

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# 20 KV KOJEISTON SANEERAUS

TEKIJÄ: Juho Tirkkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Juho Tirkkonen			
Työn nimi 20 kV Kojeiston saneeraus			
Päiväys	24.5.2022	Sivumäärä/Liitteet	68/4
Toimeksiantaja Kuopion Finteco LVIS Oy			
Tiivistelmä			
<p>Opinnäytetyön aiheena oli 20 kV keskijännitekojeiston saneeraus ja siihen liittyvän suunnittelun ja laskennan toteutus. Työn toimeksiantaja oli Kuopion Finteco LVIS Oy. Työtä tehtiin toimeksiantajayrityksen asiakkaalle Scantarp Oy:lle, jonka kiinteistössä Finteco toimii sähkökäytönjohdon tehtävissä. Työ tuli ajankohtaiseksi, kun kohteen keskijännitekojeiston huollossa ilmeni vikoja laitteistossa. Työssä etsittiin ratkaisua ilmentyneeseen ongelmaan ja korvataan laitteisto uudella vastaavanlaisella laitteistolla. Kojeiston saneerauksessa tullaan ottamaan huomioon käytettävä tila ja kohteen nykyiset haasteet.</p> <p>Työ käsitteli keskijännitekojeiston suunnittelua ja sen perusteella tehtyä projektin suunnittelua ja arviointia. Työssä otettiin huomioon mahdollisimman laajasti projektiin tarvittavat resurssit. Projektin suunnittelussa otettiin myös huomioon, että työn toteutukseen tarvitaan ulkopuolisten urakoitsijoiden työpanosta.</p> <p>Kojeiston saneerauksesta tehtiin komponenttien mitoitusta varten tarvittava laskenta. Työssä tutustuttiin keskijännitekojeiston rakentamiseen tarvittavien komponenttien teoriaan. Työssä mitoitettiin kojeisto oikean suuruiseksi laskelmien perusteella. Työssä suunniteltiin ja valittiin myös kojeistoa suojaavan suojaareleen asettelu- arvot. Suunnitelmat ja piirustukset tehtiin mitoitusten perusteella ja niitä käytettiin työajan arvioinnissa ja tarjouksen teossa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksina saatiin asiakasyritykselle valmis kojeistosuunnitelma laskentoineen ja kustannusarvioineen. Opinnäytetyön osana luotiin myös projektiaikataulu, jota voidaan käyttää hyväksi, kun projektia aletaan toteuttaa. Kokonaisuudessaan työssä tehdään kojeistosuunnitelmat mitoitukset laskelmat, joiden perusteella työtä voidaan lähteä toteuttamaan käytännössä.</p>			
Avainsanat Keskijännite, kojeisto, suunnittelu			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author Juho Tirkkonen	
Title of Thesis 20 kV Switchgear Renovation	
Date 24 April 2023	Pages/Appendices 68/4
Client Organisation /Partners Kuopion Finteco LVIS Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The topic of the thesis was the renovation of a 20 kV medium voltage switchgear. The thesis included the related design and calculations. The renovation project was commissioned by Kuopion Finteco LVIS Oy and was done for their client company Scantarp Oy. Scantarp is a client of Finteco, in whose property Finteco works as a director of electric work. The work is urgent in nature because during maintenance work in the medium voltage switchgear it was noticed that the switchgear has some malfunctions in its appliances. The thesis focused on creating solutions replacing the old switchgear with a new switchgear. Special restrictions and issues created by differences between the old and new replacement switchgear were taken into consideration.</p> <p>The thesis focused on the principles of medium voltage circuit planning and based on it the design and assessment of the project. The thesis consists of two parts. Theory on different medium voltage switchgear and calculations for switchgear design and dimensioning was studied. The resources needed for a medium voltage switchgear renovation project were looked into. The project was planned based on the approximate resources and work estimates. The need for a variety of contractors and workgroups in a project of this scale was studied as well. The necessary calculation for the design of the switchgear and its components was done in the thesis. Calculations to setup a circuit protection relay were included in the thesis as well as the planning of medium voltage switchgear and its components. These plans were later used to make an estimate on cost and time for the renovation project.</p> <p>The result of the thesis was a complete medium voltage switchgear design with calculations and a cost estimation. These results were given to the commissioner company. A project schedule was also drawn up in this thesis and this can be used later on when the project starts.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>Medium voltage, Switchgear, Protection relay, circuit planning</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	8
2	TOIMEKSIANTAJAYRITYS JA ASIAKAS.....	9
2.1	Kuopion Finteco LVIS Oy .....	9
2.2	Scantarp Oy.....	9
2.3	Scantarpin keskijännitekojeisto .....	10
3	KESKIJÄNNITEKOJEISTON LAITTEET .....	13
3.1	Kojeisto.....	13
3.2	Katkaisija.....	14
3.3	Erotin.....	16
3.4	Liittymiskenko ja sen laitteet .....	19
3.5	Mittamuuntajat .....	20
3.5.1	Virtamuuntajat .....	21
3.5.2	Jännitemuuntajat.....	21
3.6	Muuntajat.....	22
3.7	Suojarele.....	24
3.8	Releen asettelu.....	27
3.9	Huipputeho.....	31
4	OIKOSULKUVIRRAT JA HUIPPUTEHO .....	35
4.1	Oikosulkuvirrat.....	35
4.2	Huipputeho.....	38
5	TYÖSUUNNITELMAT .....	43
5.1	Pääkaavio.....	43
5.2	Yleiskaavio .....	46
5.3	Kaapelointi .....	47
5.4	Releen asettelu.....	52
5.5	Karkea työsuunnitelma .....	55
5.5.1	Työvaiheet .....	55
6	KUSTANNUSARVIO .....	58
7	POHDINTA.....	60
8	YHTEENVETO.....	62

9 LÄHDELUETTELO..... 63

## KUVALUETTELO

KUVA 1 Scantarpin nykyinen keskijännitekojeisto (Tirkkonen, 2023) .....	10
KUVA 2 Strömberg 20/400 muuntaja. (Tirkkonen, 2023) .....	12
KUVA 3 Kojeistotyyppejä. (ABB Oy 7, 2000).....	14
Kuva 4 Siemens NXPLUS c24 Blue GIS katkaisijakojeisto. (Siemens, 2023) .....	16
Kuva 5 ABB NPS24B Pylväserotin (ABB Oy, 2022) .....	17
Kuva 6 ABB VersaRupter kuormanerotin. (ABB Oy, 2022) .....	17
Kuva 7 ABB VersaRupter varokekuormaerotin. (ABB Oy, 2022) .....	18
Kuva 8 ABB maadoituserotin. (ABB Oy, 2022) .....	19
Kuva 9. ABB uniswitch kaapeliliityntäkennon rakenne. (ABB Oy, 2015) .....	20
Kuva 10. ABB TPU Virtamuuntaja (ABB Oy, 2020) .....	21
Kuva 11 ABB TJC jännitemuuntajia. (ABB Oy, 2020).....	22
Kuva 12 ABB jakelumuuntaja. (Onninen Oy, 2023).....	23
Kuva 13 Arcteq AQ-F210 suojaarele. (Arcteq, 2023).....	25
Kuva 14 Sähkömekaaniset toisioreleet ja laukaisutangot releeltä. (Selekto, 2019) .....	26
Kuva 15 Trimble NIS kuvankaappaus Scantarpin läheisestä muuntajasta ja johto-osuudesta (Tirkkonen, 2023).....	36
Kuva 16 2-vuoroteollisuus huipputeholaskelma Trimble NIS.....	41
Kuva 17 Teollisuus yhdistetty huipputeholaskenta Trimble NIS.....	42
Kuva 18 Erityyppisten kennojen piirrosmerkkejä kojeistoissa. (ABB Oy 13, 2000) .....	44
Kuva 19 Katkaisijakennon tyypillinen rakenne. (ABB Oy, 2023) .....	45
Kuva 20 Yleiskaavio Savon Voima – Scantarp (Tirkkonen, 2023) .....	47
Kuva 21 AHXAMK-W 20 kV Wiski kaapelin teknisiä tietoja. (Prysmian Group, 2018).....	49
Kuva 22 Releen virta-asettelut .....	54
Kuva 23 GANT- Projekti aikataulu.....	57

## LYHENTEET JA TERMIT

AJK	Aikajälleenkytkentä
A	Ampeeri
In	Nimellisvirta
I>	Ensimmäisen portaan virta-asettelu, Hidastuksellinen virtalaukaisu
I>>	Releen pika- eli momenttilaukaisun virta-asettelu
kV	Kilovoltti
kA	Kiloampeeri
MW	Megawatti
MVA	Megavolttiampeeri (näennäisteho)
Oy	Osakeyhtiö
PJK	Pikajälleenkytkentä
TWh	Terawattitunti

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan ratkaisuja 20 kilovoltin keskijännitekojeiston uusimiseen. Keskijännitekojeisto on osana asiakasyrityksen teollisuuskiinteistön sähkönsyöttöä. Opinnäytetyössä tutkittavan keskijännitekojeiston uusiminen on tullut tarpeelliseksi, koska nykyinen kojeisto on käyttöikänsä loppupäässä. Nykyisen kojeiston pääkatkaisija on alkanut vuotaa öljyä, minkä takia sen uusiminen on tullut ajankohtaiseksi.

Opinnäytetyö sai alkunsa toimeksiantajayrityksen Kuopion Finteco LVIS Oy:n sähkötoiden johtajan ehdotuksesta. Opinnäytetyötä alettiin suunnitella, kun kiinteistön keskijännitekojeiston huollossa ilmeni, että pääkatkaisijana toimiva vähäöljykatkaisija vuotaa öljyä. Kojeston saneerausta alettiin toteuttaa opinnäytetyönä, koska asiakasyritykselle halutaan tarjota kojeiston uusimista kokonaisuutena. Asiakasyrityksenä on Scantarp Oy Kuopiosta. Kokonaisuus sisältää suunnittelun, laskennat ja työtarjouksen, joiden perusteella asiakasyritys voi pohtia ratkaisuja, miten asia olisi hyvä toteuttaa.

Opinnäytetyön tavoitteena on keksiä korvaava ratkaisu ja kokonaisuus nykyisen käyttöikänsä päässä olevan kojeiston päivittämiseen. Kojeston komponenttien toimintaa tutkitaan teoriaosuudessa suunnittelun ymmärtämistä varten. Opinnäytetyössä suoritetaan laskentaa komponenttien mitoittamista varten. Kun mitoitukset ja laskennat on saatu valmiiksi, aloitetaan kojeiston piirustusten ja suunnitelmien tekeminen. Piirustuksissa ja suunnitelmissa toteutetaan kojeistolle tarvittavat dokumentit, joiden perusteella kojeistosta voidaan pyytää tarjoukset ja arvioida työn määrää.

Opinnäytetyön tarkoitus on laatia asiakasyritykselle suunnitelmat, ratkaisu ja alustava tarjous, joiden perusteella asiakasyritys voi tilata työn Fintecolta tai etsiä vaihtoehtoisia keinoja ongelman ratkaisuun. Opinnäytetyön perusteella Scantarpin huoltovarmuutta saadaan parannettua, koska uuden kojeiston käyttövarmuus varmistaa, ettei kojeiston vikaantumisesta tule tarpeettomia keskeytyksiä tuotannolle.



## 2 TOIMEKSIANTAJAYRITYS JA ASIAKAS

### 2.1 Kuopion Finteco LVIS Oy

Kuopion Finteco LVIS Oy on opinnäytetyön toimeksiantaja. Opinnäytetyön ohjaajana toimeksiantaja yrityksen puolesta toimii Jukka Saukkonen. Kuopion Finteco LVIS Oy on Kuopiossa toimiva sähkö- ja LVI-alan urakointiyhtiö. Kuopion Finteco LVIS Oy tekee myös laaja-alaisia huolto- ja kunnossapitotöitä erilaisiin kiinteistö- ja teollisuuskohteisiin. Yritys on perustettu vuonna 2017, kun Sähköfinne Oy ja Putkityö Jari Viiliäinen yhdistyivät. Henkilökuntaa yrityksessä on noin 35 henkilöä mukaan lukien toimihenkilöt.

Kuopion Fintecon toimitusjohtaja on Jani Lankinen. Yritys toimii Kuopion alueella laaja-alaisissa urakointi- ja kunnossapitokohteissa. Yrityksen toiminta koostuu sähkö-, LVI, ja kunnossapito töistä, niiden suunnittelusta ja työnjohdosta. Yrityksen liikevaihto oli 5,6 Me vuonna 2022.

Finteco toimii aliurakoitsijana Scantarp Oy:lle käytönjohto- ja kunnossapitotöiden tehtävissä. Finteco suorittaa myös Scantarpin vuorokunnossapidon työtehtävät. Scantarpin sähköpuolen käytönjohtajana toimii Jukka Saukkonen. Käytönjohtajan tehtävä on johtaa laitteiston turvallista käyttöä. Finteco on käytönjohtokohteessa vastuullinen seuraavissa asioissa:

- Sähkölaitteiston käytössä ja huollossa noudatetaan sähköturvallisuuslakia
- Sähkölaitteisto on sähköturvallisuuslain edellyttämässä kunnossa
- Käyttötöitä tekevät henkilöt ovat ammattitaitoisia ja riittävästi opastettuja tehtäviinsä.

Finteco suorittaa siis Scantarpin sähkölaitteistoon vaadittavat huollot ja korjaukset, jotta ne ovat määräyksien mukaiset. Scantarpin kiinteistössä on oma 20 kV liityntä, joten kiinteistölle on nimettävä käytönjohtaja. (Finteco LVIS Oy, 2023)

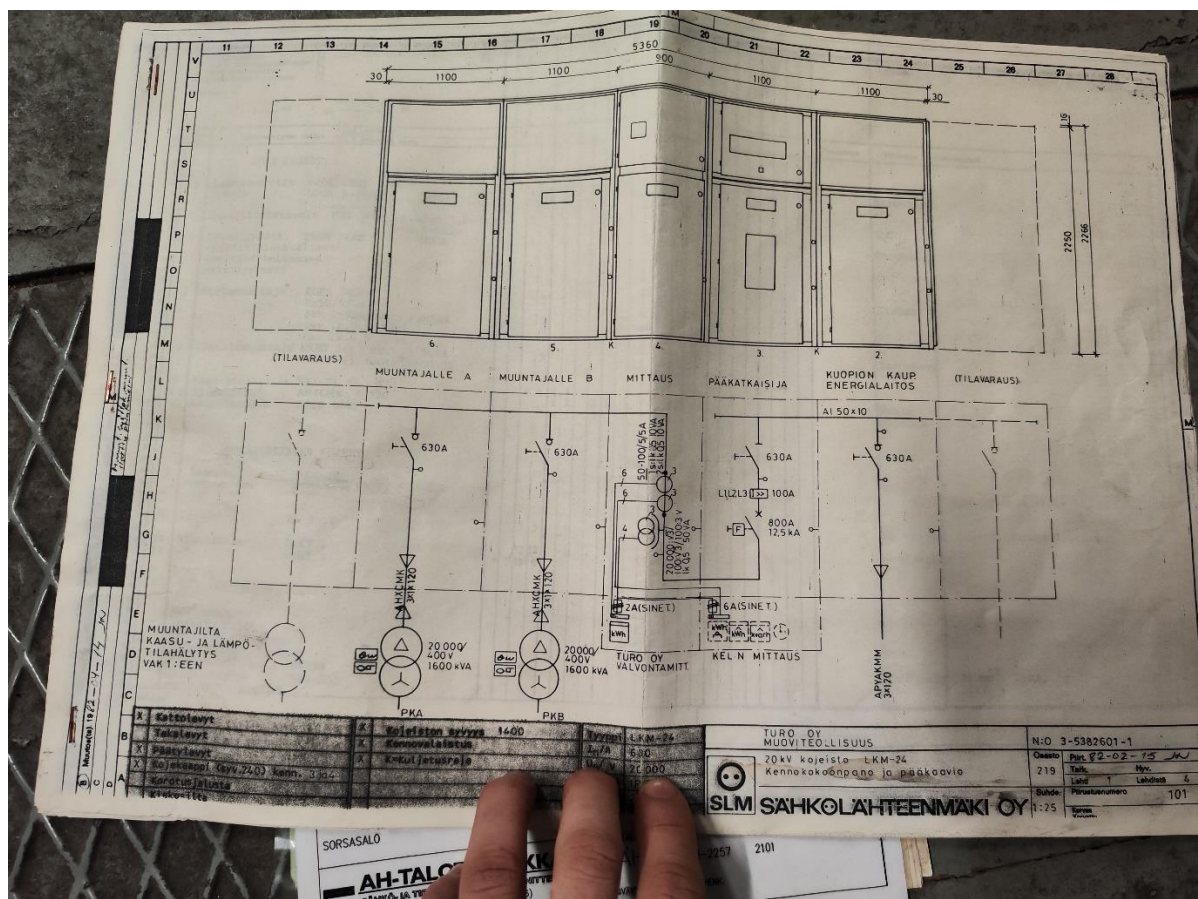
### 2.2 Scantarp Oy

Scantarp on Kuopiossa Sorsasalossa toimiva teollisuusyritys, joka valmistaa päällystettyjä kankaita ja suojausratkaisuja. Scantarp toimii osana NHC (Northern Hall and Cover) konsernia, jonka pääkonttori on Ruotsissa. Scantarp jatkaa Turo Oy:n jo 1950 luvulla aloittamaa PVC-päällysteisten kankaiden valmistusta. Scantarp on Pohjois-Euroopan johtavia teknisten kankaiden valmistajia.

Scantarpin tuotantotilat koostuvat kahdesta kankaidenvalmistuskoneesta, ompelimoista, raaka-ainevarastoista, raaka-aineiden sekoituslaitteistosta sekä varastotilasta. Tuotantokoneet tekevät kankaita ja pressuja rullien, prässien, sekä erilaisten, lämmitys- ja laaduntarkkailuprosessien avulla. (Scantarp Oy, 2023)

## 2.3 Scantarpin keskijännitekojeisto

Scantarpin keskijännitekojeisto on vanha, vuonna 1982 rakennettu kojeisto. Kojearon kokonaisuus koostuu 5 eri kennonista, joihin laitteet on sijoiteltu. Alla olevassa KUVA 1 on kojeiston nykyinen koonpano yleiskaavion muodossa.



KUVA 1. Scantarpin nykyinen keskijännitekojeisto (Tirkkonen, 2023)

Scantarpin keskijännitekojeisto on kennorakenteinen kojeisto, jossa on kaapeliliityntäkenno, katkaisijakenno, mittauskenno sekä kaksi erotinkennoa. Kaapeliliityntäkennossa on kuormanerotin, jolla pystytään erottamaan koko kojeisto syöttävästä verkosta. Kuormanerotin on tyypiltään OJOK 24U2, jonka nimellisvirta on 630 A. Kuopion Energian syöttämä kaapeli on kytketty kuormanerottimelle posliinieristeisillä kaapelipäätteillä. Pääteinä on käytetty posliinieristeisiä päätteitä. Posliinimalliset eristeet on nykyään korvattu pienempirakenteisilla päätteillä. Kaapeliliityntäkennossa ei ole maadoituskytkintä, vaan työmaadoitus tehdään siirrettävän köysimaadoituksen avulla.

Pääkatkaisijakennossa on Strömberg Oy:n valmistama OSAM 24 A 2 -vähäöljykatkaisija. Katkaisijan nimellisjännite on 24 kV ja nimellisvirta on 800 A. Katkaisijaan on asennettu päävirtalaukaisuelimet, releasettelusauvat ja viritysvarsi. Katkaisijassa on jokaiselle kolmelle vaiheelle omat katkaisupilarit, joissa on valokaaren sammutukseen käytettävää öljyä. Vähäöljykatkaisijassa öljyn määrä on pieni ja

katkaisutapahtuma perustuu öljyn höyrystymiseen. Öljy höyrystyy valokaaren seurauksena. Paine laittaa katkaisijapilarissa olevan öljyn liikkeelle, joka sammuttaa valokaaren.

Vähäöljykatkaisijaa ohjaa ensiöylivirtarele HBi 100A. Laukaisuvirraksi on aseteltu 100 A, 20 kV jänniteportaasta. Ylivirtareleen havahtuessaan ylivirtaan päävirtalaukaisuelimet avaavat katkaisijan. Ensiöylivirtarele toimii ensiöpiirissä eikä vaadi mittamuuntajia toimiakseen. Ylivirtarele mittaa virran ensiöpiiristä.

Scantarpin katkaisijassa keskimäinen katkaisijapilareista vuotaa öljyä. Öljyä on jouduttu lisäämään useampaan otteeseen katkaisijan huoltojen ja kojeistuksien yhteydessä. Öljyvuoto ei ole suuri, mutta se on kojeiston toiminnan kannalta vaarallinen, koska öljyn ollessa vähissä ei katkaisija välttämättä saa valokaarta sammutetuksi. Kyseisellä tapahtumalla voi olla kohtalokkaat seuraukset kojeistolle. Pahimmassa tapauksessa sammutusprosessista voi aiheutua, jopa räjähdysvaara, jos katkaisija ei kestäkään höyrystymisestä johtuvaa painetta. Katkaisijan jälkeen kennossa on vielä erotin OJON 3-20/630. Erottimella voidaan erottaa kiskosto sähkönsyötöstä.

Mittauskennossa on mittaukseen liittyvät laitteistot ja osa sähkömittareista. Mittauskennossa on kolme jännitemuuntajaa ja kolme virtamuuntajaa. Mittamuuntajien avulla saadaan tarvittavat mitaustiedot energialaitokselle. Virtamuuntajat ovat KOFA 24D2 - tyyppiä ja jokaisella vaiheella on oma virran mittaus. Jännitemuuntajia on myös kolme jokaiselle vaiheelle ja jännitemuuntajat ovat tyypiltään KRES 24A1.

Mittauskennon jälkeen kojeistossa on kaksi kuormaerotinta, joilla pystytään erottamaan erottimen toisioon kytkettynä olevat 1600 kVA muuntajat. Kuormaerottimet ovat tyypiltään OJOK 24U2 erottimia ja niiden nimellinen virta on 630 A. Muuntajat ovat kytkentäryhmältään DYN11 eli ensiöpuoli (20 kV) on kolmiossa ja toisio (400 V) on kytketty tähteen. Muuntajat ovat kolmivaihemuuntajia ja ovat tyypiltään samanlaisia. Muuntajat syöttävät kahden kiskoston avulla Scantarpin pienjännitteen pääkeskusta. Kiskostot on kytketty suoraan muuntajien toisioon kiinni.

Kojeiston uusimisen tarve on tullut ajankohtaiseksi, koska vanhan kojeiston käyttöikä lähenee loppuaan. Kojeistossa olevan vähäöljykatkaisijan toimintavarmuus on heikentynyt. Pelkän katkaisijan uusiminen olisi yksi vaihtoehto. Kojeiston ikä huomioon ottaen on kuitenkin järkevämpää uusia kojeisto kokonaisuudessaan. Nykyinen kojeisto on rakennettu vuonna 1982; kojeistolla alkaa siis olla jo ikää eikä nykyisiin laitteisiin saa enää varaosia.

Kojeisto olisi hyvä uusia kerralla kokonaisuudessaan lukuun ottamatta muuntajia, jotka eivät ole vielä uusinnan tarpeessa. Uudistamalla kojeisto kiinteistön sähkönjakelusta saadaan varmempaa. Näin ollen kiinteistön omistajan ei myöskään tarvitse pelätä pitkää tuotannon seisokkia kojeiston rikkoutuessa. Nykyaikaiset katkaisijat ovat myös usein huoltovapaita, joten huollossakin säästettäisiin.



KUVA 2. Strömberg 0,4/20 kV muuntaja. (Tirkkonen, 2023)

### 3 KESKIJÄNNITEKOJEISTON LAITTEET

Tässä osiossa kerrotaan teoriapohjaa erilaisille keskijännitekojeiston laitteille ja käsitteille. Käsitteiden ja laitteiden toiminnan käsittäminen on tärkeää kokonaisuuden ja opinnäytetyön ymmärtämisen kannalta. Opinnäytetyössä keskitytään keskijännitekojeiston saneeraustyön suunnitteluun, jonka yhteydessä uusitaan keskijännitekojeiston laitteet.

#### 3.1 Kojeisto

Kojeisto on laitteistokokonaisuus, jota käytetään sähkönsiirron, tuottamisen, ja muuntamisen yhteydessä. Kojeisto koostuu tarvittavista laitteista, joilla saadaan aikaan tarvittava toimintakokonaisuus. Tyypillisiä kojeiston laitteita ovat kytkimet, katkaisijat, suojareleet, ja ohjaus- sekä valvontalaitteet.

Kojeistot voidaan luokitella niiden ulkokuoren rakenteen mukaisesti. Kojeistot ovat yleisesti joko metalli tai eristysainekuoria rakenteita. Metallirakenteiset kojeistot voidaan vielä eritellä kolmeen eri luokkaan, jotka ovat: metallikoteloitu, tilakoteloitu ja kennokoteloitu kojeisto. Rakenteet poikkeavat toisistaan tilojen välisen osastoinnin eristyksen ja materiaalin osalta.

Metallikoteloidut kojeistot ovat kokonaan metallirakenteisia. Metalliset osat on maadoitettu ja eristeen puuttuessa esimerkiksi kotelon seinämistä, on etäisyyksien kanssa oltava tarkkana.

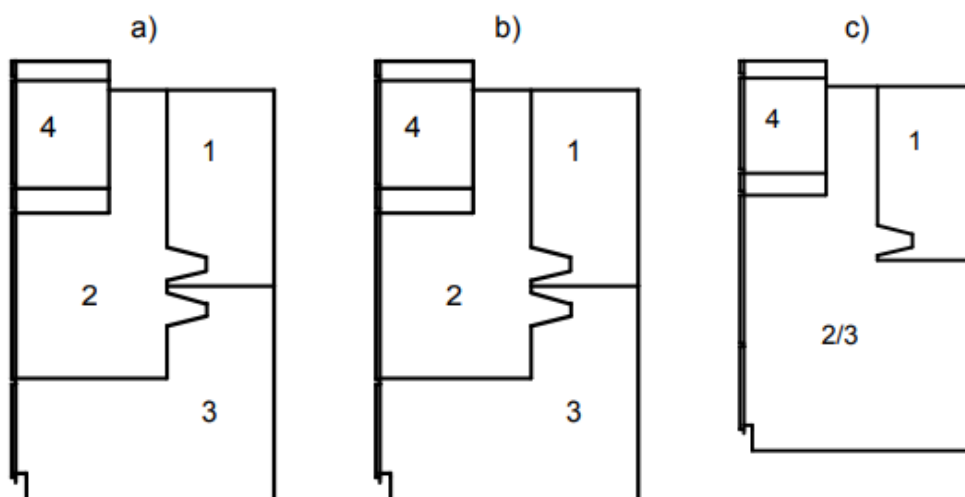
Tilakoteloitu kojeisto on tilojen välisen osastoinnin osalta joko kokonaan tai osittain eristetty. Kennokoteloiduksi kojeistoksi luokitellaan muut kuin metallikoteloitua tai tilakoteloitua rakennetta olevat kojeistot.

Kojeistot voidaan luokitella myös niiden pääasiallisen eristysaineen mukaan. Kojeistoissa voidaan käyttää, joko normaalin ilmanpaineen omaavaa ilmaa eristeenä, tai normaalia ilmanpainetta kovemmassa paineessa olevaa kaasua. Yleisin eristyskaasuna käytettävä kaasu on SF<sub>6</sub> eli rikkiheksafluoridi. Kojeistot voidaan siis luokitella ilmaeristeisiin tai kaasueristeisiin kojeistoihin.

Kojeistot voidaan varustella, joko kiinteillä kalusteilla ja laitteistoilla, tai ulosvedettävillä laitteistoilla. Erona kiinteän ja ulosvedettävän kojeiston välillä on, että ulosvedettävän kojeiston voi vetää ulos normaalista sijoituspaikastaan. Ulosvetämisellä yleensä luodaan myös luotettava avausväli virtapiirille.

KUVA 3 nähdään erilaisia kojeistotyyppisiä joista: a) metallikoteloitu, b) tilakoteloitu, c) kennokoteloitu. Numerolla 1 tarkoitetaan: kokoojatilaa, 2 katkaisijatilaa, 3 lähtötilaa ja 4 toisiokojetilaa.

(ABB Oy, 2000)



KUVA 3. Kojestotyyppejä. (ABB Oy, 2000)

### 3.2 Katkaisija

Katkaisijat ovat komponentteja, joilla voidaan turvallisesti avata, tai sulkea kuormitettu virtapiiri. Katkaisija kestää moninkertaisesti virtapiirin nimellisvirran, jolloin katkaisu voidaan suorittaa myös kuormitetussa piirissä. Katkaisijoilla voidaan toteuttaa sulakkeeton suojaus. (Hietalahti, 2013)

Tyypillisesti katkaisijaa ohjataan keskijännitejärjestelmissä suojareleellä, tai muulla laitteella, jolla saadaan aikaan automaattinen suojaus, esimerkiksi johtolähdön vikaantuessa. Katkaisijaa voidaan käyttää keskijännitekojeiston pääsuojauksena, koska sillä pystytään avaamaan ja sulkemaan kuormitettu virtapiiri. Katkaisijan tärkeimmät tehtävät ovat siis virtapiirin katkaisu ylikuormitus- ja oikosulkutapauksissa ja virtapiirin kytkeminen kuormitettuna. (Hietalahti, 2013)

Virtapiirin katkaisussa virta ei katkea heti katkaisun tapahduttua, vaan virtapiiri pysyy suljettuna valokaaren avulla. Katkaisijan täytyy saada sammutettua valokaari ilman, että siitä koituu vahinkoa laitteistolle tai katkaisijalle. Valokaaren ympärillä oleva väliaine valitaan niin, että se auttaa valokaaren sammumisessa. Katkaisijat voidaan luokitella eri ryhmiin ympäröivän sammutusväliaineen perusteella seuraavasti:

- tyhjiökatkaisijat
- öljykatkaisijat
- ilmakatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- kaasukatkaisijat. (Niemelä, 2010)

Näistä yleisimmin käytettyjä ovat tyhjiö- ja kaasukatkaisijat. Kaasukatkaisijoista tyypillisimpiä ovat SF-6 kaasueristeiset katkaisijat. EU:n säädösten ja rikkiheksafluoridin ilmastovaikutuksen takia SF6 katkaisijoille ja kojeistoille on alettu kehittää korvaavaa ratkaisua. Monet valmistajat ovat alkaneet käyttää SF-6 kojeistojen korvaajana "PureAir"- teknologiaa, jolla saavutetaan samat höydyt kuin rikkiheksafluoridieristeisille kojeistoille. "PureAir"- teknologia ei ole kuitenkaan ilmastolle myrkyllistä, koska eriste on puhdistettua ilmaa.

Vanhemmissa asennuksissa voi törmätä vähäöljy- tai öljykatkaisijoihin, joissa käytetään eristeaineena öljyä. Öljykatkaisijat ovat vaarallisia, koska valokaaren sammutuksen aikana öljysäiliössä oleva paine voi nousta suureksi. Tämä voi aiheuttaa räjähdysvaaran, jos öljysäiliö ei kestäkään suurta painetta. Valokaaren sammutuksen yhteydessä eristeinä käytetty öljy myös likaantuu. Eristeaineen eli öljyn likaantuessa sen eristämiskyky heikkenee ajan myötä. (Niemelä, 2010)



KUVA 4. Siemens NXPLUS c24 Blue GIS katkaisijakojeisto. (Siemens, 2023)

### 3.3 Erotin

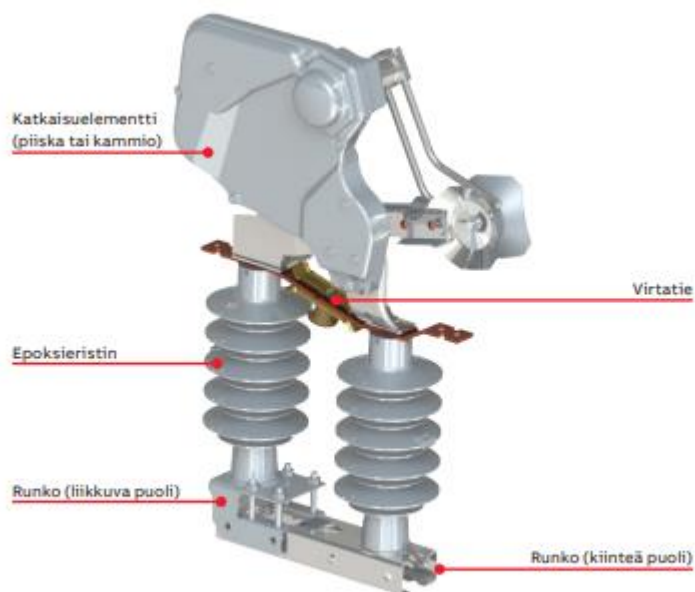
Erotin on laite, jolla voidaan suorittaa verkosta erottaminen. Kojeistot tyypillisesti varustetaan erottimilla, jotta verkkoa voidaan jakaa erosiin. Tällöin koko verkkoa ei tarvitse erottaa käyttäjännitteestä esimerkiksi huollon takia, jos vain yksi osa verkosta vaatii huoltoa. Erottimia käytetään myös erottamaan virtapiiri sellaisesta kohtaa, josta virtapiiri on pystyttävä jakaa osiin. (Niemelä, 2010)

Erottimella aikaan saadaan näkyvä avausväli, mikä on tarpeen jännitteettömäksi tekemisessä. Erotin on mekaanisesti toimiva kytkinlaite, jota voidaan käyttää käsiohjatusti, moottoriohjatusti, tai paineilmalla. Erottimen ollessa auki asennossa saadaan sillä aikaan luotettava avausväli ja kiinni asennossa se pystyy johtamaan oikosulku- ja kuormitusvirran. Tavallista erotinta ei ole suunniteltu avattavaksi



kuormitettuna. Erottimen ollessa auki asennossa on avausväli pystyttävä selvästi näkemään tai se on ilmaistava muulla luotettavalla tavalla. (Monni, 2017)

Tavallista erotinta ei ole tarkoitettu ohjattavaksi virrallisena, ja tämä estetään tyypillisesti mekaanisilla tai sähköisillä lukituksilla. Mekaaniset tai sähköiset lukitukset pitävät erottimen ääri-asennoissa ennen kuin lukitus aukeaa.



KUVA 5. ABB NPS24B Pylväserotin (ABB Oy, 2022)



KUVA 6. ABB VersaRupter kuormanerotin. (ABB Oy, 2022)

Kuormanerotin poikkeaa rakenteeltaan ja toiminnaltaan erottimesta. Kuormanerottimella pystytään avaamaan kuormitusvirrallinen verkon osa. Kuormaerotimessa on kytkentäveitsien lisäksi kipinäveitset, jotka ohjaavat valokaaren sammutuskammioihin. Sammutuskammioissa valokaari sammutetaan, jolloin erotus saadaan turvallisesti aikaan. (Monni, 2017)

Kuormanerotinta ohjataan auki ja kiinni asentoihin ohjaimen avulla. Kuormaerotinta avatessa kytkentäveitset aukeavat ensin, jonka jälkeen aukeavat kipinäveitset. Tällä tavoin virta kulkee kipinäveitsien kautta, jotka ovat suunniteltu kuormitusvirralle. Kipinäveitset ohjaavat valokaaret sammutuskammioihin, joiden vaikutuksesta valokaari sammuu. Sulkiessa kuormanerotinta kytkentäveitset sulkeutuvat ennen kipinäveitsiä. (Monni, 2017)

Kuormanerotimia käytetään erottamaan kuormitusvirrallisia verkonosia toisistaan esimerkiksi haaroissa tai rengasverkossa, joilla on suojalaitteena sama katkaisija. Kuormaerotimet suunnitellaan nimellisjännitteen, nimellisvirran ja asennustavan avulla. Kuormaerotimia voidaan suunnitella pylväs- ja kojeisto asennuksiin. (Monni, 2017)



Kuva 7. ABB VersaRupter varokekuormaerotin. (ABB Oy, 2022)

Varokekuormaerotin vastaa rakenteeltaan kuormanerotinta, mutta siihen on lisätty suurjännitesulakkeet. Suurjännitesulakkeet pidetään paikallaan varokepitimillä. Suurjännitesulakkeet on varustettu laukaisunastoilla. Suurjännitesulakkeiden palaessa laukaisulaitteisto avaa erottimen, eikä erotinta voida sulkea, jos yksikin sulakkeista on palanut. Erottimessa on siis estolaite, jolla saadaan estettyä erottimen sulkeminen tilanteessa, jossa sulakkeita on palanut. (Monni, 2017)

Varokekuormaerotinta käytetään tyypillisesti oikosulkusuojana tai kytkinlaitteena ennen johtohaaraa tai muuntajaa. Varokekuormakytkin toimii automaattisesti sulakkeen palaessa ja katkaisee virtapiirin. Varokekuormaerotinta voidaan myös käyttää kuormaerotimen tavoin, mutta varokekuormaerotin suojaa myös johdossa tai lähdössä tapahtuvilta oikosuluilta. (Monni, 2017)



KUVA 8. ABB maadoituserotin. (ABB Oy, 2022)

Maadoituserotin on laite, joka tyypillisesti asennetaan kojeistoon täydentämään muita erottimia. Maadoituserotin voidaan myös asentaa erillisenä laitteena. Maadoituserottimella työmaadoitetaan jännitteettömäksi erotettu kiskosto-osa tai johtolähtö. Maadoituserottimen käyttö on turvallisempaa ja helpompaa kuin siirrettävien työmaadoitusten asentaminen.

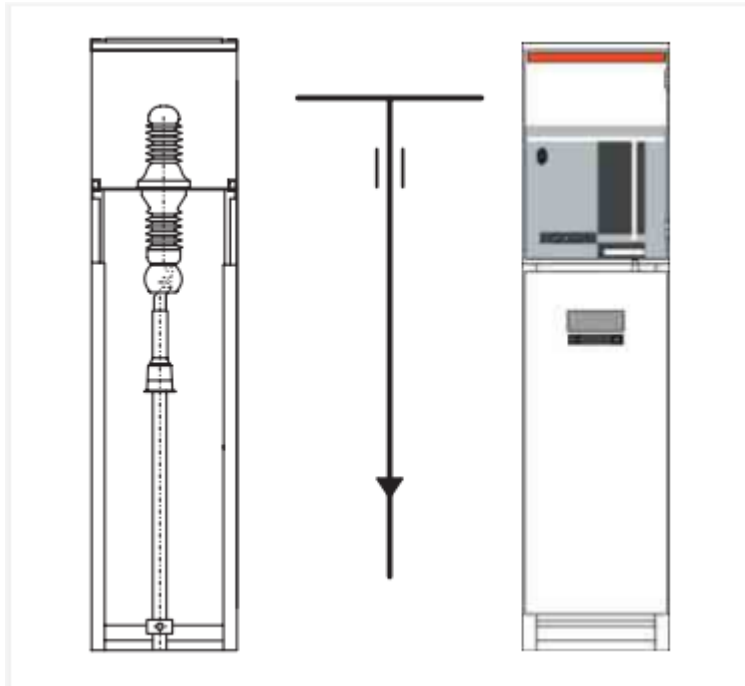
Maadoituserottimen asennuspaikka määräytyy yleensä syöttävän kennon tai kiskoston mukaan. Maadoituserotin on ohjattu niin, että sitä ei voi kytkeä suoraan jännitteeseen kiskostoon. Maadoituserottimen on pystyttävä lukitsemaan kytkentäveitset niin, että mahdollinen oikosulkuvirta ei pysty avaamaan niitä. (Monni, 2017)

### 3.4 Liittymiskenno ja sen laitteet

Keskijännitekojeistoissa syöttävän kaapelin liittyminen kojeistoon voidaan tehdä monella erilaisella toteutuksella. Tyypillisin ratkaisu on liittää kaapeli suoraan katkaisija tai kuormanerotinkennoon. Kaapeli liitetään erilliseen usein koteloituun kaapelipäätetilaan kennostossa.

Kaapelin liittäminen kojeistoon voidaan tehdä myös suoraan kaapeliliittymiskennon avulla. Tällä ratkaisulla kaapeli tuodaan erilliseen kennoon, johon on mahdollista asentaa virta- ja jännitemuuntajat mittausta varten. Kaapeliliittymiskennosta on helppoa liittyä kokoojakiskostoon, jonka avulla pystytään syöttämään esimerkiksi vaunukatkaisijakennoa.

Kaapeliliityntäkennoon on mahdollista asentaa myös maadoituserotin, jolloin liittymiskaapeli voidaan maadoittaa. Kaapeliliityntäkennoa voidaan käyttää myös kaapeli lähtöjen kytkemiseen suoraan kokoojakiskostoon. (ABB Oy, 2015)



KUVA 9. ABB Uniswitch - kaapeliliityntäkennon rakenne. (ABB Oy, 2015)

### 3.5 Mittamuuntajat

Mittamuuntajia käytetään keskijännitekojeistoissa muuntamaan jännitteet ja virrat suojareiden ja mittalaitteiden vaatimalle tasolle. Mittamuuntajien päätarkoituksia ovat

- mittareiden erottamien suurjännitteestä
- mittareiden mitta-alan laajentaminen
- mittareiden ja releiden sovitus sopivalle mitta-alueelle.

Vaihtovirtamittarit ja releet rakennetaan usein 100 voltin jännitteille ja 5 ampeerin virroille. Mittamuuntajia on rakennettu ulko- ja sisäkäyttöön. Käsittelen tässä kappaleessa kuitenkin vain sisäkäyttöön tarkoitettuja mittamuuntajia.

### 3.5.1 Virtamuuntajat



KUVA 10. ABB TPU Virtamuuntaja (ABB Oy, 2020)

Virtamuuntajaa käytetään keskijännitekojeistoissa virranmittaukseen. Virran mittaustietoa voidaan hyödyntää suojareleellä tai mittareilla. Virtamuuntaja poikkeaa tavallisen muuntajan rakenteesta, siten, että virran suuruuden määrää ensiöpiirissä oleva kuormitus. Normaalissa muuntajassa ensiövirran määrittää toisiopuolen kuormitus. Virtamuuntajalla saadaan myös tehtyä erotus ensiö- ja toisiopiirien välille.

Virtamuuntajaan ensiökäämin läpi kulkeva kuormitus on siis ensiövirta. Toisiokäämityksiä virtamuuntajassa voi olla monta ja ne ovat yleisesti täysin erotettuja toisistaan. Tällainen rakenne on hyödyksi, jos virtatietoa tarvitaan kahdessa paikassa esimerkiksi suojareleellä ja virtamittarilla. Virtamuuntajan mittauksen tarkkuutta voidaan parantaa rakentamalla muuntajan sydän paremman tarkkuusluokan mukaan. Relesuojaus ei tarvitse niin tarkkaa mittausta kuin virtamittari, jolloin toinen toisiokäämi voidaan tehdä pienemmällä tarkkuudella. (ABB Oy, 2000)

### 3.5.2 Jännitemuuntajat

Jännitemuuntajan pääasiallinen tehtävä on muuntaa ensiöjännite toisilaitteiden tarvitsemalle tasolle. Tyypillisesti suojareleet ja mittarit käyttävät 100 voltin jännitettä. Jännitemuuntajalla myös erotetaan ensiö- ja toisiopiirit toisistaan.

Jännitemuuntajat sijoitetaan yleisesti erilliseen kojeistokennoon, johon tulee muitakin suojaukseen tarvittavia mittalaitteita. Keskijännitekojeistoissa käytettävät jännitemuuntajat ovat rakenteeltaan vastaavanlaisia kuin yleiset jännitemuuntajat. Jännitemuuntajien kuormitus on pieni koska kuormana toimivat vain toisilaitteiden jännitepiirit. Yleinen keskijännitekojeiston jännitemuuntajien toisiojännite on 100 voltia.

Muuntajan käämit ja sydämet valetaan epoksimuoviin tai vastaavaan eristeeseen, jotta laite on eristetty tarpeeksi hyvin jännitetasoon nähden. Toisio kytkennöille muuntajassa on useasti erillinen liitäntäkotelo. (ABB Oy, 2000)



KUVA 11. ABB TJC jännitemuuntajia. (ABB Oy, 2020)

### 3.6 Muuntajat

Muuntajat ovat laitteita, joilla voidaan muuntaa vaihtovirtaa tai jännitettä toiseksi samantaajuiseksi vaihtovirraksi tai jännitteeksi. Sähkönjakelussa muuntajia käytetään vaihtojännitteen nostoon ja laskuun pitkien välimatkojen jännite- ja tehohäviöiden välttämiseksi. Muuntajia on rakenteeltaan ja tyyppiltään monia erilaisia, vaihdellen muuntajien käyttötarpeiden mukaan. Jakeluverkossa käytetään puisto- ja pylväsmuuntamoita keskijännitteen muuntamiseen pienjännitteeksi. Tehomuuntajia käytetään sähköntuotannon jakelussa kuluttajille. Tehomuuntaja on yleisnimitys jakelu- ja suurteho muuntajille, joita käytetään sähkönjakelun apuna. (Korpinen, 2008)

Muuntajan toiminta perustuu ensiökäämissä kulkevan vaihtovirran synnyttämään magneettivuon vaihteluun. Ensiökäämissä kulkeva virta synnyttää muuntajan rautasydämeen muuttuvan magneettivuon, joka puolestaan indusoi toisiokäämitykseen jännitteen. Ensiö- ja toisiokäämityksillä voidaan määrittellä muuntajan muuntosuhde. (Korpinen, 2008)

Muuntaja ei ole häviötön laite, vaan laitteessa olevien rautasydämen, kuparikäämityksien, ja vaihteleman magneettivuon takia laitteessa syntyy häviöitä. Magneettivuon vaihtelusta rautasydämessä syntyvät tyhjäkäyntihäviöt eli rautahäviöt. Kuormitus eli virtalämpöhäviöt syntyvät muuntajien ensiö- ja toisiokäämityksien induktanssin vaikutuksesta. Tyhjäkäyntihäviöt pysyvät aina vakiona, kun laitteeseen on kytketty käyttöjännite. Kuormitushäviöt vaihtelevat kuormituksen mukaan ja nämä yleensä ilmoitetaan muuntajan kilpiarvoissa muuntajan nimelliskuorman mukaan. (Korpinen, 2008)

Muuntajasta saadaan kolmivaiheinen kytkemällä yhteen kolme yksivaiheista muuntajaa, jokainen yksivaiheinen muuntaja muodostaa yhden kolmivaihemuuntajan vaiheen. Kolmevaihemuuntajia kytketään tyypillisesti tähteen tai kolmioon. Hakatähtikytkentä on myös yksi tyypillinen kytkentätapa, mutta ehkä hieman harvinaisempi verrattuna tähti- ja kolmiokytkentöihin. (Korpinen, 2008)

Muuntajassa syntyvät häviöt tämän rautasydämessä ja käämityksissä synnyttävät lämpöä. Lämpö, jota häviöistä syntyy, on johdettava ilmaan. Suurempi tehoisissa muuntajissa lämpöä on saatava johdettua pois muuntajasta tehokkaammin, kuin pienessä muuntajassa. Suurtehoisissa muuntajissa käytetään jäähdytysaineena joko ilmaa tai öljyä. Jäähdytysaineen perusteella muuntaja voidaan nimetä joko kuiva- tai öljymuuntajaksi. (Korpinen, 2008)

Ilmajäähdytteisen, eli kuivamuuntajan jäähdytystä voidaan parantaa lisäämällä ilman vaihtuvuutta. Käytännössä tämä tarkoittaa puhaltimien lisäystä ja lämpöä johtavien ripojen lisäämistä muuntajaan. Yleisempi muuntajan jäähdytystapa on öljyjäähdytys, jossa muuntajan käämit ja rautasydän upotetaan muuntaja öljyyn. Lämpö siirtyy sydäimestä ja käämeistä muuntaja öljyyn, jolla lämpö voidaan joko aaltolevyrakenteen tai radiaattorin avulla johtaa muuntajaa ympäröivään ilmaan. Öljymuuntajissa on usein myös paisuntasäiliö, joka sallii öljyn lämpenemisestä johtuvan öljyn laajenemisen. (Korpinen, 2008)



KUVA 12. ABB- jakelumuuntaja. (Onninen Oy, 2023)

### 3.7 Suojarele

Suojarele on laite, jota tyypillisesti käytetään keskijänniteverkkojen ja suurempien jänniteportaiden katkaisijoiden ohjaamiseen vikatilanteissa. Suojareleellä ohjataan katkaisija auki, jolloin verkosta saadaan poistettua vikaantunut verkon osa. Releiden avulla tarkkaillaan sähköverkon tilaa ja vian tapahtuessa ne antavat laukaisukäskyn katkaisijalle. Laukaisukäskyn vaikuttavat releen asetteluarvot ja niiden ylittyminen. Suojarele voi toimia joko laitteiston ensiö- tai toisiopiirissä riippuen laitteistosta. Nykyään yleisimpiä ovat toisioreleet, jotka toimivat mittamuuntajien toisiossa. Suojarele käyttää mittamuuntajilta saatavaa mittatietoa verkon tilan tarkkailuun ja suojauksen toteuttamiseen.

Suojarele on yleisnimi, jota käytetään kaikista suojaukseen käytettävistä releistä. Releet voidaan jaotella mitattavan suureen mukaan seuraavasti:

- ylivirtareleet
- ali- ja ylijännitereleet
- taajuusreleet
- suunta- ja tehoreleet
- epäsymmetriareleet
- vertoreleet sekä distanssireleet.

Ylivirtareleitä käytetään tyypillisesti suojaamaan laitteistoa- tai verkkoa ylikuormitukselta ja oikosuluilta. Säteittäisten verkkojen oikosulkusuojaus toteutetaan myös usein ylivirtareleillä. Releet voivat olla hetkellisiä ylivirtareleitä, vakioaikaylivirtareleitä tai käänteisaikaylivirtareleitä





KUVA 13. Arcteq AQ-F210 -suojarele. (Arcteq, 2023)

Ylivirtareleiden asetteluun käytetään usein aikaselektiivistä suojausta. Aikaselektiivinen suojaus voi olla joko vakioaikaista tai käänteisaikaista. Käänteisaikainen suojaus toimii sitä nopeammin, mitä suurempi mitattu virta on. Vakioaikainen suojaus ei ole riippuvainen mitatusta virrasta, vaan toimii vakioajalla havahtumisarvojen täytyttyä. Käänteisaikaisen suojauksen etuna on, että sillä saadaan viat nopeammin poistettua. Vakio-aikainensuojaus on taas helpompi asetella ja toimii varmemmin.

Relesuojauksen on tarkoitus olla käyttäjälle helppo ja sen on toimittava verkonsuojauksen ohjauksessa. Suojauksen on siis katettava koko suojattava järjestelmä ja sen on oltava käyttövarma sekä yksinkertainen. Verkon täytyy toimia suurimmassakin kuormitustilanteessa, mutta releen on havahduttava jo pienimmästä mitattavasta oikosulkuvirrasta. (Korpinen, 2008)

Suojareleistyksen avulla voidaan rajoittaa ulkopuolisten häiriöiden, esimerkiksi ukkosen aiheuttamia käyttökeskeytyksiä. Käyttökeskeytyksiä voidaan rajoittaa automaattikytkennöillä. Pikajälleenkytkentä on yksi tyypillisimmistä automaattikytkennöistä. Pikajälleenkytkennällä katkaisija aukeaa vian seurauksena ja sulkeutuu automaattisesti releelle asetetun aikavakion perusteella. (Monni, 2017)

Nykyiset suojareleet käyttävät mikroprosessoritekniikkaa, ja tämän tekniikan ansiosta ne pystyvät toimimaan luotettavasti ja nopeasti. Mikroprosessorin avulla releillä voidaan suorittaa monimutkaisiakin logiikkoja. Vanhemman malliset suojareleet ovat rakenteeltaan sähkömekaanisia. Nimitys perustuu siihen, että laitteet sisältävät liikkuvia osia. Vanhat releet toimivat samalla periaatteella kuin

osoittavat mittarit. Laitteet siis mittaavat sähkösuureen tehollis- tai keskiarvoa. Releet liitetään mittattavaan piiriin erottavien mittamuuntajien avulla, joiden avulla releet ovat toisiopiirissä. Sähkömekaaniset releet ovat hitaita ja epätarkkoja. Sähkömekaanisen releen etuna on niiden pitkä käyttöikä.

(Korpinen, 2008)



KUVA 14. Sähkömekaaniset toisioreleet ja laukaisutangot releeltä. (Selekto, 2019)

### 3.8 Releen asettelu

Suomessa sähköturvallisuusstandardit ovat asettaneet suojaukselle tarvittavia vaatimuksia. Minimi-vaatimuksia paremmalla suojauksella ja automaatiolla voidaan parantaa sähkönjakelun luotettavuutta. Keskijänniteverkolle tyypillistä on nollajohtimen ja tähtipistemaadoituksen puuttuminen. Edellä mainitut erikoispiirteet yksinkertaistavat selektiivisyyden toteuttamista suojauksessa. Ongelmana keskijänniteverkossa kuitenkin tulee maasulkujen paikantaminen ja niiltä suojautuminen. Sähköasemilla keskijänniteverkkoa syöttävät kennot ovat kaikki tyypillisesti releistettyjä. (Lakervi Erkki, 2008)

Oikosulkusuojauksen tarkoituksena on erottaa vioittuneet johto-osat ja suojata johtoja sekä laitteistoja. Tärkeänä suojauksen tavoitteena on myös suojata käyttäjät ja ulkopuoliset mahdollisten vikojen vaaroilta. Tarkoitukseen suomessa käytetään usein vakioaikaylirelettä. Rele sisältää toiminnon, jolla saadaan aikaan isolla virralla hetkellislaukaisu. Samoja releitä voidaan käyttää myös ylivirtasuojina. (Lakervi Erkki, 2008)

Hetkellislaukaisulla voidaan varmistaa, ettei katkaisijan läheisten johtojen ja laitteistojen oikosulkukestoisuudet ylity. Hetkellislaukaisua käytetään myös kiskostossa tapahtuvien kiskovikojen suojauksessa. Hetkellislaukaisua ja aikalaukaisua varten tarvitaan asetteluarvoja, jotka lasketaan verkollisen ominaisuuksien perusteella. (Lakervi Erkki, 2008)

Asetteluarvoja määritettäessä on tärkeää tietää verkon suurimmat ja pienimmät vikavirrat, verkon ja sen komponenttien oikosulkukestoisuudet, sekä nimellisvirrat ja suurimmat kuormitusvirrat. Oikosulkusuojaus tulee asetella niin että suojaus toimii luotettavasti pienimmällä suojattavan alueen oikosulkuvirralla. Asetteluarvot tulee tarkistaa suurimman kuormitusvirran sekä verkon komponenttien oikosulkukestoisuuden mukaisesti. Suojaus ei saa toimia pelkän kuormitusvirran tai kytkentävirrasyökyksien vaikutuksesta. (ABB Oy, 2000)

Releen asettelun kannalta on myös tärkeää tietää syöttävän verkon 3-vaiheinen oikosulkuvirta. Kolmivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_K = \frac{U_N}{\sqrt{3} \times \sqrt{(R_k + R_m + l \times r_j)^2 + (X_k + X_M + l \times x_j)^2}} \quad (1)$$

Missä

$I_k$  = Kolmivaiheinen oikosulkuvirta (kA)

$U_N$  = Laskentajännite 20 kV tai 10 kV

$R_k$  = Syöttävän 110 kV verkon oikosulkuresistanssi 20/10 kV portaassa ( $\Omega$ )

$X_k$  = Syöttävän 110 kV verkon oikosulkureaktanssi 20/10 kV portaassa ( $\Omega$ )

$R_M$  = Syöttömuuntajan resistanssi ( $\Omega$ )

$X_M$  = Syöttömuuntajan reaktanssi ( $\Omega$ )

$l$  = keskijännitejohdon pituus syöttöasemalta oikosulkukohtaan (km)

$r_j$  = keskijännitejohdon resistanssi/pituus ( $\Omega/\text{km}$ )

$x_j$  = keskijännitejohdon reaktanssi/pituus ( $\Omega/\text{km}$ )

(Adato Energia Oy, 2017)

Keskijännitejohdon sähkötekniset tiedot löytyvät useimmiten kaapelitoimittajan taulukoista. Resistanssi ja reaktanssi ilmoitetaan usein  $\Omega/\text{km}$  muodossa, jolloin voidaan laskea impedanssi kaapelin pituuden perusteella.

Keskijänniteverkon laskennassa jännitteelle käytetään kertoimia  $c_{min}$  ja  $c_{max}$ . Kertoimilla saadaan laskettua kaavan (1) mukaan oikosulkupisteessä esiintyvät maksimi- ja minimoikosulkuvirrat. Kertoimia voidaan käyttää myös jännitteen maksimi- ja minimiarvojen laskentaan seuraavasti.

$$E_{min} = \frac{c_{min} \times U_N}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

$$E_{max} = \frac{c_{max} \times U_N}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Kaavoissa (3) ja (4) suureet ovat:

$U_N$  = on nimellisjännite kV

$c_{min}$  = kerroin minimijännitteelle 1,0 keskijänniteverkossa

$c_{max}$  = kerroin maksimijännitteelle 1,1 keskijänniteverkossa

$E_{max}$  = Maksimijännite

$E_{min}$  = Minimijännite

(Rouvali, 2021)

Oikosulkusuojausta suunniteltaessa keskijänniteverkkoon ilman jälleenkytkentöjä, ensimmäisen laukaisuportaan määrittelee komponenttien ja kaapelien oikosulkukestoisuus. Oikosulkukestoisuus kerrotaan kaapelien osalta niiden sähkötekniisätiedoissa. Sama pätee muuntajiin ja muihin komponentteihin.

Ensimmäisen asteen ( $I>$ ) asettelussa voidaan käyttää apuna seuraavaa kaavaa.

$$t_{max} = \frac{I_{1s}^2}{I_{k3max}^2} s \quad (4)$$

kaavassa suureet tarkoittavat seuraavia

$t_{max}$  = maksimi katkaisuaika

$I_{1s}$  = kaapelin tai muun komponentin terminen oikosulkukestoisuus (kA)

$I_{k3max}$  = 3-vaiheinen maksimioikosulkuvirta (kA)

(Rouvali, 2021)

Virta-asettelu voidaan määrittää seuraavien vaatimusten mukaan:

- Pienin mahdollinen kaksivaiheinen oikosulkuvirta täytyy havaita.
- Pienin virta-arvo lasketaan pienimmästä esiintyvistä kolmivaiheisesta oikosulkuvirrasta ( $c=1,0$ )
- Verkkoyhtiöt käyttävät lisämarginaalia esim. siten, että virta-asettelu saa olla korkeintaan 70 % lasketusta pienimmästä kaksivaiheisesta oikosulkuvirrasta

Kuormitusvirta ei saa aiheuttaa turhaa katkaisijan toimintaa.

- Kuormitusvirta on tiedettävä tai se on arvioita.
- Verkkoyhtiöt käyttävät varmuuskerrointa, jonka mukaan kuormitusvirta saa olla jopa 3-kertainen, eikä se saa aiheuttaa katkaisijan laukaisua.

2-vaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_{k2min} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{k3min} = 0,866 \times I_{k3min} \quad (5)$$

Yhtälössä arvot ovat seuraavia.

$I_{k2min}$  = Pienin verkossa esiintyvä 2-vaiheinen oikosulkuvirta.

$I_{k3min}$  = Pienin verkossa esiintyvä 3-vaiheinen oikosulkuvirta.

(Rouvali, 2021)

Releelle voidaan asettaa monta katkaisijan laukaisevaa virta-/ aikaperusteista laukaisua. Näitä kutsutaan tyypillisesti asetteluarvoiksi. Asetteluarvoissa voidaan käyttää myös hyväksi jälleenkytkentää. Jälleenkytkentä on releeseen rakennettu automatiikka, joka sulkee katkaisijan tietyn aikaviiveen jälkeen katkaisijan aukaisusta. Jälleenkytkentää käytetään tilanteissa, joissa vika, esimerkiksi vaiheiden välinen läpilyönti, poistuu jännitteettömänä aikana. Jälleenkytkennällä voidaan välttää näin pitkät jännitekatkot.

Releelle tyypillinen asettelu katkaisijan ohjauksen suhteen tehdään kahdella portaalla. Ensimmäinen porras on aikaperusteinen ( $I>$ ,  $t>$ ), jossa aikana käytetään kaavassa (4) saatua aikaa. Rele antaa katkaisijalle avauskäskyn ennakoin, laitteiden terminen oikosulkukestävyys ylitetään. Rele ei saa kuitenkaan antaa avauskäskyä kuormitusvirran vaikutuksesta ja sen on havaittava pienin 2-vaiheinen oikosulkuvirta. Ensimmäisen asteen asettelu määräytyykin usein pienimmän 2-vaiheisen oikosulkuvirran ja maksimikuormitusvirran välille. Ensimmäisen asteen asettelua kutsutaan aikalaukaisuksi.

Toisen asteen ( $I>>$ ,  $t>>$ ) asettelu on nimeltään pikalaukaisu, joka noudattaa korkeamman virran ja nopeamman aikaviiveen mukaista katkaisijan avautusta. Rele havahtuu, kun virtamuuntajalta saadun tiedon mukaisesti virta on ylittänyt ( $I>>$ ) rajan. Pikalaukaisun virta on huomattavasti suurempi kuin aikalaukaisun virta. Pikalaukaisussa katkaisija avataan huomattavasti nopeammin kuin ensimmäisen asteen asettelulla, jolloin laitteistoa saadaan suojeltua paremmin.

Katkaisun jälkeisissä jälleen kytkennöissä käytetään nimityksiä pikajälleenkytkentä ja aikajälleenkytkentä. Nämä voidaan lyhentää PJK ja AJK. Pikajälleenkytkennällä rele ohjaa katkaisijan takaisin kiinni muutaman sekunnin jälkeen tehdystä katkaisijan avauksesta. Pikajälleenkytkentää käytetään jännitteettömänä aikana poistuviin vikoihin, esimerkiksi läpilyönit vaiheiden välillä. Pikajälleenkytkentä voi olla esimerkiksi 0,5 s siitä, kun katkaisija on auennut.

Aikajälleenkytkentä toimii samalla periaatteella kuin pikajälleenkytkentä mutta sillä on pidempi aikaviive. Aikajälleenkytkennässä jännitteetönaika on huomattavasti pitempi kuin pikajälleenkytkennällä. Aikajälleenkytkennän aikaväli on tyypillisesti 1–3 minuutin luokkaa. Aikajälleenkytkennässä otetaan huomioon komponenttien ja kaapelien jäähtyminen laskemalla oikosulkuvirran ekvivalenttinen vaikutusaika  $t$  yhtälöstä:

$$t = t_1 \times e^{-\frac{t_0}{\tau}} + t_2 \quad (6)$$

jossa

$t$  = oikosulkuvirran ekvivalenttinen vaikutusaika

$t_1$  = PJK:ta edeltävän ja PJK:n jälkeisen oikosulkuvirran kestoajojen summa, eli releeseen asetettujen hidastusaikojen summa lisättynä releen havahtumis- ja valokaariajoilla jokaista katkaisutoimintoa kohti. Releen havahtumisajan ja valokaariajan summa on n. 0,1 s.

$t_0$  = AJK:ta edeltävä jännitteetön väliaika minuutteina

$\tau$  = kullekin johdintyypille ominainen jäähtymisvakio

$t_2$  = AJK:n jälkeisen oikosulkuvirran kesto aika, joka lasketaan samalla periaatteella kuin  $t_1$

(Rouvali, 2021)

### 3.9 Huipputeho

Huipputeho on tärkeä määrittää kiinteistökohtaista suojausta varten. Huipputehosta voidaan määrittää huippukuormitusvirta, jonka avulla voidaan määrittellä relesuojauksen virta-asettelu. Virta-asettelu määräytyy kuormitusvirran ja pienimmän 2-vaiheisen oikosulkuvirran välille. Kuormitusvirta kerrotaan varmuuskertoimella, jotta kuormitushuippu ei aiheuta turhaa katkaisijan toimintaa.

Huipputehoa on työlästä lähteä laskemaan isosta teollisuuskiinteistöstä, koska kaikkien laitteiden huipputehoa on hankala määrittää ja teknisten tietojen etsiminen vaatii aikaa. Tällä tavalla saavutettiin kuitenkin varma ja tarkka laskelma, joka pitää hyvin paikkansa.

Huipputehon määrittämisessä tulee ottaa huomioon myös mahdollinen loistehon vaikutus. Energiayhtiöt mittaavat loistehoa asiakkaiden sähköliittymistä. Loistehon määrä vaikuttaa myös näennäistehon määrään. Alla olevalla kaavalla saadaan laskettua näennäisteho, kun tiedetään loisteho ja pätöteho.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (7)$$

Huipputehon määrittämisessä voidaan kuitenkin hyödyntää kiinteistön sähkömittaustietoja. Tiedot saadaan tyyppillisesti jakeluverkonhaltijalta. Kulutustiedot voitaisiin myös saada mittaamalla ne erillisen mittauksen avulla, jos jakeluverkolta ei olisi saatavilla tietoja. (Adato Energia Oy, 2017)

Huipputehon laskemiseen hyödynnetään jakeluverkonhaltijalta saatuja mittaustietoja ja kertoimia, jotka määrittelevät kiinteistölle käyttökertoimia. Huipputehon laskemiseen voidaan käyttää alla olevia kaavoja:

$$P_i = k_1 \times W_i + k_{2i} \sqrt{W_i} \quad (8)$$

Jossa:

$P_i$  = Ryhmän huipputeho (kW)

$k_1$  = kerroin (Velanderin kaavan kerroin, perustuu käytäntöön ja tilastoon 1)

$k_2$  = kerroin (Velanderin kaavan kerroin, perustuu käytäntöön ja tilastoon 2)

$\alpha$  = Osallistumiskerroin, joka ilmaisee, kuinka suuri osa tehosta on käytössä tarkasteltavana hetkenä.

$W_i$  = Vuosienergia (MWh)

Kaava 10 esittää osallistumiskertoimen avulla paljonko tietty kuluttajaryhmä tarvitsee tehoa tietyllä ajanhetkellä.

$$P = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times P_i \quad (9)$$

Jossa:

$\alpha_i$  = Osallistumiskerroin, joka ilmaisee, kuinka suuri osa kuluttajaryhmän suurimmasta tehosta on käytössä tarkasteltavana hetkenä.

$P_i$  = Ryhmän  $i$  huipputeho

$P$  = Huipputeho

TAULUKKO 1. Velanderin kertoimet talvihuipun etsimiseen. (Adato Energia Oy, 2017)

Kuluttajaryhmä	$k_1$	$k_2$
Kotitaloudet yhdistetty	0,30	0,00
Yhdistetty sähkölämmitys ja asuminen	0,27	0,02
Maatalous	0,23	0,04
Maatalous, viljantuotanto	0,20	0,08
Palvelu, yhdistetty	0,20	0,04
Teollisuus, 1-vuoro	0,34	0,10
Teollisuus, 2-vuoro	0,17	0,11
Vapaa-ajan asunnot	0,17	0,03



TAULUKKO 2. Eri kuluttajaryhmien tyyppilisiä osallistumiskertoimia talven huippukuormituskaudella. (Adato Energia Oy, 2017)

Kuluttajaryhmä	Osallistumiskerroin						
	Kellonaika						
	8-9	9-10	15-16	16-17	17-18	21-22	22-23
Kotitaloudet yhdistetty	0,55	0,50	0,60	0,80	0,95	0,75	0,55
Yhdistetty sähkölämmitys ja asuminen	0,50	0,50	0,55	0,55	0,60	0,75	1,00
Maatalous	0,95	0,70	0,55	0,75	1,00	0,50	0,40
Maatalous, viljanviljely	0,95	1,00	0,85	0,80	0,80	0,85	0,95
Palvelu yhdistetty	0,90	1,00	0,90	0,80	0,80	0,50	0,45
Teollisuus, 1-vuoro	0,95	1,00	0,80	0,45	0,35	0,20	0,20
Teollisuus, 2-vuoro	0,95	1,00	0,80	0,70	0,65	0,45	0,40
Vapaa-ajan asunnot	0,95	0,95	0,90	0,95	0,95	0,95	0,90

Huipunkäyttöaika on tunnusluku, joka kertoo miten paljon kohde käyttää sille laskennallista huipputehoa. Pieni huipunkäyttöaika tarkoittaa, että kuormitushuippu ei ole useasti havaittavissa. Suuri huipunkäyttöaika taas tarkoittaa, että laitos toimii huipputehollaan suurimman osan ajastaan. Huipunkäyttöaika voidaan laskea seuraavasti.

$$T_k = \frac{P_k \times T}{P_{max1h}} \quad (10)$$

Jossa

$P_k$  = keskiteho, Kw

$T$  = vuoden tunnit, 8760 h

$P_{max1h}$  = huipputuntiteho

(Eckert, 2019)

Huipputehoa laskettaessa voidaan käyttää apuna keskitehoa. Keskitehoon lisäämällä ylitystodennäköisyyttä  $\alpha$  vastaava kerroin ja tunnettu hajonta  $\sigma$ . Tällä tavalla huipputehoa arvioidaan tilastomatiikan avulla, kun oletetaan samantyyppisten sähkökäyttäjien tehojen vaihtelujen olevan normaalijakauman mukaisia. Ylitystodennäköisyyksille on tehty taulukko, jonka mukaan voidaan määrittellä arvo  $z$  kertoimelle. Ylitystodennäköisyys on todennäköisyys sille, että huipputeho ei ylitä laskennallista huipputehoa. Esimerkiksi ylitystodennäköisyyden ollessa  $\alpha = 1\%$  halutaan 99% todennäköisyys sille, ettei huipputeho ylitä laskettua tehoa.  $\alpha$  ollessa 1% normaalijakauman kertoimeksi  $Z_{99}$  saadaan 2,32 (taulukko 3). Kyseinen huipputeho on siis 2,32 hajonnan päässä keskitehosta. Huipputeho saadaan laskettua kaavalla (11). (Lakervi Erkki, 2008)

TAULUKKO 3. Ylitystodennäköisyyksiä, ja niiden kertoimia

z	Todennäköisyys sille, että $x < \mu + z \cdot \sigma$			
0,00				0,50
0,68				0,75
1,00				0,84
1,65				0,95
2,00				0,97
2,32				0,99
3,00				0,999
4				0,99997

$$P_{max} = P_{ave} + z_{\alpha} \times \sigma \quad (11)$$

jossa

$P_{max}$  = Huipputeho (kW)

$P_{ave}$  = Keskiteho (kW)

$z_{\alpha}$  = kerroin ylitystodennäköisyyden mukaan (taulukko 3)

$\sigma$  = Hajonta

Jos käyttäjiä tai sähkönkuluttajia on useampia, voidaan käyttää kaavaa (12), joka ottaa huomioon käyttäjien lukumäärän huipputehon laskennassa. Kaavalla lasketaan siis summakuormitusten huipputeho, eli eri aikaan ja eri tavalla esiintyvät huipputehot.

$$P_{max} = n \times P_{ave} + z_{\alpha} \times \sqrt{n} \times \sigma \quad (12)$$

Kaava on vastaavanlainen kuin kaava (11), mutta seuraavalla erotuksella:

$n$  = kuluttajien lukumäärä

(Lakervi Erkki, 2008)

## 4 OIKOSULKUVIRRAT JA HUIPPUTEHO

Tässä kappaleessa käydään läpi liittymäpisteen oikosulkuvirrat mitoituksen kannalta. Lisäksi kappaleessa lasketaan ja arvioidaan kiinteistön huipputehoa. Oikosulkuvirran ja kiinteistön huipputehon perusteella voidaan mitoittaa keskijännitekojeiston komponentit ja asetella suojarole.

### 4.1 Oikosulkuvirrat

Oikosulkuvirta voidaan määrittää laskemalla se kaavan (1) avulla. Kaavan käyttöön tarvitaan kuitenkin muuntajan ja sitä edeltävän sähköverkon resistanssin ja reaktanssien arvot. Nämä arvot ovat jakeluverkkoyhtiön hallussa. Jakeluverkkoyhtiöllä on näiden arvojen perusteella myös tiedossa jakeluverkon pisteiden oikosulkuvirrat.

Savon Voima Verkko Oy on jakeluverkon hallitsija Sorsasalossa, Kuopiossa. Savon Voima Verkko omistaa jakelumuuntajan ja sitä edeltävän verkon ja vastaa sen kunnossapidosta ja hallinnasta. Scantarpin 20 kV syöttö on liitetty jakelumuuntajalle Sorsasalontien läheisyydessä. Liityntäkaapeli on asiakasomisteinen niin kuin myös 20 kV kojeisto kiinteistön sisässä. Savon Voimalla ei ole siis Scantarpin liittymän kannalta muuta tietoa kuin muuntajan liittymispisteen oikosulkuvirta.

Scantarpin liittymispisteen oikosulkuvirta saatiin Savon Voima verkko Oy:lta. Oikosulkuvirta ilmoitettiin 3-vaiheisena oikosulkuvirtana ja 2-vaiheisena oikosulkuvirtana. Oikosulkuvirran, liittymiskaapelin tyypin- ja pituuden perusteella voidaan laskea kaapeliliityntäkennossa oleva oikosulkuvirta.

Scantarpin kiinteistöstä löytyi vanha Savon Voiman toimittama Trimble NIS tuloste, jossa näkyy syöttävä muuntaja ja asiakkaan kaapeliosuus. Kaapeliosuudelle ei ollut mittatietoja, joten se mitattiin maan pinnalta mittapyörällä. Kiinteistön sisällä oleva kaapeliosuus mitattiin laserin avulla ja kaapelipäätteisiin ja nousuihin arvioitiin metrimäärät. Kaapelimitta on osittain arvio, koska kaapelin kulureittiä ei tiedetä pihassa, eikä maanalla ilman kaapelinäyttöä.



KUVA 15. Trimble NIS kuvankaappaus Scantarpin läheisestä muuntajasta ja johto-osuudesta (Tirkkonen, 2023)

Kaapelin tyyppi on APYAKMM 3x185, joka on öljypaperieristeistä keskijännitekaapelia. Kaapeli on vanhojen dokumenttien mukaan APYAKMM 3x120, mutta kaapeli on vaihdettu, kun kiinteistöä syöttäväksi muuntajaksi on vaihtunut Sorsasalontien läheinen jakelumuuntaja. Kaapelin mitaksi saatiin mittauksessa 142 metriä. Mitta ei ole tarkka, koska kaapelinmittauksen yhteydessä ei ole tehty kaapelinäyttöä, jolla selviäisi tarkka kaapelinkulkureitti.

Oikosulkuvirran avulla voidaan määrittää siinä pisteessä oleva verkon impedanssi. Tähän impedanssiin voidaan lisätä Scantarpin kiinteistöä syöttävän kaapelin impedanssi. Kun impedanssit lisätään yhteen, voidaan tällä impedanssilla laskea oikosulkuvirta. Tulokseksi saadaan kaapelinliityntäkenossa oleva oikosulkuvirran määrä. Laskutoimituksen suorittamiseen tarvitaan kaapelin resistanssi ja reaktanssi kilometriä kohden. Tämä saadaan LIITE 1, josta nähdään myös muita kaapelin teknisiä tietoja.

Aloitetaan muokkaamalla oikosulkuvirran kaavaa muotoon, jolla voidaan ratkaista impedanssi.

$$I_k = \frac{E}{Z_Q + Z_T + Z_J} \rightarrow I_k = \frac{E}{Z} \rightarrow Z = \frac{E}{I_k} \quad (13)$$

Kaavassa:

$I_k$  = Oikosulkuvirta

$E$  = Vaihejännite (kV)

$Z'_Q$  = Syöttävän verkon redusoitu impedanssi

$Z_T$  = Päämuuntajan impedanssi

$Z_J$  = Muuntajan ja vikapaikan välisen johdon vaiheimpedanssi

Kaavaa (13) käyttäessä on otettava huomioon, että pääjännitteellä ja kolmivaiheisella oikosulkuvirralla ei voida laskea vaiheimpedanssia. Joten käytetään vaihejännitettä ja yksivaiheista oikosulkuvirtaa. Pääjännitteestä saadaan vaihejännite jakamalla pääjännite neliöjuurikolmella.

$$E = \frac{20 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 11547 \text{ V} \sim 11,55 \text{ kV} \quad (14)$$

Scantarpin kiinteistöä syöttävän kj- johdon impedanssia ei vielä tiedetä, joten laskutoimituksesta saadaan impedanssi ilman  $Z_J$ :n arvoa. Lasku antaa kuitenkin muuntajan ja syöttävän verkon impedanssin yhteen laskettuna eli  $Z$ .

Suoritetaan laskutoimitus Savon Voima verkko Oy:n toimittamilla oikosulkuvirran arvoilla:

$$Z_{QT} = \frac{11,547 \text{ kV}}{3764 \text{ A}} = 3,0677 \Omega \sim 3,07\Omega \quad (15)$$

Laskettuun impedanssiin voidaan tämän jälkeen lisätä kiinteistöä syöttävän kaapelin impedanssi, joka saadaan kertomalla johdon resistanssi ja reaktanssi johdon pituudella. (Rouvali, 2021)

$$Z_J = l \times (R_J + j \times X_J) \quad (16)$$

Kaavassa

$Z_j$  = Johdon impedanssi

$l$  = Johdon pituus (km)

$R_j$  = Johdon resistanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

$j$  = imaginaari yksikkö

$X_j$  = Johdon reaktanssi ( $\Omega/\text{km}$ )

Suoritetaan laskutoimitus ottamalla johdon tekniset tiedot LIITE 1 taulukosta. Johdon pituus on 184 metriä edellä mainitun mittauksen perusteella.

$$Z = 0,184 \text{ km} \times \sqrt{\left(\left(0,189 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)^2 + \left(0,107 \frac{\Omega}{\text{km}}\right)^2\right)} = \sqrt{(0,034776\Omega)^2 + (0,019688\Omega)^2} = 0,039701 \sim 0,040 \Omega \quad (17)$$

Tulos antaa reaktanssin osalle imaginaarikertoimen, jonka avulla voidaan määrittää osoittimien avulla sen kulma. Jos kaikille suureille olisi annettu osoittimet ja kulmat voitaisiin laskenta suorittaa niitä hyödyntäen, mutta Savon Voimalta saadussa oikosulkuvirrassa ei ole imaginaariosaa. Laskenta suoritetaan siis pelkillä reaali-osilla. Hyödynnetään kaavaa (13) ja lasketaan kaapeliliityntäkennossa oleva oikosulkuvirta.

$$I_K = \frac{E}{Z_{QT} + Z_j} \rightarrow \frac{11,547 \text{ kV}}{3,07 \Omega + 0,0400 \Omega} = 3712,86 \text{ A} \sim 3713 \text{ A} \quad (18)$$

## 4.2 Huipputeho

Huipputehon määrittäminen on tärkeää, jotta laitteiden ja komponenttien virta-arvot saadaan oikealle tasolle. Huipputehon avulla saadaan laskettua maksimikuormitusvirta. Suojarele asetellaan kuormitusvirran ja 2-vaiheisen oikosulkuvirran välille. Scantarpin kiinteistössä on jo olemassa oleva kojeisto, jossa on jakeluverkonhaltijan sähkömittaus. Mittaustiedot on pyydetty Savon Voima Verkko Oy:lta ja ne on toimitettu vuoden 2022 osalta. Mittaustiedot ovat yhden (1) tunnin mittaustietoja ja ne ovat ilmoitettu kilowattitunteina.

Käyttö- ja mittaustiedoissa on myös kerätty loistehon arvo yhtä tuntia kohden. Loisteho vaikuttaa huipputehon mitoittamiseen lisäämällä kiinteistön verkonkuormitusta. Loistehon mittauksista on koottu tarvittavat tiedot TAULUKKO 4. Kiinteistössä ei ole loistehon kompensointia, joka tarkoittaa, että kiinteistön omistaja joutuu maksamaan verkosta otetusta loistehosta. Scantarpin loisteho on suurimaksi osaksi induktiivista loistehoa, koska isot moottorikuormat vaativat induktiivista loistehoa magneettikenttien luomiseen. Pätötehon ( $P$ ) ja loistehon ( $Q$ ) avulla voidaan laskea näennäisteho ( $S$ ) alla

olevalla kaavalla. Näennäistehoa voidaan käyttää lopullisissa laskelmissa koska se ottaa huomioon pätötehon ja loistehon vaikutuksen kokonaistehoon.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (20)$$

$S$  = Näennäisteho (VA)

$P$  = Pätöteho (W)

$Q$  = Loisteho (Var)

Pätötehon ja näennäistehon avulla saadaan myös laskettua verkon tehokerroin, eli  $\cos\varphi$ .

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (21)$$

$P$  = Pätöteho (W)

$S$  = Näennäisteho (VA)

$\cos\varphi$  = Tehokerroin

Mittaustiedot on kerätty Savon Voiman puolesta exceliin, jossa tuloksia on helpompi tarkastella ja käsitellä. Kohdassa 3.9 on määritetty huipputehon laskennalle kaavoja ja tapoja. Ennen laskentaa on tiedossa tuntikohtaisia kulutusarvoja. Excelin työkalujen avulla tiedoista on haettu maksimi tuntikulutus, keskiarvo, ja keskihajoama. Arvoja tarvitaan huipputehon määrittämiseen kaavojen avulla. Kootut mittaustiedot nähdään TAULUKKO 4.

TAULUKKO 4. Scantarpin kerätyt käyttötiedot

Scantarp käyttötiedot 1.1.2022-31.12.2022 Savon Voima Oy					
DEVloisteho	112,31	kvarh	DEVpätöteho	390,14	kwh
keskiarvo	125,83	kvarh	keskiarvo	579,57	kwh
max loisteho	340,00	kvarh	max pätöteho	1394,00	kwh
kokonaisloisteho	1102259,00	kvarh	kokonaispätöteho	5077009,00	kwh
MVAR	1102,26		Mwh	5077,01	
kokonaisvuosi teho	5195285,87	kVA	tehokerroin	0,9772	
$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	5195,29	MVA	$\cos\varphi = \frac{P}{S}$		
keskinäennäisteho	593,06916	kVA			
max näennäisteho	1434,8645	kVA			
DEV = keskihajoama eli ero keskiarvosta					
Keskihajonta mittaa sitä, kuinka paljon arvot poikkeavat keskiarvosta					

Lasketaan huipputeho keskitehon ja ylityskertoimen avulla kaavalla (11). Käytetään hajontana ( $\sigma$ ) TAULUKKO 3 arvoa 0,97. Arvo 0,97 tarkoittaa että todennäköisyys sille, että todellinen maksimiteho ylittää lasketun arvon on 3 %. TAULUKKO 3 otetaan 0,97 vastaava  $z_\alpha$  arvo, joka on 2,00. Kaavaan tarvitaan myös keskiteho, joka on laskettu Excel-tilaukossa Scantarpin käyttötiedoista vuodelta 2022. Keskitehona käytetään näennäiskeskitehoa, jolloin myös loistehon osuus otetaan laskennassa huomioon. Suoritetaan laskenta:

$$S_{max} = S_{ave} \times z_\alpha \times \sigma \rightarrow 593,06kVA \times 2,00 \times 0,97 = 1150,54 kVA \quad (22)$$

kaavassa:

$S_{max}$  = Huipputeho (kVA)

$S_{ave}$  = Keskiteho (kVA)

$z_\alpha$  = kerroin ylitystodennäköisyyden mukaan (taulukko 3)

$\sigma$  = Hajonta

Lasketaan saadusta tehosta virta, jota voidaan käyttää mitoituksissa. Tehokertoimen arvo on otettu TAULUKKO 4, tämä on lähin arvio todellisesta tehokertoimesta.

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} \rightarrow \frac{1150,54 kVA}{\sqrt{3} \times 20kV} = 33,213A \sim 33A \quad (23)$$

Koska releen asettelu asetetaan pienimmän 2-vaiheisen oikosulkuvirran ja kolminkertaisen kuormitusvirran välille on releen laukaisuvirta asettelu välillä: 99 A - 3726 A. Releen virta-asettelu voisi olla siis luokkaa 160 A.

Lasketaan tietojen avulla vielä huipunkäyttöaika, joka antaa tunnusluvun siitä, kuinka paljon huipputehoa käytetään verrattuna keskitehoon. Suuri huipunkäyttöaika on merkki siitä, että huipputehoa käytetään paljon, kun taas pienempi luku kertoo, että huipputehoa käytetään vähemmän kuin keskitehoa. Kaava antaa huipunkäyttöajan tunteina (h). Huipunkäyttöaika lasketaan kaavalla (10). Arvot laskentaan otetaan TAULUKKO 4.

$$T_k = \frac{S_k \times T}{S_{max1h}} \rightarrow \frac{593kVA \times 8760h}{1434kVA} = 3622,5 \quad (24)$$

Huipunkäyttöajasta voidaan päätellä, että huipputehoa esiintyy scantarpin tuotannossa suhteellisen paljon. Tuotannon ollessa käynnissä keskiteho ylitetään ja tuotantoa ylös ajettaessa voidaan jopa ylittää huipputeho.



Varmistetaan huipputeho vielä Trimble NIS ohjelmalla, jota esimerkiksi verkkoyhtiöt käyttävät keskijänniteverkon suunnitteluun ja mitoitukseen. Trimble NIS ohjelmalla pystytään tiettyjen lähtötietojen avulla laskemaan huipputeho sekä huipunkäyttöaika. Trimble NIS käyttää vastaavanlaisia hajonnan ja ylitystodennäköisyyden kertoimia kuin kaavassa (11). Trimbleen voidaan syöttää käyttöpisteen tunnettu vuosienergia, jonka avulla ohjelma laskee huipputehon. Huipputehon laskennassa valitaan myös minkä tyyppinen kyseinen kuluttaja on valitsemalla kuluttajaryhmä. Laskennassa käytin kahta eri kuluttajaryhmää, jotka olivat 2-vuoroteollisuus ja yhdistetty teollisuus. Alla olevista KUVA 16 ja KUVA 17 nähdään laskennan tulokset.

Kulutus liittymälle Scantarp liittymä

Ryhmä  
 Teollisuus 2-vuoro

Käyttöpaikkojen lukumäärä  Huipputeho (kW)   
 Vuosienergia (kWh)  Huipun käyttöaika (t)   
 Kerrosala (m<sup>2</sup>)   
 Kulutus perustuu  Laske

Lisää Muuta Poista

	ATJ-asi...	Ryhmän nimi	Käyttöpai...	Energia...	Teho (k...	Kerrosala (...)	Perustuu	Mittaukset
*	2	Teollisuus 2-vuoro	1	5195286	1399.97	0	Vuosiene...	

Yhteensä: 1 kuluttajaa, 5195286 kWh

OK Hyväksy Peruuta Ohje

KUVA 16. 2-vuoroteollisuus huipputeholaskelma Trimble NIS

Kulutus liittymälle Scantarp liittymä

Ryhmä  
3 Teollisuus yhdistett

Käyttöpaikkojen lukumäärä 1 Huipputeho (kW) 1671.05  
 Vuosienergia (kWh) 5195286 Huipun käyttöaika (t) 3109  
 Kerrosala (m<sup>2</sup>) 0  
 Kulutus perustuu Vuosienergia Laske

Lisää Muuta Poista

ATJ-asi...	Ryhmän nimi	Käyttöpai...	Energia...	Teho (k...	Kerrosala (...)	Perustuu	Mittaukset
2	Teollisuus 2-vuoro	1	5195286	1399.97	0	Vuosiene...	

Yhteensä: 1 kuluttajaa, 5195286 kWh

OK Hyväksy Peruuta Ohje

KUVA 17. Teollisuus yhdistetty huipputeholaskenta Trimble NIS

Trimble NIS ohjelman suorittamia laskelmia voidaan verrata TAULUKKO 4 maksimi näennäistehoon yhtä tuntia kohden, joka on 1434 VAh. 2-vuoro teollisuuden laskenta jää hieman arvon alle, kun taas teollisuus yhdistetty laskenta on sen yli. Todellinen huipputeho on jossain näiden kahden arvon välillä. Käytetään virran laskentaan arvoa 1671 kW. Tällöin laskettu kuormitusvirta ei ole alimitoitettu ja kuormituksesta johtuva mahdollinen katkaisijan väärälaukaisu on epätodennäköisempää.

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \rightarrow \frac{1671,05 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV} \times 0,977} = 49,375 \text{ A} \sim 49 \text{ A} \quad (26)$$

ta on hieman suurempi Trimble NIS ohjelman arvolla laskettuna kuin kaavan arvolla laskettuna. Virta-asetteluksi oli aiemmin ajateltu 160 A. Kun laskettu kuormitusvirta kerrotaan releenasetteluohjeen mukaisesti kolminkertaiseksi, päästään arvoon 147 A. Tämä on lähellä arvoa 160 A, joten luotamme siihen, että asetteluvirta on oikein.

## 5 TYÖSUUNNITELMAT

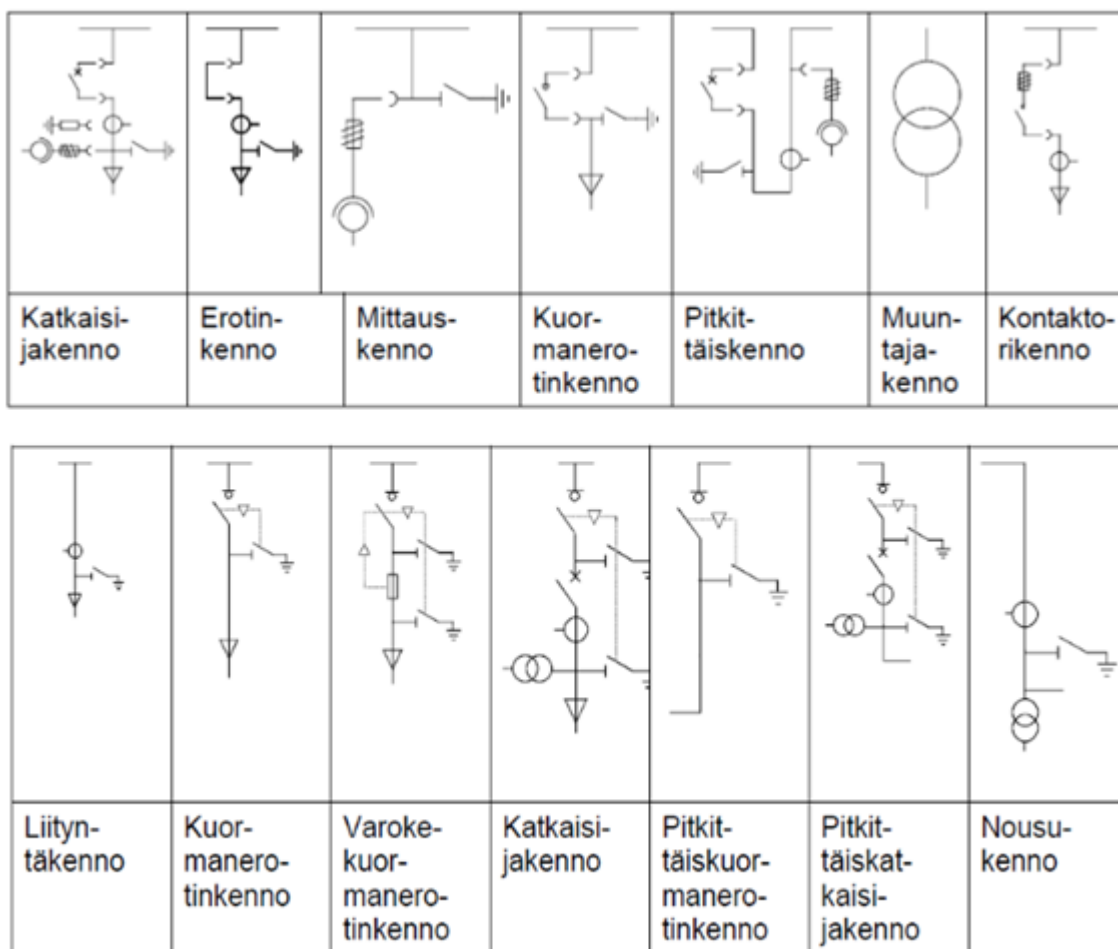
Tässä kohdassa käydään läpi kojeiston suunnitteluun liittyvien dokumenttien tekemistä ja siihen liittyviä seikkoja. Työsuunnitelmat ovat uuden kojeiston tilaamiseen ja rakentamiseen liittyvät dokumentit.

### 5.1 Pääkaavio

Pääkaavio on piirustus, joka esittää kojeiston periaatteellisen järjestelyn sekä pääpiirien elimet ja näihin liittyvät laitteet. Pääkaavio tehdään yksiviivaisena esityksenä yleispiirrosmerkkejä käyttäen. Yksiviivaisella esitystavalla tarkoitetaan sitä, että yksittäisiä vaiheita ei piirretä omina viivoinaan, vaan yksi viiva tarkoittaa kaikkia kolmea vaihetta. (Sähkötieto Ry, 1994)

Pääkaaviosta ilmenee kaikki pääpiiriin kuuluvat kojeet, kiskostot, johdot, sekä näiden apulaitteet. Apulaitteita voivat olla esimerkiksi releet ja mittarit. Kaavioiden tulee noudattaa mahdollisimman tarkkaan laitteiden todellista sijoitusta. Kaavioon tulee myös merkitä laiteosien, asennusyksiköiden, sekä erillisten päaelinten laitetunnukset. (Sähkötieto Ry, 1994)

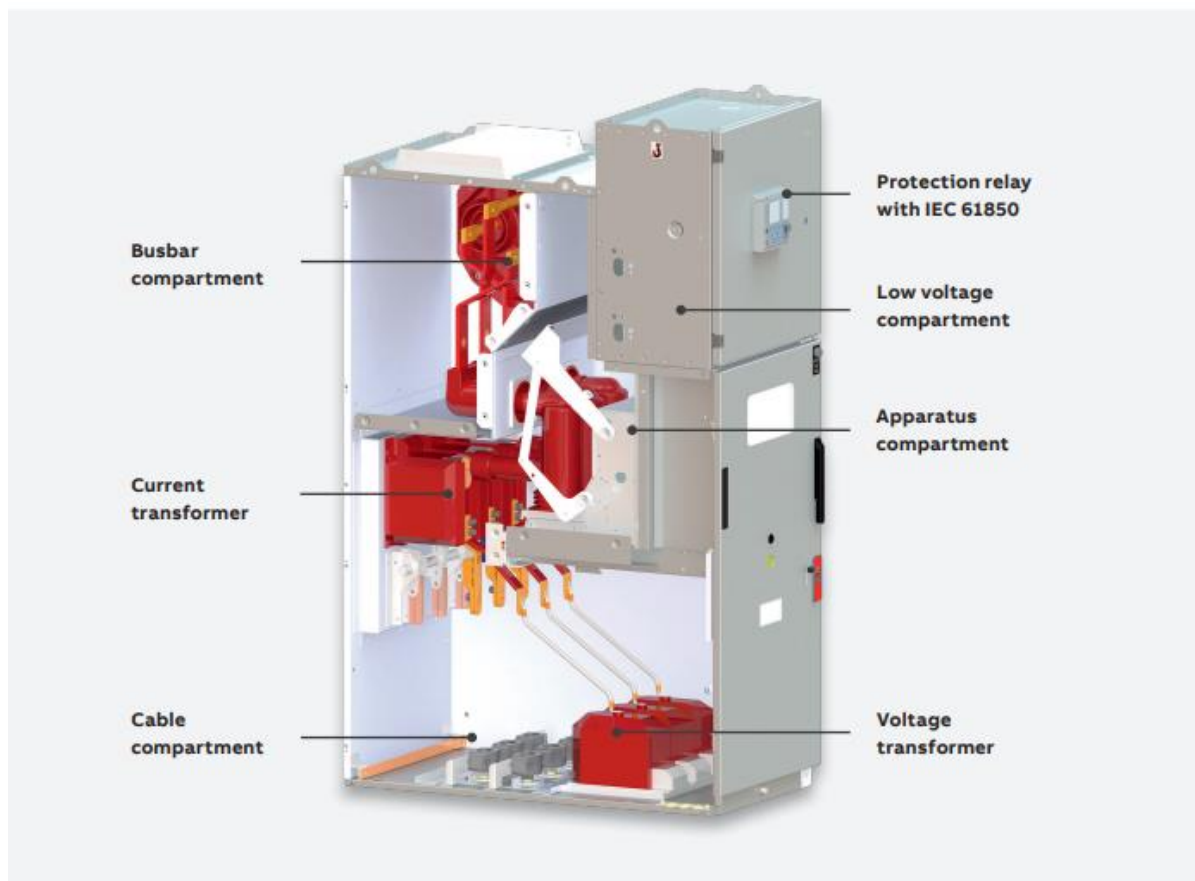
Pääkaavion suunnittelussa käytin apuna ST-kortiston ohjetta ja ABB:n tietoteknisen oppaan ohjeistusta. Käytin myös apuna vanhaa pääkaaviota ja siihen liittyviä dokumentteja. Suunnittelin pääkaavion Cadmatic2022-ohjelmalla. Ohjelmassa ei ollut valmiita kirjastoja erilaisille kennorakenteille, joten piirsin pääkaaviossa tarvittavat kennot itse erillisistä komponenteista. ABB:n tietotekninen opas nro. 13 antaa malleja, kuinka kojeistot tulisi piirtää. KUVA 18 esittää erilaisten kojeistokennojen piirrosmerkkejä.



KUVA 18. Erityyppisten kennojen piirrosmerkkejä kojeistoissa. (ABB Oy, 2000)

Erillisten kennojen määrittysten jälkeen tein piirustukseen kennokohtaiset rajaukset. Rajauksiin jätettiin kaksi tyhjää rajausta, joihin ei tule toistaiseksi kennoja. Tämä tehtiin, jotta tulevaisuudessa on mahdollisuus laajentaa kojeistoa mahdollisten lisäyksien ja muutosten tapahtuessa kiinteistössä. Rajauksissa kennoja määriteltiin kojeistoon viisi kappaletta. Ensimmäinen kenno on tarkoitettu syöttävän keskijänniteverkon liittämiseen ja erottamiseen. Ensimmäiseen kennoon tulee virtamuuntajat, erotin, maadoituskytkin ja kaapelipäätteet.

Toinen kenno on tarkoitettu katkaisijalle, suojareleelle ja näihin liittyville komponenteille. Edellisen kennon yläpuolelta tuleva kisko syöttää kennoa. Kiskostosta tullaan katkaisijalle, jonka jälkeen kennossa on jännite- sekä virtamuuntajat. Kennon alapuolelta syötetään seuraavaa kennoa kiskostolla. Katkaisijakennossa on toisilaitteille oma osionsa, jossa on kaikki mittamuuntajien ja suojareleeseen liittyvät toisiokomponentit. Toisio-osa on erillisesti koteloitu ja suojattu. KUVA 19 esittää katkaisijakennon rakennetta ja eri osastoiteja.



KUVA 19. Katkaisijakennon tyypillinen rakenne. (ABB Oy, 2023)

Seuraavaan eli kolmanteen kennoon on suunniteltu mittauskenno. Mittauskennoon tulee mittamuuntajia ja tila, johon voidaan lisätä energialaitoksen mittari ja kiinteistön oma mittaus. Mittauskennoilta jatketaan kiskostoa yläpuolelta erottimille, jotka syöttävät kiinteistön 20 000 / 400 V muuntajia.

Mittauskennon jälkeen kojeistossa on kaksi samanlaista erotinkennoa, jotka syöttävät kiinteistön muuntajia. Erottimille tuodaan syöttö yläkautta kiskoston avulla ja jatketaan alapuolelta muuntajille kaapeliliityntäisesti. Kennoihin laitetaan myös maadoituskytkimet, jotta esimerkiksi toisen muuntajan huollon aikana voidaan se erottaa verkosta ja maadoittaa. Erottimet ovat mitoitukseltaan 630 ampeerisia, eli kestävät niiden läpikulkevan jopa 630 A kuormitusvirran.

Suunniteltu kojeiston pääkaavio nähdään LIITE 2.

## 5.2 Yleiskaavio

Sähkönjakelun yleiskaaviolla tarkoitetaan koko laitoksen sähköjärjestelmää, tai sen osia esittävää kaaviota. Yleiskaavio piirretään yksinkertaisilla piirrosmerkeillä. Yleiskaaviossa esitetään kytkinlaitokset, kojeistot, muuntajat, apusähköjärjestelmät ja tärkeimmät päälaitteet. Yleiskaaviossa myös esitetään teknisiä tietoja, kuten:

- Nimellisjännitteet

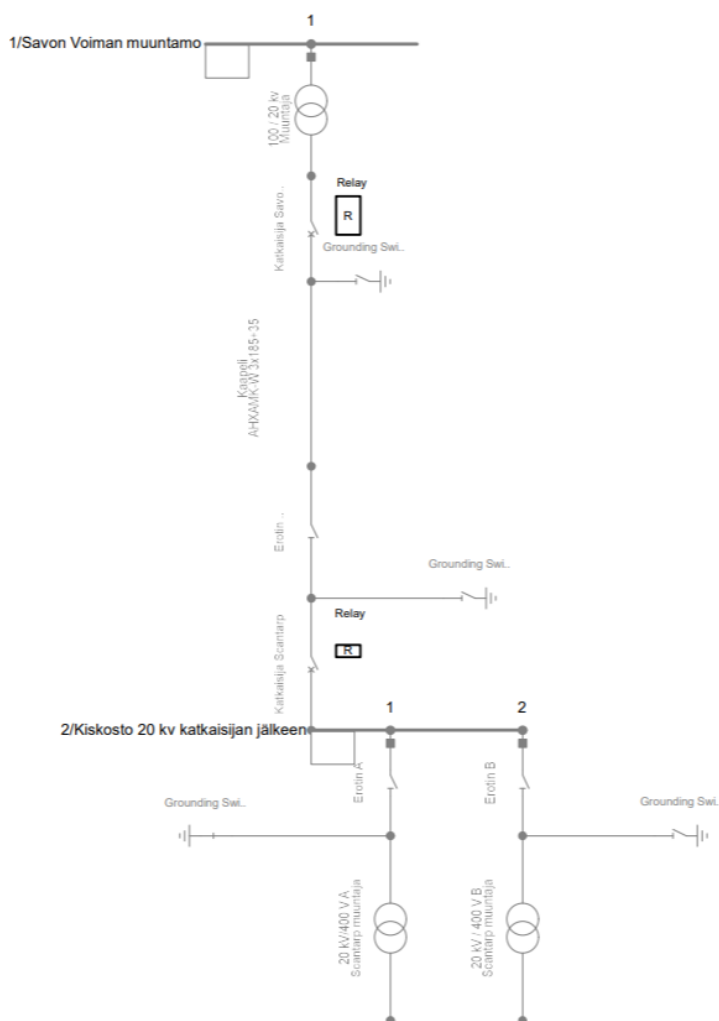
- Nimellistehot

- Osastojen nimitykset

- Kiskostojen ja katkaisijoiden nimellisvirrat

(Sähkötieto Ry, 1994)

Yleiskaavion piirtämiseen käytin PowerFactory ohjelmaa, jolla pystytään piirtämään ja simuloimaan erilaisia kiinteistö- ja jakeluverkkoja. KUVA 20 nähdään valmis yleiskaavio, jossa on piirretty verkko Savon Voiman jakeluverkon muuntajalta Scantarpin 20kV/400V muuntajille.



KUVA 20. Yleiskaavio Savon Voima – Scantarp (Tirkkonen, 2023)

### 5.3 Kaapelointi

Kiinteistöä syöttävä kaapeli on vanha öljypaperieristeinen APYAKMM 3x185 kaapeli. Kojeiston uusinnassa kaapelille joudutaan tekemään uudet kaapelipäätteet. Kaapelipäätteet ovat vanhoja öljyeristeisiä kaapelipäätteitä, eikä näitä enää saa tyypillisimmiltä toimittajilta. Kaapeli on myös ollut käytössä lähestulkoon yhtä pitkään, kuin kojeisto. Näin ollen voidaan päätellä, että kaapelin käyttöikä alkaa olla lähenemässä loppuaan.

Kiinteistöä syöttävä kaapeli on siis vaihdettavana kojeiston uusinnan yhteydessä. Kaapelin uusimista varten on kaapelille laskettava nykyisen tilanteen mukaan kuormitus. Kuormitus on määrittävänä tekijänä niin keskijännite-, kuin pienjännitekaapeleiden mitoituksessa. Lisäksi kaapelin valintaan vaikuttaa sen oikosulkukestoisuus.

Suurjännitekaapeleilla kuormitettavuuden määrääjänä on kaapelin käyttölämpötila. Kaapelin käyttölämpötilalle on määritetty eristeaineen perusteella erilaisia lämpötiloja, joita ei saa ylittää. Myös kaapelin asennustapa vaikuttaa siihen, miten korkeassa lämpötilassa kaapeli saa olla. Vapaasti ilmaan asennettu kaapeli pääsee jäähtymään huomattavasti paremmin, kuin maahan asennettu kaapeli. Kaapeleiden maksimikuormitusvirrat ilmoitetaan kaapelitoimittajan puolesta.

Kaapelin kosketussuojapiiri on myös vaikuttava tekijä kaapelin kuormitettavuuteen. Kosketussuojapiiri on kaapelinvaippojen maadoituksen yhdistämiseen ja liittämiseen liittyvä termi. Kosketussuoja voi olla joko avoin, tai suljettu riippuen siitä, onko kaapelien kosketussuojat kytketty maahan kaapelin yhdestä päästä, vai molemmista. Kosketussuoja on avoin, jos kaapelin kosketussuojat on kytketty maahan vain kaapelin toisesta päästä.

Kaapelin valintaan vaikuttaa myös sen terminen oikosulkukestoisuus. Terminen oikosulkukestoisuus määräytyy johtimien lämpötilan nousun mukaan. Johtimien ja eristeen lämpötila ei saa nousta niin korkeaksi, että eristys menettäisi merkittävästi mekaanista ja sähköistä lujuuttaan. Terminen oikosulkukestoisuus kerrotaan kaapelitoimittajan teknisissä tiedoissa.

Kaapeli voidaan määrittää, kun tiedetään kuormitusvirta ja ympäristön vaikutukset kaapelille. Ympäristö vaikutuksis voivat olla esimerkiksi viereiset piirit, asennustapa, ympäristön lämpötila ja ympäröivän aineen lämpöresistiivisyys. Kuormitusvirta ja johtimen lämpötila ilmoitetaan toimittajan teknisissä tiedoissa. Esimerkki toimittajan taulukosta nähdään KUVA 21.



## OMINAISUUDET

TUOTTEEN NIMI		AHXAMK-W 3x50Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x95Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x120Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x150Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x185Al+35Cu 20 kV	AHXAMK-W 3x240Al+70Cu 20 kV (B)	AHXAMK-W 3x300Al+70Cu 20 kV (B)		
Sähkönumero		0624250	0624252	0624253	0624254	0624255	0624256	0624257		
<b>RAKENNETIETOJA (1)</b>										
Johtimen halkaisija		mm	8,0	11,3	12,7	14,1	15,7	18,1	20,3	
Vaihevaipan halkaisija		mm	28	32	33	35	36	40	42	
Kaapelin ulkohalkaisija (ympäri piirretyn ympyrän halkaisija)		mm	63	70	73	76	79	88	93	
Massa		alumiini kupari kaapeli	kg/km kg/km kg/km	510 305 2300	910 305 3050	1100 305 3350	1350 305 3700	1650 305 4150	2200 600 5350	2700 600 6100
<b>TOIMITUSTIETOJA</b>										
Vakiotoimituspituus		m	500	500	500	500	500	500	500	
Toimituskela			K24	K24	K24	K26	K26	K28	K28	
Massa (1)		kaapeli+kela	kg	1600	1980	2130	2750	2980	3860	4230
<b>MEKAANISIA ARVOJA (3)</b>										
Pienin sallittu taivutussäde asennusvedossa		vaihe kaapeli	m m	0,42 0,50	0,48 0,56	0,50 0,58	0,53 0,61	0,54 0,63	0,60 0,70	0,63 0,74
Pienin sallittu taivutussäde lopullisessa asennuksessa (4)		vaihe kaapeli	m m	0,29 0,35	0,34 0,39	0,35 0,41	0,37 0,43	0,38 0,44	0,42 0,49	0,44 0,52
Suurin sallittu asennusvetovoima vetosukalla			kN	2,2	4,3	5,4	6,8	8,3	8,5	8,5
Suurin sallittu asennusvetovoima vetopäällä			kN	7,5	14,3	18,0	20,0	20,0	20,0	20,0
<b>SÄHKÖISIÄ ARVOJA (3)</b>										
Vaihejohtimen maks. tasavirtaresistanssi		johdin 20°C	Ω/km	0,641	0,320	0,253	0,206	0,164	0,125	0,100
Vaihejohtimen vaihtovirtaresistanssi (1) (2)		johdin 65°C johdin 90°C	Ω/km Ω/km	0,76 0,82	0,38 0,41	0,30 0,33	0,25 0,27	0,20 0,21	0,15 0,16	0,12 0,13
Keskusköyden maks. tasavirtaresistanssi		johdin 20°C	Ω/km	0,524	0,524	0,524	0,524	0,524	0,268	0,268
Induktanssi vaihetta kohti (1)			mH/km	0,45	0,40	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34
Käyttökapasitanssi (1)			μF/km	0,17	0,22	0,24	0,26	0,28	0,31	0,34
Varausvirta (1)			A/km	0,6	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2
Maasulkuvirta (1)			A/km	1,9	2,4	2,6	2,8	3,0	3,4	3,7
<b>KUORMITETTAVUUS (3)</b>										
Maassa (2)		johdin 65°C	A	155	235	265	300	330	385	435
Ilmassa (2)		johdin 65°C johdin 90°C	A A	160 195	230 280	265 325	300 370	345 425	400 490	460 565
<b>TERMINEN OIKOSULKUKESTOISUUS (3)</b>										
Suurin sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta		vaihejohdin (5) kosketussuoja (6) keskusköysi (7)	kA kA kA	4,7 2,4 5,0	8,9 2,7 5,0	11,3 2,9 5,0	14,1 3,0 5,0	17,4 3,2 5,0	22,6 4,4 9,7	28,3 4,8 9,7

(1) Likiarvo

(2) Kosketussuojat ja keskusköysi kytketty yhteen yhteyden molemmissa paissa.

(3) Katso taulukkoarvojen lähtöoletukset kappaleesta Yleistä tuotetietoja.

(4) Taivutus on tehtävä varovaisena ja tasaisena kertataivutuksena.

(5) Johtimen lämpötila on ennen oikosulkua 90°C ja oikosulun päättyessä 250°C.

(6) Kosketussuojan lämpötila on ennen oikosulkua 85°C ja oikosulun päättyessä 250°C.

(7) Keskusköyden lämpötila on ennen oikosulkua 55°C ja oikosulun päättyessä 200°C.

(8) Kaapeli on saatavana myös 35 mm<sup>2</sup> keskusköydellä.

## KUVA 21. AHXAMK-W 20 kV kaapelin teknisiä tietoja. (Prysmian Group, 2018)

Scantarpin tapauksessa liittymiskaapelin reitti menee suurimmaksi osaksi maassa asfaltoidun pihan läpi. Nykyisestä kaapelista ei ole tietoa, onko se kaivettu suoraan maahan, vai onko se suojattu suo-  
japutkella. Uusi kaapeli olisi hyvä suojata suo-  
japutkella maakaapeloinnin yhteydessä. Tällöin kaapeli on paremmin suojattu ja maa-aineksen vaikutus kaapeliin on myös erilainen.

Liittymiskaapelin noustessa kiinteistöön on nykyiselle kaapelille rakennettu kaapelireittiä tikashyllyjen avulla. Piha-osuudelta kaapeli liittyy betoniseinän läpi poratusta reiästä kellarikerrokseen, josta ti-  
kashylly alkaa. Liittymiskaapeli on ainut kaapeli tikashyllyillä, joten viereisten kaapelien vaikutusta ei

tarvitse ottaa huomioon. Tikashyllyjen avulla kaapeli tuodaan kojeistotilaan, jossa se pudotetaan kaapelikuiluun, josta se nousee kaapeliliittymiskennoon.

Kaapelin kuormitettavuus on ilmoitettu toimittajan puolesta, mutta kohteen asennukseen vaikuttavien tekijöiden tuomat seikat täytyy ottaa huomioon. SFS 6000 standardisarja on määrittänyt korjauskertoimia kaapelin asennustavan, viereisten ryhmien, ympäristön lämpötilan ja ympäröivän maan lämpötilan vaikutuksesta asennukseen. KUVA 21 antaa esimerkiksi AHXAMK-W 3x185+35Cu kaapelille maahan asennus kuormitettavuudeksi 330 ampeeria. Tämä kuormitettavuus kerrotaan vielä korjauskertoimilla, jolloin saadaan kyseisen kohteen kaapelin kuormitettavuus paikkansa pitäväksi.

TAULUKKO 5-TAULUKKO 8 avulla voidaan määrittellä kokonaiskorjauskerroin ( $k$ ), jolla valmistajan teknisten tietojen kuormitus kerrotaan. Korjauskertoimeen ei tarvitse ottaa huomioon lämpötiloja, koska teknisten tietojen kuormitus on 60 asteessa. Viereisiä kuormittavia piirejä ei myöskään oteta huomioon, koska niitä ei kaapelin reitillä ole. Otetaan huomioon maan lämpötilan vaikutus 15 asteessa ja 100 mm paksuisen lämpöeristeen läpimeno.

$$k = 0,81 \times 1,00 = 0,81 \quad (28)$$

Kerrotaan annettu kuormitus korjauskertoimella, jolloin saadaan kaapelin oikea kuormitettavuus.

$$I = k \times A = 0,81 \times 330 A = 267,3 A \quad (29)$$

Kaapelin kuormitettavuus on riittävä ottaen huomioon kohdan 4.2 laskelmat. Kaapelin valintaan täytyy ottaa myös huomioon pientä laajentamisesta, tai laitteiston vaihtumisesta johtuvaa kuormitettavuuden nousua, joten AHXAMK-W 3x185+35Cu on hyvä kaapelivalinta kiinteistölle.

Kaapelin koko ja riittävyys pitää vielä varmistaa jakeluverkon haltijalta, koska jakeluverkonhaltijan täytyy muokata suojaus 110 / 20 kV muuntajan lähdestä. Jakeluverkon haltijalla on myös omat laskelmat kiinteistöä kohden, jonka mukaan he ovat määrittäneet edellisen kaapelin. Varmistus suoritetaan, kun työtä aletaan suorittaa tilaajan kanssa.

TAULUKKO 5. Lämpöeristeen vaikutus kaapelin kuormitettavuuteen (Sähköinfo Oy, 2017)

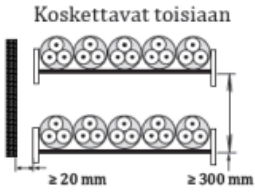
Lämpöeristeen paksuus	Korjauskerroin
10	0,89
100	0,81
200	0,68
400	0,55
500	0,5

TAULUKKO 6. Ilman lämpötilasta johtuvat korjauskertoimet (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2017)

Ympäristön lämpötila <sup>a</sup> °C	Eristys			
	PVC	PEX ja EPR	Mineraali <sup>a</sup>	
			PVC:llä päällystetty tai paljas ja kosketeltavissa 70 °C	Paljas, ei kosketeltavissa 105 °C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,78	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,70
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,50	-	0,60
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,40
95	-	-	-	0,32

<sup>a</sup> Korkeammilla ympäristön lämpötiloilla sovelletaan valmistajan antamia arvoja.

TAULUKKO 7. Useamman kaapelin asennuksesta samalle tikashyllylle johtuvat korjauskertoimet s.57 (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2017)

Taulukon A.52.3 mukainen asennustapa		Hyllyjen tai tikkaiden lukumäärä	Hyllyllä tai tikkaalla olevien kaapelien lukumäärä						
			1	2	3	4	6	9	
Tikas, tuet, kiinnikkeet yms. (HUOM. 3)	32		1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
	33		2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
	34		3	1,00	0,85	0,79	0,76	0,73	0,70
			6	1,00	0,84	0,77	0,73	0,68	0,64

TAULUKKO 8. Korjauskertoimet ympäröivän maan lämpötilan mukaan (Sähköinfo Oy, 2017)

Ympäristön lämpötila	Korjauskertoimen johtimen eristeen mukaan	
	PVC	PEX ja EPR
0	1,13	1,10
5	1,09	1,06
10	1,05	1,03
15	1,00	1,00
20	0,95	0,96
25	0,90	0,93
30	0,85	0,89

Kaapelointireitti suunnitellaan samalle reitille kuin vanha kaapeli. Kaapelin vaihtamisessa varaudutaan siihen, että piha-alueelle joudutaan tekemään uutta kaapelireittiä. Kaivuutöiden ohessa on pihaalla menevien muiden kaapelien reitit otettava selville. Myös kojeistoa syöttävän kaapelin reitti on saatava tarkasti selville. Reitit saadaan helpoiten selville tekemällä kaapelinäyttöjä.

Kaapelin vaihtamisen ja kaivuutyöt tulee suorittamaan erillinen urakoitsija, joka antaa työlle arviolta metrikohtaisen hinnan. Tarkempi hinta selkeytyy työn aloittaessa, kun tehdään tarkempia työsuunnitelmia. Myös kaapelin hinta tarkentuu lähempänä toteutusta, kun tarkka kaapelimita saadaan selville.

#### 5.4 Releen asettelu

Relesuojauksessa käytetään kojeistotoimittajan valitsemaan relettä, johon asetellaan virtaselektiivinen suojaus. Virtaselektiivisellä suojauksella suojataan kojeistoa ja muuntajia ylikuormitukselta ja mahdollisilta oikosuluilta sekä vikatilanteilta. Virta-asettelu on järkevin suojauksen toteutustapa, koska releen ei tarvitse suojata esimerkiksi isoa keskijänniteverkon osaa. Virta-asettelulla saadaan selkeästi laitteisto suojattua ylikuormitukselta ja vioilta.

Virta-asettelua varten on tiedettävä laitteiden terminen oikosulkukestoisuus ja suojauspisteen suurin esiintyvä oikosulkuvirta. Terminen oikosulkukestoisuus ja oikosulkuvirta määrittävät ajan, jonka laitteet kestävät oikosulkutilanteessa. Aika lasketaan kaavalla (4), joka on kohdassa 3.8.

Virta-asettelussa kuormitus on tärkeänä määrittävänä tekijänä. Virta-asettelun ohjeeksi on annettu monen verkkoyhtiön puolesta kolminkertainen kuormitusvirta. Kolminkertainen kuormitusvirta ei siis aiheuttaa vielä katkaisijan laukaisua.

Virta-asettelun alarajana on siis kolminkertainen kuormitusvirta ja ylempänä rajana käytetään pienintä havaittavaa 2-vaiheista oikosulkuvirtaa. Pienin 2-vaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea kaavalla (5), kun tiedetään kojeiston liityntäpisteessä havaittava 3-vaiheinen oikosulkuvirta. Oikosulkuvirta on laskettu kohdassa 4.1 ja se on 3713 A.

Kun arvot ovat tiedossa, voidaan aloittaa releen asetteluarvojen laskenta. Lasketaan ensimmäisenä termisen oikosulkukestoisuuden ja maksimioikosulkuvirran avulla  $t_{max}$  arvo. AHXAMK-W 3x185+35Cu kaapelin oikosulkukestoisuus on 17,4 kA KUVA 23 katsottuna. LIITE 2 nähdään, että kojeistolle on määritelty 12,5 kA 1 sekunnin oikosulkukestoisuus. Käytetään laskennassa pienempää oikosulkukestoisuuden arvoa ja lasketaan  $t_{max}$ :

$$t_{max} = \frac{I_{1s}^2}{I_{k3max}^2} s \rightarrow \frac{12,5^2 \text{ kA}}{4723^2 \text{ A}} = 7,004 \text{ s} \sim 7 \text{ s} \quad (30)$$

Lasketaan pienin 2-vaiheinen oikosulkuvirta tunnetusta 3-vaiheisesta oikosulkuvirrasta kaavalla (5):

$$0,866 \times I_{k3max} \rightarrow 0,866 \times 3712,86 \text{ A} = 3215,33 \text{ A} \sim 3216 \text{ A} \quad (31)$$

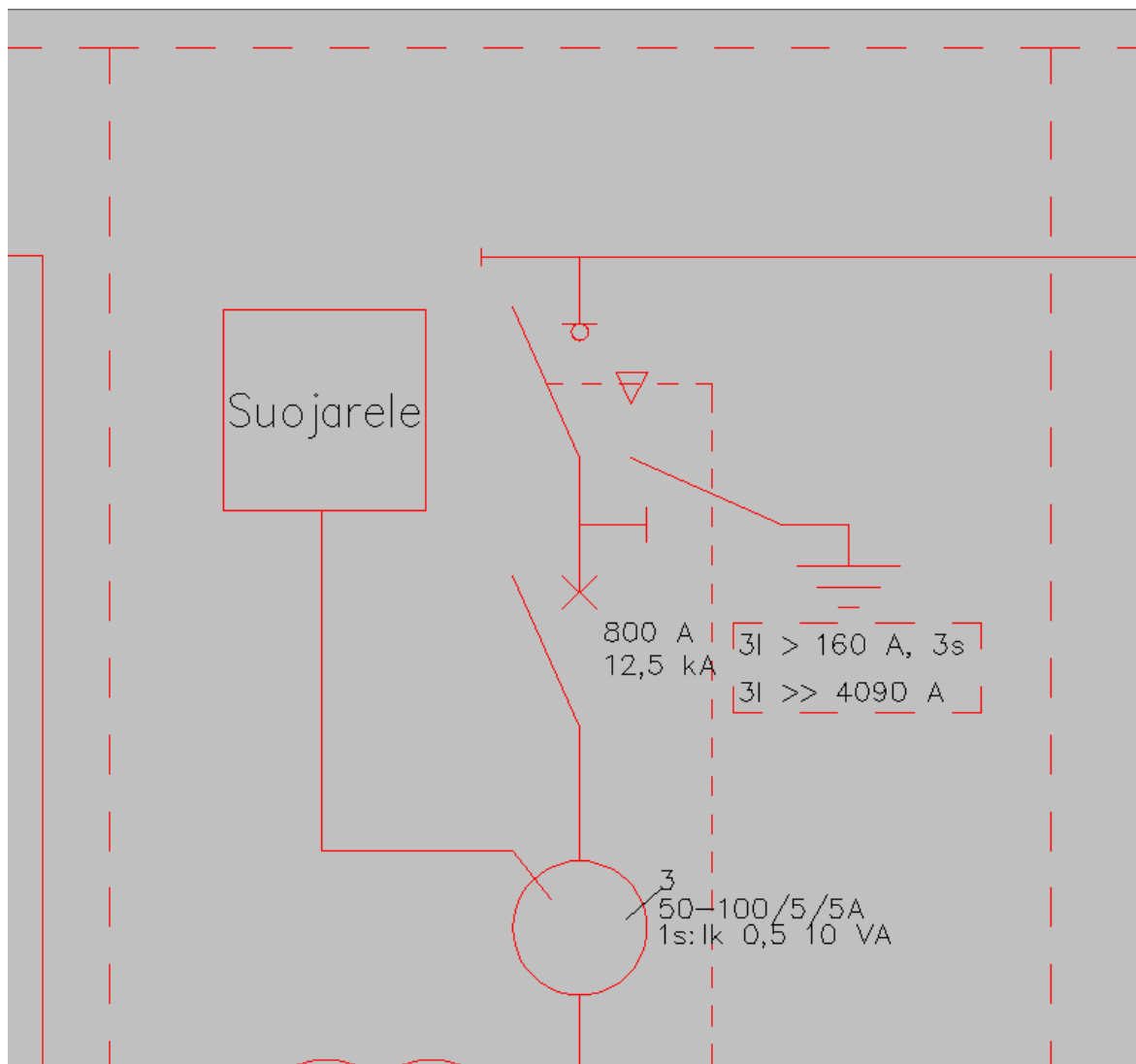
Kuormitusvirta on laskettu kohdan 4.2 loppuun, joka on 49 A. Kerrotaan arvo kolmella, jolloin saadaan pienin asetteluarvo.

$$3I \geq 49 \text{ A} \times 3 = 147 \text{ A} \quad (32)$$

Laskentojen perusteella releen virta-asettelu voidaan asettaa välille 147–4090 A. Kohdassa 5.3 on kuitenkin laskettu kojeistoa syöttävän kaapelin maksimikuormitukseksi 267,3 A. Ensimmäisen portaan virta-asettelu voidaan asettaa välille 147–267,3 A. Virta-asettelulle voidaan myös asettaa katkaisuaika, eli aika jossa katkaisija aukeaa havahtumisen jälkeen. Maksimiaika olisi 7 s laitteiden termisen kestävyden osalta. Ajaksi voidaan asettaa 3,5 s ja virraksi 160 A. Näin ollen ensimmäisen portaan asettelu on 160 A ja 3,5 s. Ensimmäisen virtaportaan virta-asettelua kuvataan:  $3I >$  merkinnällä. Ensimmäisen portaan asetteluja kutsutaan yleisesti nimellä aikalaukaisu.

Toiselle portaalle voidaan asettaa korkeampi virran arvo. Kun suojarele havahtuu virtaan, se antaa katkaisijalle käskyn avautua välittömästi. Eli toiselle portaalle ei aseteta aikaviivettä. Toisen portaan virta-asettelua kuvataan  $3I \gg$  merkinnällä. Toisen portaan asetteluja ja parametreja kutsutaan yleisesti nimellä momenttilaukaisu tai pikalaukaisu. Pikalaukaisu on virtarajaltaan suurempi kuin aikalaukaisu ja sen toimintaviive on lyhyempi kuin pikalaukaisun.

Virta-asettelut merkitään pääkaavioon ST-kortiston suunnitteluohjeen mukaisesti. Pääkaaviossa olevat virta-asettelut nähdään KUVA 22.



KUVA 22. Releen virta-asettelut

## 5.5 Karkea työsuunnitelma

Kojeiston saneeraus on kokonaisuudessaan työläs ja aikaa vievä projekti. Tässä osiossa arvioidaan työaikaa ja työvaiheita. Työssä olisi tärkeää, että se voitaisiin suorittaa sillä tavalla, että mahdolliset jännitekatkot olisivat mahdollisimman lyhyitä. Tällöin Scantarpin tuotantoa pystyttäisiin pitämään käynnissä mahdollisimman pitkään ja minimoitaisiin tämän osalta yritykselle koituvat kustannukset.

Työn suorittaminen täytyy lähtökohtaisesti ajoittaa seisokiajalle. Tällöin tuotantoa ei ole, jolloin voidaan suorittaa työt, jotka vaativat sähkön katkaisun. Paras ratkaisu olisi suorittaa työ Scantarpin kesäseisokin aikana, joka kestää useamman viikon. Työtä voidaan valmistella myös ennen seisokin alkamista, jotta työ sujuu nopeammin seisokin aikana.

### **Työvaiheet**

Työvaiheet voidaan eritellä projektin eri vaiheiden ja etenemisen mukaan. Kyseessä on saneerausprojekti, jossa vanhaa korvataan uudella. Saneerauskohteessa voi ilmetä joitain asioita, joihin ei pysty, tai ei ole osattu valmistautua. Vanhan purku ja vanhan liittäminen uuteen voi joskus olla haasteellista.

Projektintyövaiheet voidaan jaotella seuraavasti työnkulun mukaisesti:

- Työn suunnittelu
- Purkutyöt
- Maa/konetyöt
- Uuden kojeiston kokoaminen
- Uuden kaapelin veto
- Uuden kojeiston kytkennät
- Kojestukset
- Käyttöönotto ja testaukset
- Loppudokumentointi ja punakynät.

Ensimmäisenä työvaiheena projektissa on työn suunnittelu. Työ on monimutkainen ja vaatii monen eri urakoitsijan työpanosta. Työn suunnittelussa on tehtävä viimeiset tarkat aikataulut työn tekemiselle ja sopia urakoitsijoiden kanssa, milloin he tulevat suorittamaan oman osuutensa työstä. Työn suunnittelussa on myös otettava asiakkaan toiveet huomioon. Työn suunnitteluvaiheessa tilataan työmaalle tavarat ja tarvikkeet, joita työssä tarvitaan.

Purkutyöt suoritetaan joko erillisen urakoitsijan toimesta tai toimeksiantaja yritys suorittaa sen omilla resursseilla. Purkutöistä arvioidaan kustannukset asiakkaalle joko ulkopuolisen tarjouksen perusteella tai toimeksiantaja yrityksen puolesta. Purkutöissä koostuu kustannuksia myös, kun tavaroita laahataan pois muuntamotilasta ja viedään kierrätykseen. Nämä huomioidaan asiakkaalle annettavassa tarjouksessa. Purkutöitä ei voida aloittaa ennen kuin kojeisto saadaan jännitteettömäksi ja

syöttävä kaapeli on työmaadoitettu myös Savon Voiman muuntamon lähdön päästä. Purkutöille arvioidaan kestoksi 2 viikkoa kahdelta asentajalta. Lisäksi pitää arvioida muutamaksi päiväksi konetöitä vanhan kojeiston siirtoon.

Maa- ja konetyöt tullaan suorittamaan erillisen urakoitsijan toimesta, koska toimeksiantajayrityksellä ei ole kalustoa kyseisten töiden tekemiseen. Maa- ja konetöiden aika sekä kustannusarviot tulevat siis ulkopuolisen urakoitsijan toimesta. Eräs koneurakoitsijayritys tarjosi projektiin liittyen maakaapeloinnin ja siihen liittyvät: asfaltin avaukset, maa-ainesten vaihdot, sekä uudelleen asfaltoinnin. Hintatarjous asfaltoinnille oli 220 € / m. Tätä arvoa käytetään myöhemmin apuna kustannuslaskelmassa. Työaikaa projektin aikataulutusta varten on arvioitu karkeasti 2 viikkoa. Todellista työn kestoa on vielä hankala arvioida.

Uuden kojeiston toimittaja kasaa kojeistot toimipaikallaan ja toimittaa ne Scantarpin tontille. Kojesto on moduulimallinen eli kasaus koostuu lähinnä moduulien kiinnittämisestä. Moduulit tulee kiinnittää lattiaan ja toisiinsa. Virtakiskojen ja muiden asennus voi olla tarpeellista kojeiston kasauksen yhteydessä. Kojeston kasauksessa joudutaan käyttämään apuna kurottajia ja muita koneita, jotta kojeisto saadaan siirrettyä muuntamotilaan. Kojeston kasaukselle ja haalauksille arvioidaan työajaksi viikko kahdelta asentajalta. Lisäksi arvioidaan konetyötä päiväksi siirtoja varten.

Uuden kaapelin veto voidaan aloittaa jo ennen kojeiston purun aloittamista, jos kaapeli vedetään uudelle reitille eikä vanhan kaapelin tilalle. Vanhan kaapelin korvaaminen uudella on kuitenkin kustannuksiltaan pienempi ratkaisu. Tällä tavalla säästetään uuden asfaltin tekemisessä ja maatoissa. Tässä tapauksessa täytyy odottaa, että vanha kaapeli saadaan purettua ennen kuin uutta päästään kaapeloimaan. Uuden kaapelin päätteet ja kytkennät tulee suorittamaan urakoitsija, joka antaa työstä hinta-arvion. Kaapelointiin arvioidaan kokonaisuudessaan aikaa 2 viikkoa, joista viikko on uuden kaapelin vetämistä varten.

Uuden kojeiston kytkennät tulee suorittamaan erillinen urakoitsija. Työ koostuu seuraavista osista:

- Kaapelipäätteiden tekemiset ja
- kaapeleiden kytkennät
- Apusähköjärjestelmien asennukset
- releen asettelut.

Urakoitsija antaa työstä aika-arvion ja kiinteän hinnan, jonka perusteella työtä tarjotaan asiakasyritykselle.

Kojeston ollessa kasattu ja valmis suoritetaan käyttöönottomittaukset, kojeistukset ja testaukset. Nämä työt tulee suorittamaan erillinen urakoitsija, joka antaa töistä työaika-arvion ja kiinteän hinnan. Kojestukset ja mittaukset ovat tärkeitä kojeiston turvallisuuden ja yleisen turvallisuuden kannalta. Tämä tehdään, jotta laitteisto toimii oikein ja on käyttäjäturvallinen.





## 6 KUSTANNUSARVIO

Tässä osiossa kerätään eri toimittajien ja urakoitsijoiden tarjoukset, joiden perusteella annetaan tarjous asiakasyritykselle. Kilpailullista syistä tarjousta ei julkaista opinnäytetyössä, mutta tarjouksen eri osioiden sisältöä avataan. Tarjous koostuu eri osioiden hinnoista, jotka ovat seuraavat:

- Purkutyöt
- Maatyöt
- Kojeiston kokoaminen
- Kaaelin veto ja kaaelin purku
- Kojeiston kytkennät
- Kojeistukset, testaukset, ja käyttöönotto
- Loppudokumentointi.

Kustannusarvion laskennassa on hyödynnetty Ecom-ohjelmistoa. Ecom ohjelmistoon on kerätty STUL (Sähkö- ja Teleurakoitsijaliitto) kehittämiä työpaketteja, jotka helpottavat urakan laskentaa ja kustannusten määrittämistä. Työpaketeissa on kerättyä esimerkkinä kaaelinvedon työaika, ja työtapaan tarvittavat tarvikkeet metriä kohden. Ecom ohjelmistossa ei varsinaisesti ole omia paketteja keskijänniteasennuksiin, mutta työajat kaaelinvedon ja kaaelireittien rakennuksen osalta ovat vastaavanlaisia.

Ecom ohjelmisto laskee urakalle kulut työmaalle asetettujen arvojen mukaan päiväkohtaisesti. Kuluja ovat ajokilometrit, päivärahat, ateriakorvaukset, ja muut mahdolliset työntekijälle maksettavat korvaukset. Ecom laskee tuotteille ja työlle automaattisesti katteet haluttujen arvojen mukaan. Katteet ja sosiaalikulut ovat muokattavissa asennusyrityksen haluamaksi. Ecom hakee yrityksen tuotehinnat tukkuyrityksien antamien hintataulukoiden avulla. Jokaisella asennusyrityksellä on listahintojen sijaan omat hinnat, joilla yritys tarjoaa tuotteita urakkaan.

Tarjous on jaoteltu eri osioihin, Ecom ohjelmisto käyttää jaotteluista nimeä posti. Posteilla voidaan eritellä eri työvaiheet omiksi laskelmiksi, joka helpottaa laskelman tekemistä ja muokkaamista. Tämän tarjouksen postit ovat jaoteltu seuraavasti:

- Työn suunnittelu / aloitus
- Purkutyöt
- Infra-/maatyöt
- Kaaelin vedot ja purkamiset
- Kojeisto
- Kojeiston kytkennät
- Käyttöönotto ja testaukset

- loppudokumentointi
- Automaatiotyöt.

”Työn suunnittelu ja aloitus” osioon on kerätty työtunneista koostuvat kustannukset. Nämä tunnit koostuvat tavaroiden tilauksista ja projektin aloitukseen liittyvistä työtehtävistä.

”Purkutyöt” osioon on kerätty purkutöihin liittyvien töiden ja tarvikkeiden kustannukset. Kojeiston koon takia purkutöihin tarvitaan kalustoa, jolla kojeistoa saadaan siirrettyä. Tarjoukseen on tämän takia lisätty konevuokra ja tuntitöitä laahauksiin liittyen. Lisäksi osiossa on otettu huomioon vanhan kojeiston jätekulut.

”Infra- ja maatyöt” osio perustuu pitkälti ulkopuoliselta urakoitsijalta saadusta tarjouksesta. Osiossa on kaapeliojan kaivamisen ja asfaltoinnin kustannukset. Ulkopuolisen yrityksen tarjous lisätään osioon tuotteena, jolloin urakan tarjoaja saa työhön halutessaan vielä lisäkatteen.

”Kaapelinveto ja purkaminen” osioon on kerätty uuden kaapelin vetoon ja vanhan purkamiseen liittyvät tarvikkeet ja työt. Laskennassa on käytetty hyväksi Ecomin tuotepaketteja. Tuotepaketti määrittää kaapelin tyyppin ja pituuden perusteella työkustannukset. Lisäksi ohjelma lisää tarvikkeisiin automaattisesti kaapelin, suojakourut ja suojanauhat, jos nämä ovat valittuina. Ecomissa ei ole paketteja keskijännitekaapeleille, mutta käytin AMCMK 3x185/57 kaapelin pakettia, koska työaika kaapelin vedossa on sama kaapelin poikkipinnan perusteella. Tuotteet osiossa kaapeli on korvattu oikean tyyppin kaapelilla. Tämä tehtiin lisäämällä uusi tuote keskijännitekaapelin sähkönumeron perusteella. Tällä tavalla saadaan oikea hinta, koska keskijännitekaapeli on paljon kalliimpaa.

”Kojeisto” osioon on kasattu kojeistotarjoukset, kojeiston kasaukseen liittyvät työt ja kojeiston laaustöitten kustannukset. Kojeistotarjoukset ovat kojeistotoimittajien antamia hintoja, joiden sisältö on eritelty toimittajien puolesta erillisessä dokumentissa. Kojeistotarjous valitaan toimittajien väliltä hinnan perusteella lopulliseen tarjoukseen. Kilpailu- ja salassapitosyistä kojeiston tarjousdokumentteja ei voida julkaista opinnäytetyössä.

”Kojeiston kytkennät” osion tarjous koostuu erillisen urakoitsijan tarjouksesta, joka sisältää kojeistoon liittyvien kaapeleiden kytkennät, apusähkölaitteiden kytkennät ja kojeiston korkeajännitepuolen asennukset

”Käyttöönotto ja tarkastukset” osiossa on kustannukset liittyen kojeiston käyttöönottoon. Tämän työn tulee suorittamaan erillinen urakoitsija tai kojeiston toimittaja. Työn toimittaja antaa työstä tarjouksen, jonka perusteella lisäämme työstä kustannukset tähän osioon.

”Loppudokumentointi” osiossa on kustannukset lopullisten kuvien piirtämisen ja toimittamisen osalta. Loppukuvien piirtämiseen oli arvioitu noin 1 viikon työaika suunnittelijalta. Työn suorittaa joko toimeksiantaja yrityksen suunnittelija tai kojeistosuunnittelija riippuen siitä, kumman kojeistosuunnitelmia käytetään lopullisessa työssä.

”Automaatiotyöt” osiossa on otettu huomioon automaatiojärjestelmien liittäminen kojeistoon. Tämä koostuu kaapeloinnista ja työn osuudesta.

## 7 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää keinoja ja ratkaisuja 20 kV kojeiston uusimiseen. Tutkimuksessa etsittiin ensin erilaisia ratkaisuja ja kokonaisuuksia, joilla työ voidaan suorittaa. Opinnäytetyössä käydään läpi kaikki komponentit, joita kojeistokokonaisuuden rakentamiseen tarvitaan, sekä niihin liittyvä teoria. Opinnäytetyössä käsitellään myös komponenttien mitoittamiseen ja määrittämiseen liittyvää laskentaa.

Laitteiden mitoittamista varten työssä selvitettiin kiinteistön huipputeho. Huipputeho laskettiin kiinteistön mitatun kulutuksen perusteella. Laskennassa hyödynnettiin Trimble NIS ohjelmistoa ja erilaisia laskukaavoja. Huipputehon laskennan avulla saatiin laskettua myös muita tärkeitä arvoja laitteiden mitoittamiseen liittyen.

Huipputehon laskennan yhteydessä selvisi, että Scantarp kiinteistöön olisi hyvä miettiä loistehon kompensointia. Savon Voiman toimittamien mittaustietojen avulla huomattiin, että loistehon määrä on suhteellisen iso johtuen suurista moottorikuormista, joita kiinteistössä esiintyy. Kompensoinnin rakentamisella voitaisiin säästää merkittävä summa rahaa vuositasolla, jolloin laitteistoin investointi olisi järkevää.

Laitteiden mitoituksessa käytiin läpi komponenttien oikosulkukestävyys ja kuormitukseen liittyvät seikat. Mitoituksessa otettiin huomioon kiinteistön huipputeho, jonka perusteella saatiin huippuvirta ja kuormitusvirta. Laitteet valittiin arvojen perusteella, jolloin ne vastaavat kiinteistön tarpeita. Mitoituksessa otettiin huomioon varaus kiinteistön kuormituksen kasvulle ja laajennuksille.

Kojeistoa suojaamaan valittiin suojariele. Suojareleellä pystytään ohjaamaan katkaisijaa avautumaan vikatilanteissa tai kuormituksen ylittäessä määritellyt rajat. Suojarele on keskeisessä osassa kojeiston ja laitteiston suojauksessa. Suojareleen suunnittelussa otettiin huomioon erilaiset suojaustavat ja valittiin näistä käyttökohteeseen sopivin suojaustapa. Suojaukseksi valikoitui kaksivaiheinen ylivirtasuojaus.

Suojareleen suunnittelussa laskettiin katkaisijan laukaisuun johtavat virta- ja aika arvot. Suunnittelussa käytettiin hyväksi laskentaa, jonka avulla saatiin varmistettua oikeat aika- ja virta arvot, joilla suojaus toimii. Suojauksen tarkoituksena on suojata laitteistoa ja käyttäjää. Suojauksen täytyy toimia ennen kuin laitteistolle tai käyttäjälle aiheutuu vahinkoa.

Laitteiston uusinnan yhteydessä otettiin myös huomioon kiinteistöä syöttävän kaapelin uusinta. Kaapeli mitoitettiin kojeiston arvojen mukaiseksi, jolloin kaapeli kestää kuormituksen. Kaapeli tulisi uusittavaksi, kun kojeisto vaihdetaan uuteen. Kaapeli on hyvä uusia kojeiston uusinnan yhteydessä, jolloin työtä ei tarvitse suorittaa erillään. Kaapelin vaihtaminen varmistaa kojeiston käyttövarmuutta ja pienentää vikaantumisen riskiä.

Laskentojen ja mitoittuksien perusteella tehtiin suunnitelmat uudesta korvaavasta kojeistosta. Tarkoituksena oli löytää ratkaisu, joka on kustannustehokas. Vanhan kojeiston uusiminen on ajankohtaista koska vanha katkaisija vuotaa öljyä. Vanha kojeisto on muiltakin osilta käyttöikänsä loppupäässä.

Suunnitelmat koostuivat pääkaaviosta ja yleiskaaviosta. Pääkaavion ja yleiskaavion perusteella kojeistosta pystyttiin tekemään tarjouskyselyt eri laitetoimittajien kesken. Pääkaaviossa ja yleiskaavioissa esitetään tarvittavat laitteet, joiden perusteella laitetoimittajat tarjosivat määrittelyn mukaisia laitteita. Tarjouksien perusteella laitetoimittajista valittiin halvin valmistaja, joka pystyy toimittamaan määrittelyn mukaisen laitteiston.

Kojeiston saneerauksella saavutetaan parempi laitteiston käytettävyys. Lisäksi uusi kojeisto tuo varmuutta, ettei laitteiston vikaantumisesta aiheudu tuotannolle keskeytyksiä. Uudessa suunnitellussa kojeistossa on myös nykyaikaiset suojalaitteet, jotka suojelevat kojeistoa ja käyttäjiä. Uudessa kojeistossa on myös paremmat huolto- ja kunnossapitoratkaisut, jolloin vuosi- ja tarkastukset saadaan suoritettua kustannustehokkaammin.

Opinnäytetyötä pystytään hyödyntämään toimeksiantajayrityksen- ja asiakasyrityksen puolesta lopullisessa suunnittelussa ja kustannuksien määrittelyssä. Opinnäytetyössä käydään myös läpi työsuunnitelmat, joita voidaan hyödyntää projektin johtamisessa ja arvioimisessa. Työssä käydään läpi kojeiston määrittelyyn liittyvät laskennat ja seikat, joita voidaan hyödyntää, jos kojeisto suunnitelmat muuttuvat ennen lopullista asennusta.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö tarjoaa tietoa ja keinoja, joita voidaan hyödyntää vastaavien kohteiden suunnittelussa ja tarjouskilpailussa. Työssä on kattava teoriapohja kojeiston laitteista. Tämän tiedon avulla voidaan vertailla ja miettiä ratkaisuja muihin projekteihin ja toisten yrityksen tarpeisiin.

## 8 YHTEENVETO

Keskijännitekojeiston suunnittelu ja määrittäminen on kokonaisuudessaan tehtävä, jossa on otettava huomioon monen eri laitteen määrittävät tekijät ja rajoitukset. Suunnittelussa käytetään paljon laskentaa määrittelyn apuna, jolloin kojeistosta saadaan toimiva ja yhteensopiva kokonaisuus kohteen tarpeisiin. Keskijännitekojeisto on tärkeässä osassa usean kiinteistökohteen sähkönjakelussa ja on tärkeää, että suunniteltu kojeisto on tarkoituksenmukainen ja pystyy toimimaan ilman vikaantumista.

Kojeistoon valittiin ilmaeristeiset komponentit niiden huoltovarmuuden ja halvemman hinnan takia. Kojeiston katkaisijaksi valittiin vaunumallinen tyhjiökatkaisija. Tyhjiökatkaisija on hyvin huoltovapaa ja sen voi vaihtaa helposti kiskorakenteensa ansiosta. Kokonaisuudessaan kojeistosta suunniteltiin kustannustehokas ratkaisu. Kojeiston suojaukseksi valikoitui suojarele, joka avaa katkaisijan havaitessaan asetellun virran ylityksen.

Suunnittelu ja kojeiston määrittely onnistuivat hyvin, koska aiheesta löytyi paljon materiaalia ja kirjallisuutta, jota pystyi hyödyntämään. Kirjallisuus ja materiaali toivat varmuutta muutoin vaikeisiin laskentoihin ja määrittelyihin. Suunniteltu kojeisto ja laitteisto on sopiva käyttötarkoitukseensa ja palvelee kiinteistön sähkönsyötön tarpeita.

Laskennat olivat tärkeässä osassa työtä ja näiden avulla saatiin varmistettua, että suunnitellut komponentit on mitoitettu oikein. Opinnäytetyöhön liittyvä laskenta tehtiin kirjallisuudesta ja materiaaleista löytyvien kaavojen avulla. Lisäksi laskennassa käytettiin apuna Trimbe NIS- ohjelmistoa, jolla saatiin arvioitua kiinteistön huipputehoa. Laskennat tehtiin huipputehon, oikosulkuvirtojen ja katkaisuvirtojen osalta.

Tarjouspyynnöt suoritettiin toimittajien välillä suunnitelmien pohjalta. Tarjouksista valikoitiin halvin ratkaisu projektissa käytettäväksi. Projektin kustannuksia ja työmääriä arvioitiin Ecom- ohjelmiston avulla. Projektin tarjoukseen kerättiin kojeiston kustannukset, työmäärät ja maatyöt. Lisäksi projektin aikataulua arvioitiin työmäärän perusteella.

## 9 LÄHDELUETTELO

ABB Oy. (1. 1. 2000). ABB tekninen taulukko opas 13. Helsinki.

ABB Oy. (1. 07. 2000). *ABB tietotekninen taulukko - käsikirja luku 10*. Haettu 19. 1. 2023 osoitteesta Abb Oy:  
<https://library.abb.com/>

ABB Oy. (1. 1. 2000). *ABB:n TTT-käsikirja 2000-07*. Noudettu osoitteesta <https://library.abb.com/>

ABB Oy. (1. 7. 2000). *Tietotekninen taulukko luku 7*. (ABB) Haettu 25. 1. 2023 osoitteesta esimerkki suojauksesta:  
<https://library.abb.com/>

ABB Oy. (6. 3. 2015). *Uniswitch keskijännitekojeisto*. (ABB, Toimittaja;& ABB) Haettu 18. 1. 2023 osoitteesta library  
abb: <https://library.e.abb.com/public/0c8cf4b3a630586fc12573d2004b1e1d/UNIS5FI%200801.pdf>

ABB Oy. (1. 1. 2020). *indoor supporting current transformer*. (ABB Oy) Haettu 18. 1. 2023 osoitteesta  
new.abb.com: [https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/instrument-transformers-and-sensors-  
id/products/indoor-current-transformers/support-\(post\)/indoor-supporting-current-transformer-tpu](https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/instrument-transformers-and-sensors-id/products/indoor-current-transformers/support-(post)/indoor-supporting-current-transformer-tpu)

ABB Oy. (24. 10. 2022). *Indoor switches and disconnectors*. (ABB) Haettu 12. 1. 2023 osoitteesta ABB.com:  
<https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/isolators-switches-disconnectors/indoor-switches>

ABB Oy. (16. 02. 2022). *Kytkimet erottimet ja erotuskytkimet*. (ABB) Haettu 12. 01. 2023 osoitteesta ABB.com:  
<https://new.abb.com/medium-voltage/fi/laitteet/kytkimet-erottimet-ja-erotuskytkimet>

ABB Oy. (20. 1. 2023). catalogue. *Medium voltage air insulated switchgear*. Espoo. Noudettu osoitteesta  
[https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000052&LanguageCode=en&Document  
PartId=&Action=Launch](https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1VLC000052&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)

Adato Energia Oy. (1. 1. 2017). *Adato energia Oy*. (A. Oy, Toim.) Haettu 1. 2. 2023 osoitteesta SA 5 94  
Keskijänniteverkon sähköinen mitoittaminen:  
<https://verkkokauppa.adato.fi/Verkkokauppa/sahkoverkkosuositukset/rvdsfpvs/96>

Arcteq. (1. 1. 2023). *AQ-F210 Feeder protection device*. (Arcteq) Haettu 25. 1. 2023 osoitteesta Arcteq:  
<https://www.arcteq.fi/product/aq-f210-feeder-protection-device/>

Eckert, T. (1. 1. 2019). *Luthub*. Haettu 6. 2. 2023 osoitteesta Rakennusten sähköliittymien mitoitus:  
<https://lutpub.lut.fi/handle/10024/160389>

Finteco LVIS Oy. (10. 5. 2023). *Finteco LVIS Oy*. Noudettu osoitteesta Töitämme: <https://www.finteco.fi/toitamme/>

Hietalahti, L. (2013). *Sähkövoimatekniikan perusteet*. Tampere: Tammertekniikka.

Korpinen, L. (1. 3. 2008). *opetusaineistoja*. Haettu 20. 1. 2023 osoitteesta Leena Korpinen.com:  
<http://leenakorpinen.com/fi/julkaisut/opetusaineistoja/>

Lakervi Erkki, P. J. (2008). *Sähkönjakelutekniikka*. Helsinki: Otatieto Oy. Haettu 25. 1. 2023

Monni, M. (2017). *Sähköverkkoasennukset*. Hämeenlinna: Adato energia Oy.

- Niemelä, J. (25. 1. 2010). *20 kV kojeiston suunnittelu sähkövoimalaboratorioon*. Haettu 12. 1. 2023 osoitteesta Theseus: <https://www.theseus.fi/handle/10024/21394>.
- Onninen Oy. (1. 1. 2023). *Jakelumuuntajat*. (Onninen) Haettu 20. 1 2023 osoitteesta Onninen.fi: <https://www.onninen.fi/abb-jakelumuuntaja-ctf800-20-5-e1-f/p/CIS082>
- Prysmian Group. (17. 04. 2018). *10-20 kV Keskijännitekaapelit*. Haettu 20. 2. 2023 osoitteesta AHXAMK-W 20 kV Wiki: <https://fi.prysmiangroup.com/sahkonjakeluverkko/10-20-kv-keskijannitekaapelit>
- Rouvali, J. (2021). Oikosulkuvirran laskenta. Teoksessa J. Rouvali, *Opetusmateriaali, Oikosulkuvirran laskenta*. Kuopio: Savonia.
- Scantarp Oy. (10. 5. 2023). *Scantarp*. Noudettu osoitteesta tietoja meistä: <https://www.scantarp.fi/>
- Selekto. (2. 7. 2019). *Selekto*. (Facebook, Toim.) Haettu 25. 1 2023 osoitteesta 20 kv vähäöljykatkaisija: <https://www.facebook.com/photo/?fbid=2314477148585085&set=a.1572930852739722>
- Siemens. (12. 1. 2023). *NXPLUS C 24 - blue GIS - Brochure*. (Siemens) Haettu 12. 1. 2023 osoitteesta Siemens.com: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/systems/nxplusc24.html>
- Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. (2017). *SFS-käsikirja 600-1-1*. Helsinki: Sesko ry.
- Sähköinfo Oy. (2017). *Käsikirja D1-2017*. Helsinki: STUL ry.
- Sähkötieto Ry. (15. 4. 1994). ST 830.18. *Sähkönjakelun yleiskaavion laatimisohje*. Espoo, Suomi. Noudettu osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/>
- Sähkötieto Ry. (15. 04. 1994). *ST 830.18*. Haettu 22. 2. 2023 osoitteesta Sähkönjakelun yleiskaavion laatimisohje: <https://severi.sahkoinfo.fi/>
- Tirkkonen, J. (2023). Scantarp Oy, Kuopio.



## LIITTEET

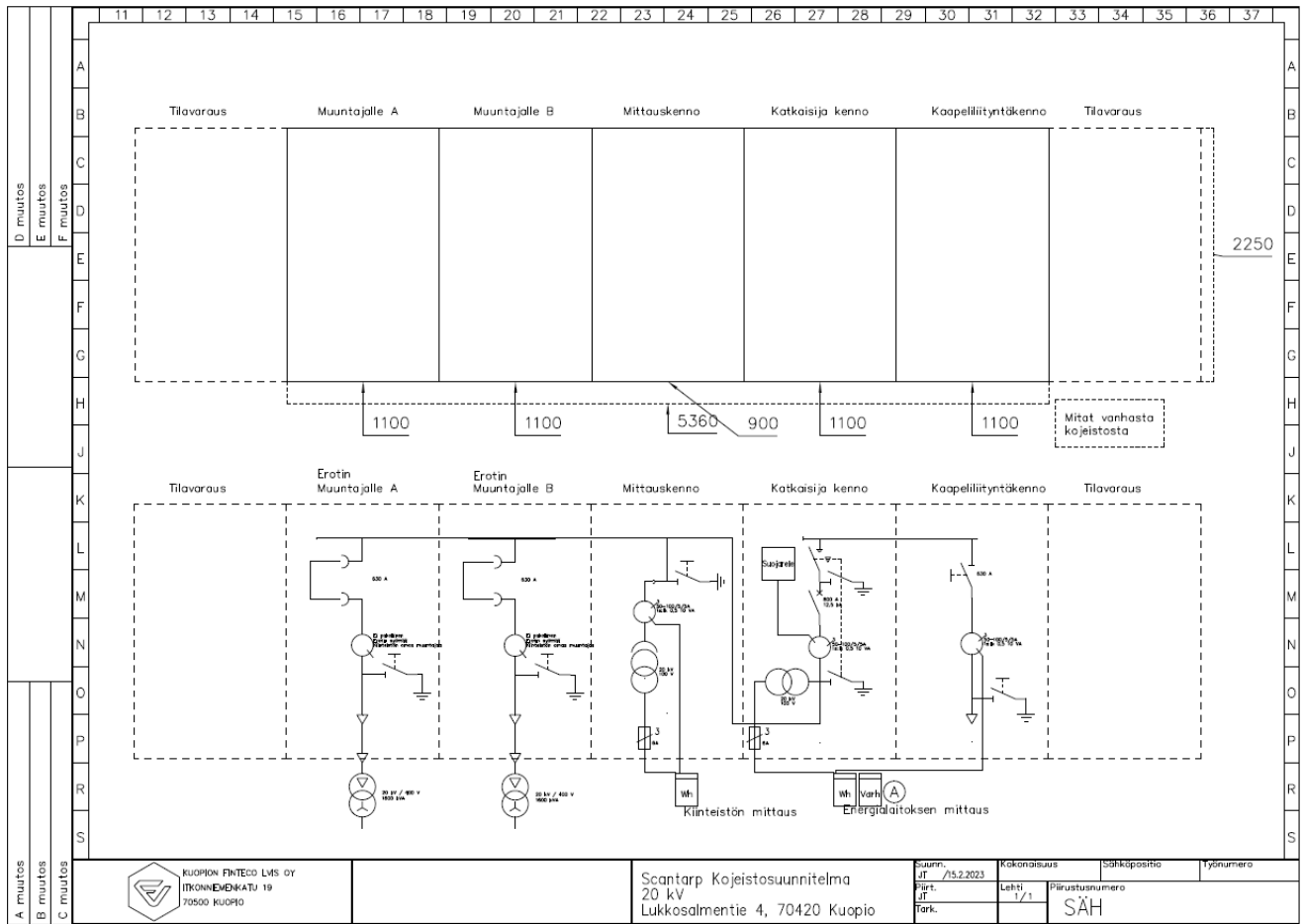
## LIITE 1.

Johdin	Vaiheresistanssi		Vaihe- reaktanssi Xv Ω/ km	Maakapa- sitanssi Cm μF/km	Käyttöka- pasitanssi Ck μF/km	Suurin sallittu kuormitusvirta		Suurin sallittu 1 s oikosulkuvirta		Jäähdytys- aikavakio τ min	Maasulku- virta Ie A
	Rv Ω/ km					In A	Ik kA	Ik kA			
	+20 °C 1)	+40 °C 2)							ilmassa 3)		
AHMCMK 3x70	0,444	0,480	0,116	0,18	0,18	150	170	5,4	5,4	35	2,1
AHMCMK 3x120	0,254	0,274	0,107	0,21	0,21	200	225	9,1	9,1	55	2,4
AHMCMK 3x185	0,165	0,178	0,097	0,24	0,24	265	285	14,1	14,1	80	2,7
AHMCMK 3x300	0,103	0,111	0,091	0,28	0,28	350	375	22,1	22,1	105	3,2
AHMDMK 3x70	0,446	0,482	0,127	0,18	0,18	150	170	5,4	5,4	30	2,1
AHMDMK 3x120	0,256	0,277	0,111	0,21	0,21	200	225	9,1	9,1	50	2,4
AHMDMK 3x185	0,169	0,183	0,100	0,24	0,24	265	285	14,1	14,1	75	2,7
AHMDMK 3x300	0,105	0,113	0,101	0,28	0,28	350	375	22,1	22,1	100	3,2
AHXAMK-W 3x70	0,446	0,482	0,138	0,18	0,18	235	200	5,7	6,7	42	2,1
AHXAMK-W 3x120	0,256	0,277	0,129	0,23	0,23	325	265	9,8	11,4	47	2,6
AHXAMK-W 3x185	0,169	0,183	0,119	0,26	0,26	425	330	15	17,5	53	3,0
AHXAMK-W 3x240 + 70	0,130	0,140	0,116	0,30	0,30	510	375	19,4	22,6	60	3,4
AHXAMK-W 3x300	0,106	0,115	0,113	0,32	0,32	565	435	24,2	28,2	65	3,7
AHXCMK 3x1x70	0,456	0,493	0,190	0,18	0,18	255	215	5,7	6,7	25	2,1
AHXCMK 3x1x120	0,266	0,287	0,180	0,23	0,23	350	280	9,8	11,4	30	2,6
AHXCMK 3x1x185	0,184	0,199	0,172	0,26	0,26	440	350	15	17,5	35	3,0
AHXCMK 3x1x300	0,120	0,130	0,163	0,32	0,32	580	440	24,2	28,2	44	3,7
AHXCMK 3x1x500	0,088	0,095	0,157	0,39	0,39	755	550	40,3	47	55	4,5
AHXCMK 3x1x800	0,073	0,079	0,154	0,49	0,49	950	650	63,9	74,4	67	5,6
AHXCMKM 3x70	0,446	0,482	0,132	0,18	0,18	190	175	5,7	6,7	45	2,1
AHXCMKM 3x120	0,256	0,277	0,121	0,23	0,23	265	230	9,8	11,4	65	2,6
AHXCMKM 3x185	0,169	0,183	0,114	0,26	0,26	340	290	15	17,5	84	3,0
AHXCMKM 3x300	0,106	0,115	0,107	0,32	0,32	460	380	24,2	28,2	90	3,7
APYAKMM 3x25	1,21	1,31	0,145	0,20	0,20	85	94	2,3	2,5	18	2,3
APYAKMM 3x35	0,876	0,947	0,138	0,22	0,22	105	115	3,3	3,7	20	2,5
APYAKMM 3x50	0,649	0,701	0,131	0,25	0,25	125	140	4,6	5,25	25	2,9
APYAKMM 3x70	0,451	0,487	0,124	0,29	0,29	155	170	6,5	7,3	30	3,3
APYAKMM 3x95	0,329	0,356	0,118	0,32	0,32	190	205	8,7	9,9	40	3,7
APYAKMM 3x120	0,262	0,283	0,115	0,35	0,35	210	225	11	12,5	50	4,0
APYAKMM 3x150	0,216	0,233	0,111	0,38	0,38	240	255	13,7	15,6	60	4,3
APYAKMM 3x185	0,175	0,189	0,107	0,41	0,41	270	290	16,9	19,2	65	4,7
APYAKMM 3x240	0,138	0,149	0,104	0,45	0,45	315	335	21,9	24,8	80	5,1
APYAKMM 3x300	0,114	0,123	0,101	0,49	0,49	360	375	27,3	31	90	5,6

Huomautukset 1) 2) 3) 4) ja 5), katso s. 40.

LIITE 1. 20 kV kaapeleiden johtotietoja (SA 5:94) (Adato Energia Oy, 2017)

## LIITE 2. KOJEISTON PÄÄKAAVIO



LIITE 2. Scantarpin kojeiston pääkavio (Tirkkonen, 2023)

### LIITE 3. RELEEN VIRTA-ASETTELUN LASKENTA

Releen virta-asettelun laskentaa.

Lasketaan teho vielä keskitehon ja ylityskertoimen avulla kaavalla (12). Käytetään hajontana ( $\sigma$ ) Taulukko 1 arvoa 0,97. Arvo 0,97 tarkoittaa että todennäköisyys sille, että todellinen maksimiteho ylittää lasketun arvon on 3 %. Taulukko 1 otetaan 0,97 vastaava  $z_\alpha$  arvo, joka on 2,00. Kaavaan tarvitaan myös keskiteho, joka on laskettu Excel-taulukossa Scantarpin käyttötiedoista vuodelta 2022. Suoritetaan laskenta:

$$P_{max} = P_{ave} \times z_\alpha \times \sigma \rightarrow 579,6kW \times 2,00 \times 0,97 = 1124,4 kW$$

kaavassa:

$P_{max}$  = Huipputeho (kW)

$P_{ave}$  = Keskiteho (kW)

$z_\alpha$  = kerroin ylitystodennäköisyyden mukaan (taulukko 3)

$\sigma$  = Hajonta

(Lakervi ;ym., 2008)

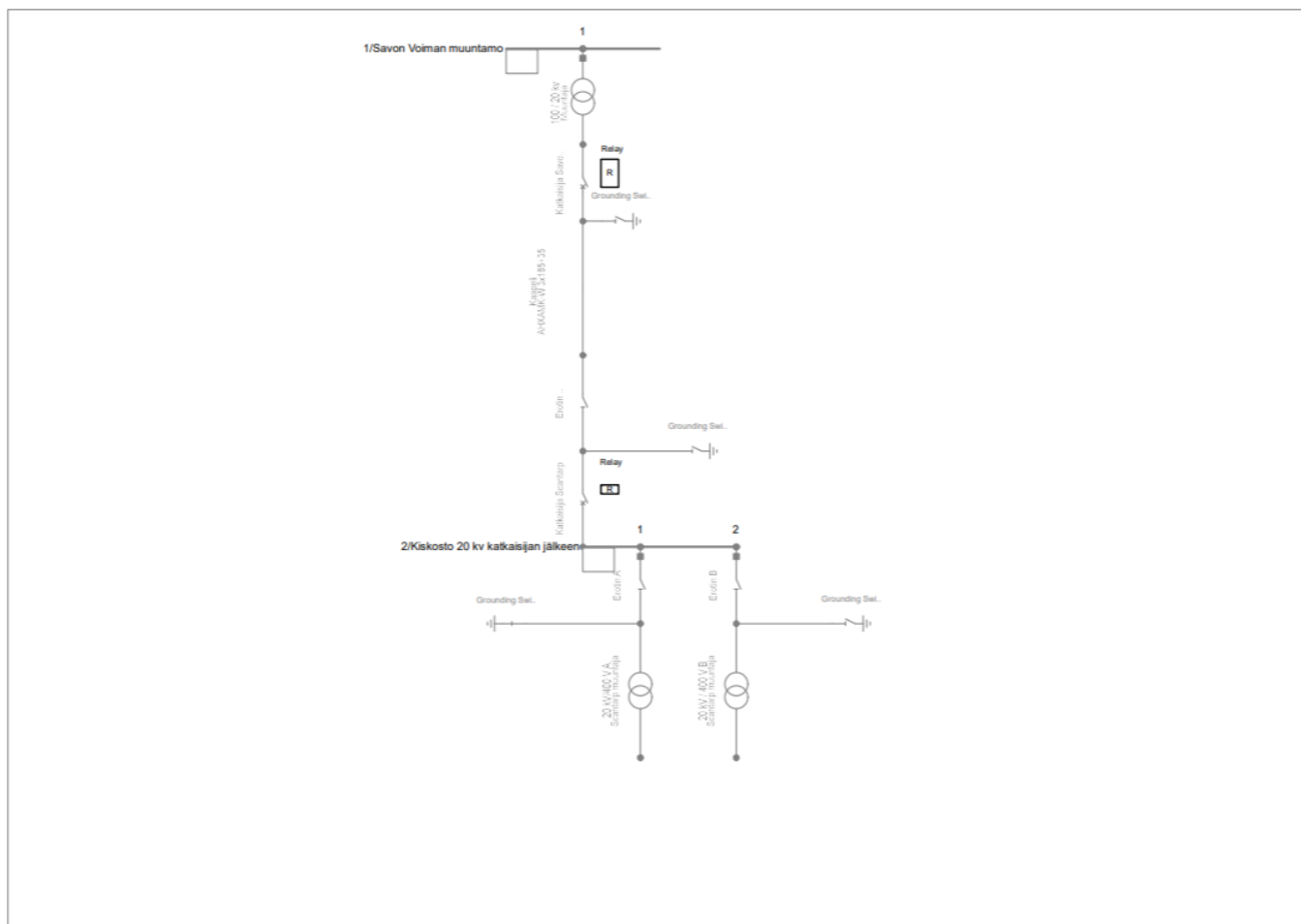
Lasketaan saadusta tehosta virta, jota voidaan käyttää mitoituksissa:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\varphi \rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \rightarrow \frac{1124,4 kW}{\sqrt{3} \times 20kV \times 0,95} = 34,17A$$

Koska releen asettelu asetetaan pienimmän 2-vaiheisen oikosulkuvirran ja kolminkertaisen kuormitusvirran välille on releen laukaisuvirta asettelu välillä: 102,51 A - 3726 A. Releen virta-asettelu voisi olla siis luokkaa 150 A. Pienin 2-vaiheinen oikosulkuvirta on saatu jakeluverkkoyhtiöltä liittymispisteessä.

LIITE 3.

## LIITE 4. SCANTARPIN KOJEISTON YLEISKAAVIO



Liite 3