on ohjelmallisesti mahdollista asettaa tunnistamaan kaikki halutut verkon häiriöt, kuten ylivirta tai maasulku, ja paikantamaan ne. Releen konfiguroimiseen käytetään DIGSI 5 -ohjelmistoa. Releellä kyetään toteuttamaan sekä yksi- että kolmevaiheinen pikajälleenkytkentä. Releellä on valmiudet neljälle jännitemittaukselle ja neljälle virtamittaukselle. Binäärisiä sisääntuloja on tarpeen mukaan valittavissa 11–59 kappaletta. Ohjaukseen käytettäviä lähtöjä on 9–33 kappaletta. Releeseen on tehty monipuoliset kommunikaatiomahdollisuudet. Vakiona siinä on Ethernet-kaapelin liitäntä ja kaksi optista liitäntää nopeiden sähköverkon uudelleen järjestelyiden tueksi. Lisäksi erillisillä lisämoduuleilla kommunikaatioprotokollien kirjo on laaja.

Siprotecin monipuolisuus ja helppo ohjelmallinen mukauttaminen tarjoavat hyvät käyttömahdollisuudet. Monipuolisten kommunikaatio-ominaisuuksien kanssa sillä saataisiin toteutettua laajoja ja monimutkaisia verkkoratkaisuja. Kyseessä olevaan tehtävään se on kuitenkin ominaisuuksiltaan ylimitoitettu.

3.3.2 Arcteq AQ-F255

AQ-F255 on suomalaisen Arcteqin valmistama suojarele (Arcteq, i.a., s. 1). Se sisältää jännite- ja virtatietoon perustuvat perussuojaustoiminnot. Aqivate-ohjelmalla rele on mahdollista konfiguroida IP-osoitteen välityksellä. Rele mahdollistaa tarpeen mukaan jopa viisi jälleenkytkentää. Releellä on viisi virtatiedon sisääntuloa ja neljä jännitesignaalille varattua sisääntuloa. Ilman lisäkortteja releessä on kolme digitaalista sisääntuloa ja viisi digitaalista lähtöä. Lisäkorteille on 11 paikkaa, ja yhdellä paikalla saadaan lisättyä kahdeksan sisääntuloa tai viisi lähtöä. Releen standardimallin kanssa kommunikointi onnistuu Ethernet-kaapelilla.

Kyseessä on hyvä suojarеле, jolla voidaan toteuttaa tarkka ja luotettava suojausta. Vaikka vakiona tulojen ja lähtöjen määrä on vähäinen, voidaan niitä helposti kasvattaa lisäkorttien avulla. AQ-F255 on ominaisuuksiltaan riittävä ja hyvä vaihtoehto tähän toteutukseen.

3.3.3 Schweitzer engineering laboratories SEL-751

SEL-751 on amerikkalaisen Schweitzer Engineering Laboratoriesin sähköjako- ja suojausjärjestelmien valmistama rele (Schweitzer Engineering Laboratories (SEL), 2024, s. 1). SEL-751-releellä on hyvin modulaariset ominaisuudet, jotka on mahdollista räätälöidä käyttötarkoitukseen sopiviksi. Konfigurointi SEL-751-releellä on mahdollista QUICKSET SEL-5030 -ohjelman avulla. Releeseen on mahdollisuus saada neljä sisääntuloa virtamittaukselle ja kolme tuloa jännitemittausta varten. Laite sisältää kolme digitaalista ulostuloa laiteohjauksia varten ja kaksi sisääntuloa. Releen tulojen määrää voidaan kasvattaa kolmella lisäkortilla. Releessä on Ethernet-liitäntä ja sen kanssa voidaan kommunikoida myös optisen kaapelin tai yksinkertaisen RSR-232-portin välityksellä.

Tämän releen vahvuus on sen mukauttamismahdollisuudet toteutukseen sopivaksi. Siinä on valokaaren tunnistin ja matalaenergisen virran ja jännitteen tunnistin. Näillä ominaisuuksilla voidaan lisätä turvallisuutta niille sopivissa tilanteissa. Rele suoriutuisi tehtäväänsään moitteetta.

3.3.4 ABB REF615 IEC

ABB:n valmistama REF615-sarjan releille on useita vakiokonfiguraatioita, jotka asennetaan valmiiksi ennen toimitusta (ABB, i.a.). Konfiguraatio määräytyy releen mallin mukaan ja on sidoksissa laitteen fyysisiin ominaisuuksiin. Vakiokonfiguraatioita voidaan muokata PCM600-ohjelmiston avulla. Releelle on mahdollista kytkeä viisi virranmittauksen ja jännitemittauksen sisääntuloa. Releelle on myös mahdollista kerätä mittaustietoa combi-sensoreiden avulla. Digitaalisten sisääntulojen määrä on 16 ja ulostuloja on 10. Releen kanssa kommunikoidaan Ethernet-kaapelin välityksellä.

Releen useiden eri valintavaihtoehtojen ansiosta se kyetään järkevästi mitoittamaan moniin tehtäviin. Niitä voidaan hyödyntää paikallisemmin itsenäisinä ohjaus- ja

suojausyksikköinä, kuin myös osana suurempaa sähköverkon suojausjärjestelmää. REF615 IEC -rele soveltuu tähän tehtävään.

3.4 Releen valinta

Toteutuksessa valittiin käytettäväksi Arcteqin valmistamaa AQ-F255-relettä. Rele oli hinnaltaan hyvin kilpailukykyinen ja omasi kaikki tarvittavat ominaisuudet. Releeseen tarvittavien lisäkorttien selvittämiseksi tuli laskea toteutuksessa tarvittavien digitaalisten sisääntulojen ja lähtöjen määrät. Digitaalisia sisääntuloja tarvittiin kytkinlaitteiden, akun varaajan, kauko-ohjauksen sekä relekaapin ovikytkimen tilatietoihin sekä ohjausyksikön vikatietoja varten yhteensä 11 kappaletta. Releessä oletuksena olevien kolmen sisääntulon lisäksi täytyi lisätä yksi kahdeksanpaikkainen lisäkortti. Katkaisijan ohjauksia varten releeseen tarvittiin kaksi lähtöä. Releellä ei katkaisijan lisäksi ollut muita ohjaustoimintoja, joten valmiina olevat viisi lähtöä riittivät ilman lisäkortteja.

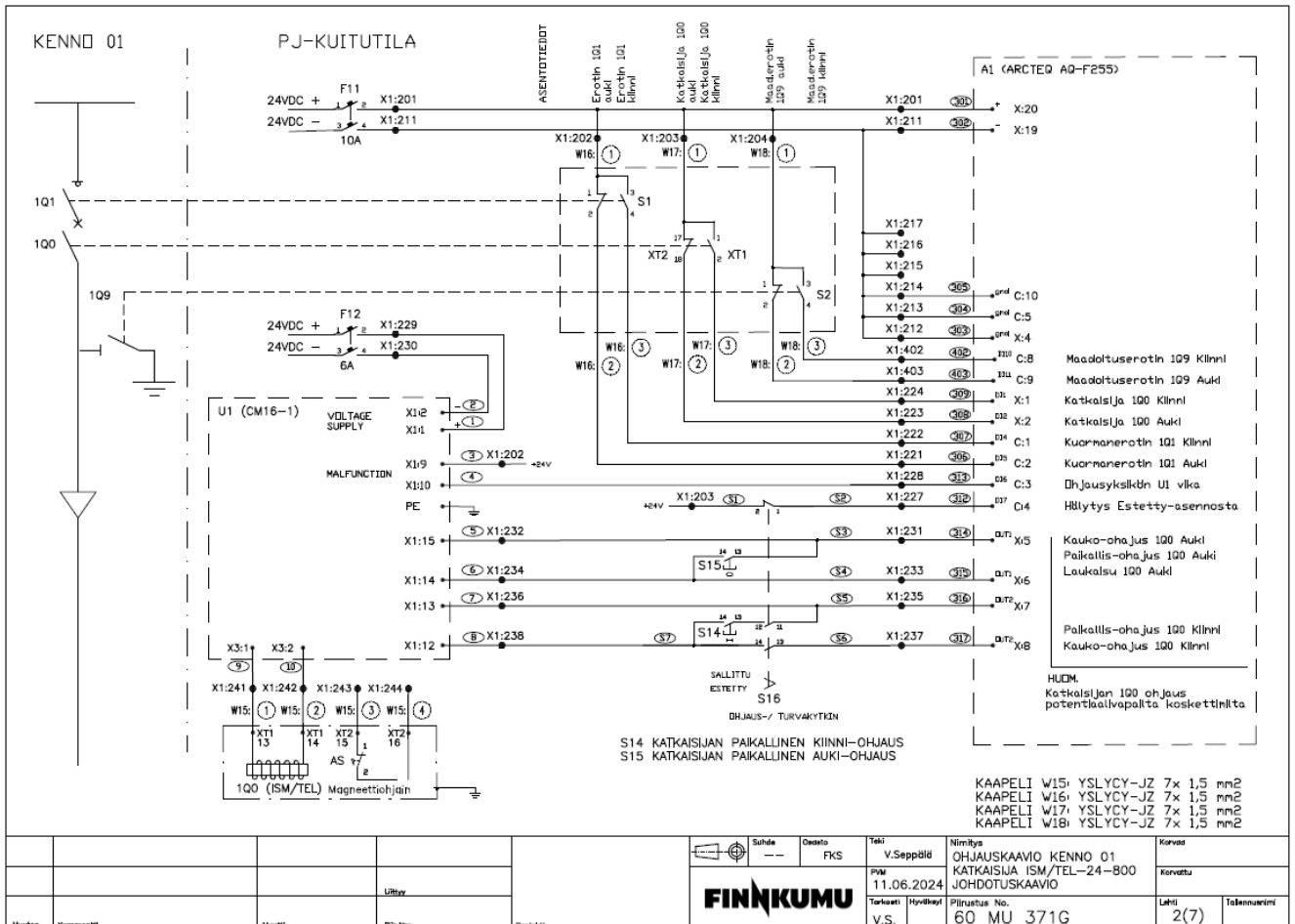
Muun tyyppisiä lisätuloja tai lähtöjä ei tarvittu, eikä releen kassa kommunikointiin vaadittu lisäkortteja. Rele oli standardivaihtoehto, jonka haluttiin operoivan 24 V:n tasajännitteellä. Rele voitaisiin pitää toimintakykyisenä akuston avulla, mikäli syöttövirta katkeaa. Releen mittaustarkkuudeksi riitti 0,5 %. Nämä asiat huomioiden releen tarkaksi versioksi valikoitui AQ-F255A-PL0AAAA-B. Asiakas itse vastasi releen konfiguroimisesta.

3.5 Suunnitelmien laatiminen

Piirustusten teko alkoi osaluettelosta. Osaluettelon ensimmäiseltä sivulta ilmenevät muuntamon tekniset tiedot ja eri osa-alueiden piirustustunnukset. Seuraavilla sivuilla esitetään osaluettelot muuntamon eri kokonaisuuksista. Ensin kuvaillaan rakennuksen väritystä ja kokoa. Seuraavaksi käsitellään keskijänniteosio, mittamuuntajat ja asiakkaalle toimitettavat lisätarvikkeet. Tämän jälkeen listattiin pienjännitepuolelle käytettävät komponentit. Viimeisenä osaluettelossa on relekaappiin sisältyvät osat. Valmis osaluettelo tallennettiin PDF-muodossa.

Kuvien piirtäminen tapahtui Autocad-ohjelmistolla. Käytössä oli 2D-piirroksiin suunnattu Autocad LT -versio. Piirustusohjelmalla piirrettiin kuvat muuntamon eri osioista hyödyntäen

vanhoja kuvia mahdollisuuksien mukaan. Sillä tehtiin myös johdotus- ja riviitinkuvat. Kuvan valmistuttua se tallennettiin piirto-ohjelmistossa käytetyn DVG-tiedoston lisäksi PDF-muodossa (kuvio 2).



Kuvio 2. Tyhjiökatkaisijan johdotuskaavio.

Kun osaluettelo ja kaikki piirretyt kuvat oli tallennettu PDF-muotoon, ne koottiin yhte-näiseksi kokonaisuudeksi PDF-tiedostojen käsittelyyn tarkoitettun Adobe Acrobatin PRO-ohjelmiston avulla.

4 TULOKSET

Työn tuloksena onnistuttiin määrittämään relesuojaukseen vaikuttavat tekijät. Toteutukseen valittiin siihen soveltuvat mittamuuntajat, joiden mittatietoa rele oikein toimiakseen tarvitsee. Jännitemuuntajiksi valittiin keskijännitteelle suunnitellut TJC6-muuntajat, joiden tarkkuusluokka on 0,2 ja suojausluokka P6. Virtamuuntajiksi valittiin kaapelivirtamuuntajatyypiset rengasmuuntajat. Vaihekohtaisia virtoja varten valittiin KOLA 06B2 -malliset kaapelivirtamuuntajat, joiden tyyppi oli 10P10 ja muuntosuhde 1/150 A. Summavirtamittaukseen valikoitui KOLA 06D2 -virtamuuntaja, jonka tyyppi oli 5P10 ja muuntosuhde 1/100 A.

Selvityksistä saatuja tietoja hyödynnettiin sopivan releen valinnassa. Releeksi valittiin Arc-teqin AQ-F255A-PL0AAAA-B-rele. Toteutuksesta piirrettiin valmis kuvasarja, joiden mukaisesti muuntamo kokoonpantiin.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Sähkön toimitusvarmuuden parantaminen on tärkeä osa sähköverkon kehittämistä, ja releohjatuilla katkaisijoilla saadaan vähennettyä keskeytyksistä johtuvia haittoja. Perinteiseen kuormaerottimeen verrattuna tyhjiökatkaisijat ovat pitkäikäisiä ja huoltovapaita, mikä lisää kustannustehokkuutta pitkällä aikavälillä.

Samalla virtamuuntajilla voi olla useampia sydämiä sekä mittaus- että suojaustarkoituksiin. Jännitemuuntajat ovat keskijännitteellä induktiivisia ja niitä voidaan kytkeä kahden vaiheen tai vaiheen ja maan välille riippuen siitä, ovatko ne yksi- vai kaksinapaisesti eristettyjä.

Suojarele on hyvä ohjauslaite katkaisijalle. Moderneilla suojarelleillä on todella monipuoliset suojaustoiminnot erilaisten verkon vikatilanteiden tunnistamiseksi. Relesuojauksella saadaan toteutettua laajoja selektiivisiä kokonaisuuksia. Kaikilla tarkastelluilla releillä oli lähtökohdat suoriutua tässä toteutuksessa. Releen konfigurointiin on jokaisella valmistajalla omat siihen tarkoitetut ohjelmansa, joilla parametointi ja asettelualueiden rajausta onnistuu helposti. Releeltä vaadittavien ominaisuuksien lisääntyessä nousee myös sen hinta.

- McDonald, J. (2012). *Electric power substations engineering* (3. p.). CRC Press.
- Pakonen, P., Nikander, A., & Verho, P. (2022). *Jälleenkytkentöjen päivitystarpeet*. Tampereen yliopisto. https://energia.fi/wp-content/uploads/2022/11/Jalleenkytkentöjen_paivitystarpeet_Loppuraportti.pdf
- Schweitzer Engineering Laboratories (SEL). (2024). *SEL-751 Feeder Protection Relay: Comprehensive Feeder Protection and Control with Arc-Flash Detection* (751_DS_20241231). <https://selinc.com/api/download/10734/>
- Siemens. (2024). *Feeder and Overcurrent Protection SIPROTEC 7SJ85 (SIPROTEC-7SJ85-Profile)*. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:6ef1c43e-cfe6-4f28-88a2-63e18e469d2b/SIPROTEC-7SJ85-Profile.pdf>
- Tavrída Electric. (i.a.). *Tavrída electric vacuum circuit breakers (vcb)*. <https://www.tavrída.com/tena/solutions/vacuum-circuit-breakers/tavrída-vcb/>