

Miika Frilander

SÄHKÖVERKON SUOJAUSRATKAI- SUT SUOMESSA

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Miika Frilander
Työn nimi	Sähköverkon suojausratkaisut Suomessa
Toimeksiantaja	Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu
Vuosi	2021
Sivut	27 sivua, liitteitä 1 sivu
Työn ohjaaja(t)	Juha Korpijärvi

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin sähköasemille keskittyneen sähköverkon suo-
jauksen ratkaisuja Suomessa. Työn tarkoituksena oli perehtyä sähköasemiin
ja sähköverkon suojaukseen yleisesti. Tärkein tutkimuksen kohde oli tällä het-
kellä sähköverkon suojaukseen käytettävät suojausominaisuudet. Työssä
pohdittiin myös energiantuotannon ja verkon rakenteen muuttumisen vaiku-
tusta suojaukseen.

Ensiksi työssä tehtiin kirjoihin ja internet-lähteisiin perustuva teoriaosuus joka
käsittelee sähköasemia ja suojaraitia. Tutkimusta varten haastateltiin kolmea
sähköverkon suojauksen asiantuntijaa. Haastatteluissa kysyttiin relevalintoihin
liittyvistä tekijöistä, suojausominaisuuksista sekä suojauksen tulevaisuudesta.

Haastatteluiden tulokset vastasivat pääasiassa tutkimuskysymykseen. Merkit-
tävin havainto tutkimuksessa oli se, että sähköverkon suojaus varsinkin tule-
vaisuudessa tulee paljon perustumaan laadukkaisiin tietoliikenneyhteyksiin.
Tämä mahdollistaa verkon rakenteen ja toiminnan monimutkaistuessa selektiiv-
isen ja nopean suojauksen toteuttamisen.

Asiasanat: sähköasema, relesuojaus, sähköverkko

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Miika Frilander
Thesis title	Protective solutions for an electrical grid in Finland
Commissioned by	South-Eastern Finland University of Applied Sciences
Time	2021
Pages	27 pages, 1 page of appendices
Supervisor	Juha Korpijärvi

ABSTRACT

The objective of this thesis was to identify the protective solutions used in substations to protect the Finnish electrical grid. The purpose was to learn about substations and the protection of the electrical grid on a general level. The most important part of the research was the protective solutions that are now in use. The change in energy production and the structure of the grid were also discussed in the research.

The first task in the thesis process was the writing of the theory section about substations and protection relays, and it was based on literature and internet sources. Three protection experts were interviewed for the research section. The interviews consisted of questions about the factors that dictate the relay choices, different protection features and the future of grid protection.

The results of the interviews answered the research question fairly well. The most important observation was, that the protection of the electrical grid will heavily depend on high-quality data connections. This enables selective and fast protection as the electrical grid and its functions become more complicated.

Keywords: substation, relay protection, electrical grid

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	SÄHKÖASEMA.....	6
2.1	Sähköaseman toiminta	6
2.2	Sähköaseman rakenne	7
2.2.1	Kiskojärjestelmät.....	7
2.2.2	Kojeistot.....	9
2.2.3	Sähköaseman maadoitukset.....	9
2.3	Asema-automaatio ja valvonta.....	9
3	SÄHKÖVERKON VIAT	10
3.1	Oikosulku.....	10
3.2	Maasulku	10
3.3	Ylijännitteet	11
3.4	Valokaaret	11
4	SÄHKÖASEMIEN SUOJALAITTEET	12
4.1	Erotin	12
4.2	Katkaisija	13
4.3	Mittamuuntajat	16
4.4	Ylijännitesuojaus.....	17
4.5	Suojareleet	18
4.5.1	Ylivirtarele	18
4.5.2	Differentiaalirele	19
4.5.3	Jännitereleet	19
4.5.4	Jälleenkytkentäreleet	19
4.5.5	Taajuusreleet	20
4.5.6	Distanssireleet	20
5	TUTKIMUS SÄHKÖVERKON SUOJAUKSESTA	21
5.1	Tutkimuksen taustat.....	21

5.2	Kantaverkon suojausratkaisut.....	21
5.3	Jakeluverkkojen suojausratkaisut	23
5.4	Suojauksen haasteet ja kehityskohteet.....	24
6	POHDINTA.....	25
	LÄHTEET.....	27
	LIITTEET	

Liite 1. Haastattelujen kysymykset

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä perehdytään sähköasemille keskittyneen sähköverkon suojauksen toteutustapoja. Aluksi käsitellään yleisesti sähköasemia. Mikä on sähköaseman tehtävä ja minkälaisia sähköasemia on olemassa. Yleisen pohjustuksen jälkeen käydään läpi sähköverkon viat ja niiltä suojaavat laitteet. Lopuksi käydään läpi suur- ja keskijänniteverkon suojausratkaisuja ja suojauksen kehityskohteita. Sähköverkon suojausratkaisujen selvittämiseksi työtä varten haastateltiin kolmea sähköverkon suojauksen ammattilaista.

Aihe on rajattu oman mielenkiinnon ja uratavoitteiden pohjalta. Työn tarkoituksena on antaa tekijälleen ja lukijoilleen hyvä yleiskuva sähköverkon suojauksesta, jonka päälle on helppo rakentaa syvempää osaamista.

2 SÄHKÖASEMA

Sähköasema on sähkön kannattavaan ja turvalliseen siirtoon tarvittavan laitteiston keskittymä. Sähköasemilla voidaan muuntaa jännitetasoa ja kytkeä verkon eri osia yhteen tai erilleen. /1, s. 76–77./ Voimalaitokset liittyvät sähköasemien kautta siirtoverkkoon, jota pitkin sähkö kulkee kulutuksen lähelle ja edelleen seuraavien sähköasemien kautta jakeluverkkoon ja siitä muuntamoiden kautta kuluttajille /2, s. 11/.

2.1 Sähköaseman toiminta

Sähköaseman keskeisimmät laitteet ovat muuntajat, katkaisijat, erottimet, mittamuuntajat ja suojareleet. Päämuuntajan avulla muutetaan verkon jännitetasoa, kun taas mittamuuntajilla muunnetaan jännitettä tai virtaa mittaustarkoituksiin. /3./ Releet laskevat verkon sähkötekniset arvot mittamuuntajien avulla ja ohjaavat tarvittaessa katkaisijoita. Katkaisija sammuttaa eroon kytkennässä syntyvän valokaaren ja tämän jälkeen voidaan erottimella luoda turvallinen il-maväli jännitteisen ja jännitteettömän osan välille. /1, s. 161–163./

Lisäksi sähköasemilla on omakäyttömuuntaja sähköaseman itsensä sähköistystä varten ja tasasähköjärjestelmät tietoliikennelaitteita ja suojareleitä varten

/1, s. 96–97/. Keski- ja pienjännitepuolelta löytyy myös varokkeita. Asemilla voi myös olla erilaisia kompensointilaitteita. /3./

2.2 Sähköaseman rakenne

Sähköasemien rakenne riippuu käyttötarkoituksesta, tulevaisuuden näkymistä, sijainnista, sen välittämästä tehosta ja käytävissä olevista resursseista. Muuntoasemia, joissa muutetaan verkon jännitetasoa, käytetään voimalaitosten yhteydessä sekä kulutuksen läheisyydessä. Kytkinasemat ovat pelkästään ikään kuin sähköverkon risteyskohtia, eikä niihin kuulu sähköaseman kalleinta komponenttia, eli päämuuntajaa. Sijainnin tuomat merkittävimmät haasteet ovat rajallinen tila esimerkiksi taajamissa, sekä sen vaikutus ympäristöön. Sähköasemien ulkonäkö näkyvissä sijainneissa onkin ollut iso osa suunnittelua viime vuosina. Laajennettavuus lisää kustannuksia, mutta voi taas pitkällä aikavälillä tulla kannattavamiksi luoda riittävät laajennusmahdollisuudet. /1, s. 96–97./

Perinteisesti sähköasemilla varsinkin suurjännitepuolella on ollut käytössä ilmaeristeisiä ulkokytkinlaitoksia, mutta sijainti ja rajallinen tila tässäkin tapauksessa on tehnyt kaasueristeisistä sisäkytkinlaitoksista varteenotettavan vaihtoehdon. Eristeenä kaasueristeisissä kytkinlaitoksissa toimii SF₆-kaasu eli rikkiheksafluoridi. /1, s. 128./

2.2.1 Kiskojärjestelmät

Käytettävä kiskojärjestelmä valitaan pääasiassa teknistaloudellisin perustein. Järjestelmän valinnalla on vaikutusta joustavuuteen, huollettavuuteen ja toimitusvarmuuteen. Kokoojakiskoista puhutaan pääkiskoina ja apukiskoina, riippuen siitä liittyykö johto kiskoon katkaisijan vai pelkän erottimen välityksellä. /4, s. 304–305./

Kiskoton järjestelmä on yksinkertaisin järjestelmä. Tämä ei mahdollista katkaisijan ohikytkeä, johdon puolen erottimen huoltoa ilman katkoa eikä kuorman jakoa. Tätä järjestelmää voidaan käyttää johdon pääteasemilla tai johdonvarsiasemilla. /4, s. 305./

Yksikiskojärjestelmä ei muuten paljoa eroa kiskottomasta järjestelmästä, mutta pitkittäiskatkaisijalla ja erottimella voidaan jakaa kisko tarvittaessa osiin ja näin rajoittaa katkoaluetta. Kummassakin tapauksessa voidaan välttyä asia- kaskeskeytyksiltä, jos asema on mahdollista kytkeä toisiopuolelta toisen ase- man perään. /4, s. 305./

Kun kiskoja on enemmän kuin yksi, paranee aseman käytettävyys huomatta- vasti. Kisko-apukiskojärjestelmässä kiskot yhdistyvät katkaisijan avulla, jolloin voidaan väliaikaisesti korvata pääkisko. Kaksoiskiskojärjestelmässä jokaisen lähdön liittyessä kiskoihin katkaisijan kautta voidaan ryhmitellä lähtöjä ja jakaa kuormaa, sekä muuttaa tilannetta tarvittaessa ilman katkoja. Kaksoiskisko- apukiskojärjestelmässä on kaksoiskiskojärjestelmän lisäksi apukisko, joka en- tisestään lisää erilaisia kytkentämahdollisuuksia. /4, s. 305–307./ Kisko-apu- kisko- ja kaksoiskiskojärjestelmää voidaan käyttää pienivikaisissa kohteissa, joten nämä ovat yleisimmät kiskojärjestelmät kaasueristeisissä kytkinlaitok- sissa /1, s. 107/.

Kaksikatkaisijajärjestelmä eroaa kaksikiskojärjestelmästä sillä, että kiskoihin liitytään oman katkaisijan kautta sen sijaan, että kumpaankin kiskoon liityttäi- siin yhteisen katkaisijan kautta. Myös duplex-järjestelmäksi kutsutussa järjes- telmässä ei myöskään ole kiskokatkaisijaa. Tämä taas johtaa siihen, että jär- jestelmän suojaus on yksinkertainen. Runsas laitteiden määrä tekee tästä kal- liin vaihtoehdon. /4, s. 307./

Rengaskiskojärjestelmässä jokainen lähtö yhdistyy renkaaksi jossa jokaisen lähdön välissä on katkaisija. Tällöin jokaiselle lähdölle on syöttömahdollisuus kumpaakin reittiä ja huoltotoimenpiteiden tekeminen ei aiheuta katkoja. 1½- katkaisijajärjestelmässä jokainen lähtö liittyy viereiseen lähtöön tai kiskoon katkaisijalla. Katkaisijoiden määrä on täten suurempi kuin rengaskiskojärjes- telmässä. Kummassakin tapauksessa suojaus on monimutkainen ja kom- ponentit ovat mitoitettava kestämään suurempia virtoja. /1, s. 107./

2.2.2 Kojeistot

Laitetekonaisuudesta, johon kuuluu mittaus-, suojaus-, valvonta- ja kytkentälaitteet käytetään nimitystä kojeisto. Kojeistoja on avorakenteisina ja koteloituina. Kumpaakin käytetään sekä ulko- että sisätiloissa. Kojeiston eristeaineena toimii joko ilma tai SF₆-kaasu. /1, s. 117–119./

Suurjännitepuolen yleisin ratkaisu on avorakenteinen ulkokojeisto. Tämä vaatii yleensä runsaasti tilaa verrattuna muihin ratkaisuihin, mutta on muuten edullinen. Avorakenteisia sisäkojeistoja rakennettiin ennen keskijänniteverkossa. Koteloidut kojeistot ovat kasvattaneet ajan kuluessa tasaisesti suosiotaan ja keskijänniteverkossa käytetäänkin nykyään pääasiassa ilmaeristeisiä koteloituja sisäkojeistoja. Näitä saa tehdasvalmisteisena rakenteena jota kutsutaan kennoksi. Kasvavan energiatarpeen, ympäristökysymysten ja rajallisen tilan myötä kaasueristeiset koteloidut sisäkojeistot ovat yleistyneet korvaamaan vanhoja avorakenteisia ulkokojeistoja. /1, s. 117–120./

2.2.3 Sähköaseman maadoitukset

Maadoituksen toteutus sähköasemilla on turvallisuuden kannalta erittäin tärkeää, sillä vikatilanteissa kuten maasulussa potentiaali ylittää kilometrien päähän asemalta. Jokainen sähköaseman laite ja rakenne yhdistetään aseman alla olevaan maadoitusruudukkoon. Tällä minimoidaan kosketus- ja askeljännitteet. /1, s. 446./

2.3 Asema-automaatio ja valvonta

Automaatiolaitteiden ja tietoliikenneyhteyksien muodostama kokonaisuus huolehtii automaattisista kytkentätoimenpiteistä vikatilanteissa ja tapahtumien tiedonkulusta valvomoon tai tarvittaessa kytkentöjen tekemisestä valvomosta. Tämä mahdollistaa keskitetyn verkon valvonnan ja sen, ettei sähköasemien tarvitse olla miehitettyjä. /1, s. 385–387./

Kaukokäytöllä tarkoitetaan sähköaseman ulkopuolelta tapahtuvaa reaaliaikaista ohjausta, säätötoimenpiteitä, mittausta ja releiden toimintojen muutoksia. Nämä toiminnot auttavat tarjoamaan mahdollisimman suuren toimitusvarmuuden, kun esimerkiksi vikatapauksissa voidaan valvomosta rajata vika-alue mahdollisimman pieneksi. /1, s. 385./

3 SÄHKÖVERKON VIAT

3.1 Oikosulku

Oikosulku on vähintään kahden eri potentiaalissa olevan samaan virtapiiriin kuuluvan johtimen yhteys /5/. Muodostuneen vikavirtapiirin impedanssi on pieni, joten virta voi olla kymmeniä kertoja normaalia kuormitusvirtaa suurempi /6/. Tämä voi aiheuttaa verkon osien hajoamisen sekä vaaratilanteen oikosulun läheisyydessä oleville henkilöille /5/. Oikosulkuja aiheuttavat muun muassa luonnonilmiöt, inhimilliset virheet sekä verkon vialliset laitteet /4, s. 73./

Oikosulku voi olla yksi-, kaksi- tai kolmivaiheinen /5/. Yksivaiheista oikosulkuja kutsutaan myös maasulkuksi /6/. Yksi- ja kaksivaiheiset oikosulut ovat epäsymmetrisiä vikoja, koska osa vaiheista ei vahingoitu. Kolmivaiheinen oikosulku on virraltaan suurin. Kyseessä on symmetrinen oikosulku, koska kaikki vaiheet ovat viallisia. Epäsymmetrisen ja symmetrisen oikosulun erottaa epäsymmetriseen oikosulkuun kuuluvasta tasavirtakomponentista. /4, s. 73–74./

3.2 Maasulku

Maasulussa yksi tai useampi vaihe on yhteydessä maan potentiaaliin suoraan, jonkin rakenteen tai ulkopuolisen kappaleen tai valokaaren kautta. Tämä voi aiheuttaa vaarallisia kosketus- ja askeljännitteitä vikapaikan läheisyyteen. Varsinkin kuivilla ilmoilla myös metsäpalovaara on suuri. /7./

Verkon maadoitustavalla on suuri vaikutus maasulun käyttäytymiseen. Keski-jänniteverkko on useasti kokonaan maasta erotettu, jolloin maasulun syntyessä impedanssi koostuu pääasiassa kapasitanssista joka taas määräytyy galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituuden mukaan. Maasta erotetulla verkolla tarkoitetaan sitä, että verkkoa ei ole muuntajien tähtipisteestä maadoitettu. /4, s. 84./

Sammutettu verkko tarkoittaa sitä, että tähtipiste on maadoitettu vastuksen tai kuristimen kautta. Tässä tarkoituksena on kompensoida kapasitanssia kuristimen induktanssilla, jolloin maasulku maadoitustavan nimen mukaisesti sammuu. Verkko voidaan myös maadoittaa suoraan ilman vastusta tai kuristinta. Tällaista maadoitustapaa kutsutaan maadoitetuksi verkoksi. Maasulkuvirta on

tuolloin suuri, mutta suojaus on yksinkertaisempi. /4, s. 84–85./ Maakaapelointi tekee kompensoinnista vielä tärkeämpää, koska maasulkuvirta kaapeli-verkossa on huomattavasti suurempi kuin avojohtoverkossa /7/.

3.3 Ylijännitteet

Käyttöjännitteen mukaan määritellään eristysvälille suurin sallittu jännitteen huippuarvo. Tämän jännitteen ylittyessä puhutaan ylijännitteistä. Ylijännitteitä aiheuttavat luonnonilmiöt, verkon kytkennät sekä vioista aiheutuvat verkon tilanmuutokset. Ylijännitteet jaetaan sen mukaan, kuinka pitkään ne kestävät ja kuinka paljon ne vaimenevat. Voimakkaasti vaimenevia lyhytkestoisia jännitteitä kutsutaan transienttiylijännitteiksi ja heikosti vaimenevia pitkäkestoisia jännitteitä pientaajuisiksi ylijännitteiksi. /1, s. 11–12./

Transienttiylijännitteet jaetaan samoin perustein. Erittäin jyrkät transienttiylijännitteet kestävät alle mikrosekunnin ja niitä ilmenee SF₆-eristeisten kytkimien kanssa. Jyrkät transienttiylijännitteet aiheutuvat pääasiassa ukkosesta ja kestävät mikrosekunteja. Loivia transienttiylijännitteitä aiheutuu vioista ja kytkennöistä. Nämä kestävät jopa millisekunteja. /1, s. 11–12./

Pienitaajuisia ylijännitteitä seuraa loivien transienttiylijännitteiden tapaan vioista ja kytkennöistä, mutta myös epälineaarista verkon osista ja resonanssista. Verkon tähtipisteen maadoituksella on vaikutus maasuluissa syntyvien ylijännitteiden suuruuteen. Ylijännitteen suuruus määräytyy myös vikapaikan vikaresistanssin mukaan. /1, s. 13–14./

3.4 Valokaaret

Normaalisti huonosti sähköä johtava aine, kuten ilma, voi ionisoituessaan muuttua johtavaksi /8/. Tällöin sähkövirta purkautuu plasman kautta jota kutsutaan valokaareksi /4, s. 246/. Valokaari on erittäin vaarallinen sen läheisyydessä oleville ihmisille sekä laitteille. Sähköaseman kojeistoissa on kanavat valokaaren purkautumisen ohjaamiselle. /9./

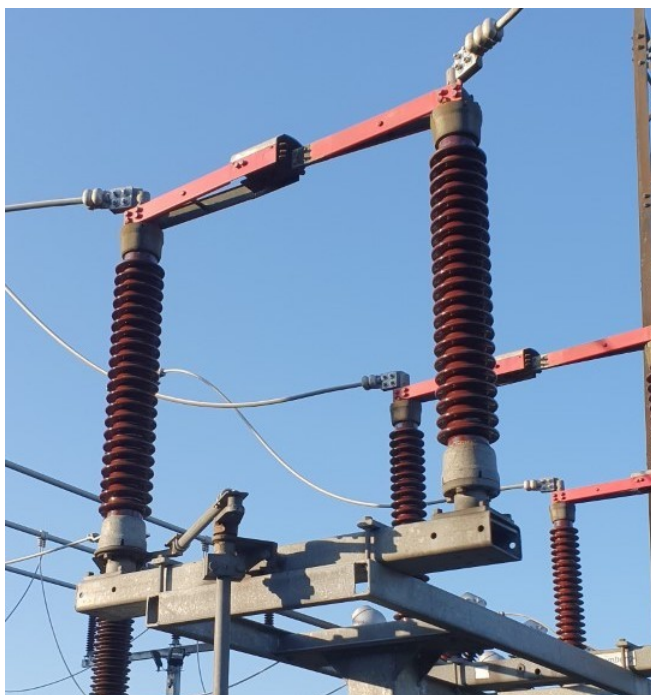
Valokaaren lämpötila voi olla tuhansia asteita. Valokaari aiheuttaa myös paineaallon, minkä seurauksena lähellä olevat ihmiset voivat lentää useita met-

reja. Tämä on erityisen vaarallista jos samassa tilassa on esimerkiksi työkaluja. Kova ääni voi myös vaurioittaa kuuloa. /8./ Lämpötilan johdosta rakenteet voivat sulaa ja höyrystyä joiden seurauksena voi tulla palovammoja sekä hengityselinvaurioita. Valokaaren kirkkaus voi myös aiheuttaa silmiin vaurioita. /1, s. 505./

4 SÄHKÖASEMIEN SUOJALAITTEET

4.1 Erotin

Erotin on kytkinlaite, jonka tärkein tehtävä on luoda turvallinen ilmapäli jännitteisen ja jännitteettömän kohdan välille. Tämä tarkoittaa sitä, että ilmapälin jännitelujuus on oltava ympäröiviä eristeitä suurempi. Erottimesta pitää pystyä selkeästi näkemään sen asento, jotta turvallisen työskentelyn pystyy helposti varmistamaan. Erottimella ei yleensä ole tarkoitus erottaa suurta kuormaa, vaan sen päätehtävä on turvallisuuden varmistaminen. Erottimia on yksi- ja kolminapaisia. /1, s. 190–192./



Kuva 1. 110 kV erotin.

Kuvassa 1 näkyy tyypillinen 110 kV erotin. Samaan rakenteeseen on liitetty kolme yksinapaista erotinta. Ylhäällä on erottimen liikkuvat osat, veitset ja koskettimet, joiden kytkentätilanne näkyy selkeästi. Tässä tapauksessa ne ovat siis kiinni. Rakenteista erottimen ja siihen kytketyvät johdot erottaa eristimet.

Erottimia on pysty- ja vaakatasossa liikkuvia. Liikkumasuunnan valinta perustuu pääasiassa erottimen käytössä olevaan tilaan. /1, s. 192–193./

Moottoriohjattuja erottimia käytetään pääasiassa keskijänniteverkossa. Näiden avulla pystytään valvomosta käsin rajaamaan vika-alueita mahdollisimman pieniksi helposti ilman, että jonkun pitäisi tehdä samat kytkennät maastossa. Näitä voidaan myös ohjata käsin. /1, s. 197./ Keskijänniteverkossa käytettävät ovat monesti kuormituserottimia, joilla voidaan erottaa myös kohtalaisia kuormitusvirtoja /1, s. 190–191/. Suurjänniteverkossa erottimet ovat tavallisesti käsi-ohjattavia /1, s. 197/.

Sähköasemalla erottimet sijoitetaan sähkön mahdollisten virtaussuuntien mukaan. Syöttävän suunnan ja katkaisijan välillä on oltava erotin. Erottimia käytetään myös kiskojen välillä riippuen kiskojärjestelmästä sekä väliaikaista käyttöä varten tarkoitettuna ohituserottimina. Työturvallisuuden varmistamiseksi on myös maadoituserottimia, joilla saadaan yhdistettyä jokin verkon osa maahan. /1, s. 190–191./

4.2 Katkaisija

Katkaisija on kytkinlaite, joka kykenee vahingoittumatta avaamaan ja sulkemaan virtapiirin suurimmillakin mahdollisilla virroilla. Releen havaitessa esimerkiksi liian suuren virran, antaa se ohjauksikäskyn katkaisijalle joka kytkee viallisen verkon osan irti verkosta. Katkaisijan avautuessa sen koskettimet sulaavat ja koskettimia ympäröivä aine ionisoituu joka synnyttää valokaaren. Tämän välityksellä virta voi kulkea samalla kun koskettimet erkanevat toisistaan riittävästi. Valokaari sammuu virran nollakohdassa, koska sen resistanssi kasvaa niin suureksi, että se toimii eristeen tavoin. /1, s. 162–163./

Katkaisijat jaetaan katkaisukammiossa käytetyn aineen mukaan. Väliaineena on ajansaatossa käytetty öljyä, ilmaa sekä SF₆-kaasua. Nykyään käytetään myös paljon tyhjiökatkaisijoita, joissa väliaineena ei siis ole mitään. Katkaisijat voidaan myös jakaa sen mukaan onko katkaisukammio verkon vai maan potentiaalissa. Niin sanottuja dead-tank katkaisijoita, jotka ovat maan potentiaa-

lissa, ei juurikaan Suomessa käytetä. Pääosin katkaisijat ovat verkon potentiaalissa olevia katkaisijoita joista käytetään nimeä live-tank katkaisija. /1, s. 168–170./



Kuva 2. 110 kV katkaisijoita.

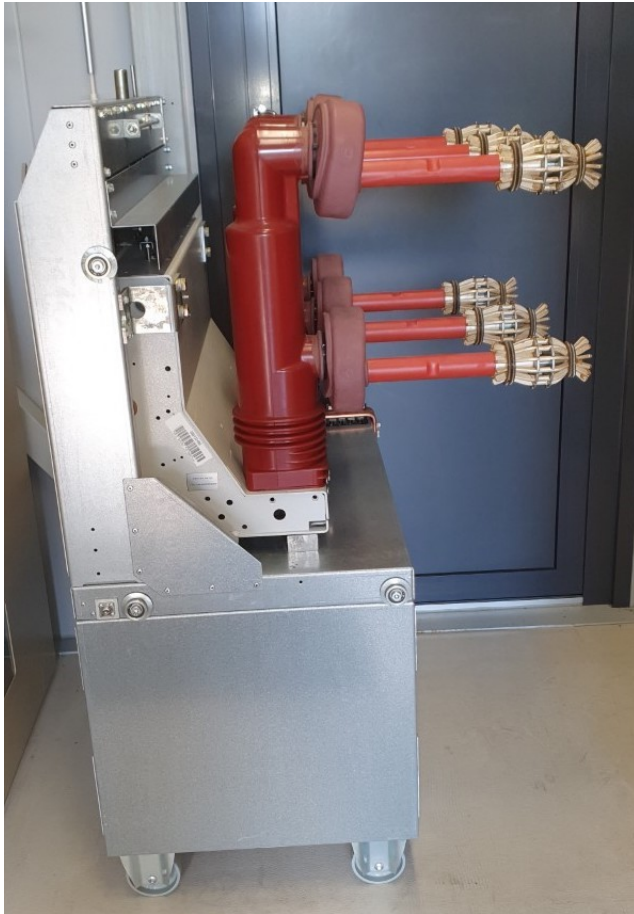
Ennen SF₆-kaasun käyttöä katkaisijoissa käytettiin öljyä. Öljyn kaasuuntuessa se hajoaa osiin ja syntynyt kaasuvaippa sammuttaa valokaaren. Öljykatkaisijat olivat erittäin riskialttiita, sillä räjähtäessään se saattaa tuhota kokonaisen kojeiston. Öljykatkaisijan tilalle tulikin vähäöljykatkaisija, jossa öljyn höyrystymisen synnyttämä paine ja virtaus sammuttaa valokaaren. Öljyä käyttäviä katkaisijoita ei enää tehdä, mutta toimivia vähäöljykatkaisijoita on vielä käytössä. /1, s. 174–176./

Ilmakatkaisijoissa käytetään normaalipaineista ilmaa. Niissä on koskettimet erikseen virrankulkua ja valokaaren sammutusta varten. Monet näistä katkaisijoista on varustettu magneettisella puhalluksella. Sen avulla voidaan työntää valokaarta sammutuskammion sammutuskennoihin. Valokaaren venyessä sen resistanssi kasvaa ja kennoissa jäähtyessään se sammuu. /1, s. 172–173./ Paineilmakatkaisijoissa käytetään nimensä mukaisesti paineilmaa. Niillä voidaan katkaista hyvinkin suuria virtoja. Paineilmaverkoston tarve tekee paineilmatkaisijasta haastavan käyttää. /1, s. 177./

SF₆-kaasun käyttö katkaisijoissa on nykypäivänä hyvin yleistä. Se on palamaton ja sammuttaa valokaaren tehokkaasti. Varsinkin suurjännitteillä SF₆-katsijaja on erittäin kannattava vaihtoehto. Niillä on myös pitkät huoltovälit sekä ne ovat hyvin toimintavarmoja. Ongelmallisen niistä tekee se, että SF₆-kaasu on kasvihuonekaasu, joten sitä käyttävien laitteiden on oltava tiiviitä. Se myös tuottaa katkaisutapahtumassa myrkyllisiä kaasuja. /1, s. 177–181./

Tyhjiökatsijajat ovat vieläkin huoltovapaampia kuin SF₆-katsijajat. Ne ovat myös rakenteeltaan yksinkertaisia. Koskettimien höyrystymisestä syntyvä metallipilvi on ainoa tie virrankululle, joka tarkoittaa myös sitä, että valokaari sammuu heti kun ionisoituminen loppuu virran nollakohdassa. Koskettimet eivät myöskään tarvitse avattuna pitkää väliä, koska tyhjiöllä on hyvä jännitelujuus. /1, s. 182./

Katsijajoiden kehityksen johdosta erottimista on tullut vikaherkin laite sähköverkossa. Tämä on johtanut siihen, että tarve erottaville katsijajaille on kasvanut. Näitä on käytetty jo kauan keskijännitepuolella vaunukatsijajoiden muodossa. Kuvassa 3 on tyypillinen vaunukatsijaja ulosvedettynä, josta näkee helposti avausvälin. Suuremmille jännitteille tarkoitettujen vaunukatsijajoiden koko on niin suuri ja sijainti yleensä korkealla, että ne eivät ole käsin liikutettavissa. Näiden siirtämistä varten on erilaisia apulaitteita. Tavalliset katsijajatkkin voidaan valmistaa siten, että sen koskettimet muodostavat riittävän ilmavälin. /1, s. 184–185./



Kuva 3. 20 kV vaunukatkaisija.

4.3 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat antavat releille tarvittavat sähkötekniset arvot. Niitä käytetään jännitteen ja virran mittaukseen, suojaus- sekä mittaustarkoituksessa. Niiden avulla releet voidaan sijoittaa käytännölliseen paikkaan. Ne ovat myös galvanisesti erillään mitattavasta piiristä. Mittamuuntajan tehtävän kriittisyyden vuoksi niiden on oltava mahdollisimman tarkkoja. Virheitä mittamuuntajissa aiheuttaa käämien hajaimpedanssit ja tyhjäkäyntivirta. /1, s. 198./

Virtamuuntajissa on otettava huomioon sen oma taakka sekä muiden mittauspiirissä olevien osien taakka, jotta voidaan tietää mitattavan virran osuus kokonaistaakasta. Virtamuuntajien on kyettävä toistamaan suurimmatkin sen tarkastelupisteessä olevat vikavirrat, jotta releet toimivat oikein. Tärkeä osa tätä on tasavirtakomponentin toistokyky. /1, s. 206–208./

Samaa virtamuuntajaa voidaan käyttää sekä mittaus-, että suojaustarkoitukseen. Kumpaakin tarkoitusta varten mittamuuntajassa on oltava oma sydän.

Virtamuuntajat eristetään ulkokäytössä joko öljyllä tai SF₆-kaasulla ja sisäkäytössä valuhartsilla. /1, s. 211–213./

Jännitemuuntajalta vaaditaan tarkkuutta mitoitusjännitekertoimen määrittelymään jännitteeseen saakka. Mitoitusjännitekertoimeen vaikuttaa verkon maadoitus sekä muuntajan ensiökäämin kytkentä. Jännitemuuntaja eroaa virtamuuntajasta siinä että jännitemuuntajassa käämeillä on yhteinen sydän. Tällä on vaikutusta mittausvirheisiin. Jännitemuuntajien eristysaineena käytetään samoja aineita kuin virtamuuntajilla. Kuvassa 4 on ulos asennettava jännitemuuntaja, joka on kytketty vaiheen ja maan väliin. /1, s. 215–220./



Kuva 4. 110 kV jännitemuuntaja.

4.4 Ylijännitesuojaus

Sähköasemilla tärkeimmät keinot suojautua yliaalloilta on mastot, ukkosjohtimet sekä venttiilisuoijat. Venttiilisuojoilla suojataan kaikki aseman tärkeät komponentit. Mastot ja ukkosjohtimet ovat korkeammalla kuin, muut komponentit, joten salama iskee todennäköisemmin niihin. /1, s. 31./

Venttiilisuojan tarkoituksena on toimia tiettyyn jännitteeseen asti eristeenä ja sen yli mentäessä pienenä vastuksena. Ne sijoitetaan rinnan suojattavan lait-

teen kanssa maan ja vaiheen väliin. Venttiilisuojan etäisyys suojattavasta laitteesta on myös oltava mahdollisimman pieni. Suojattava laite ja venttiilisuoja on maadoitettava samaan pisteeseen ja maadoitusjohtimien on oltava mahdollisimman lyhyet. Vanhemmat venttiilisuojat perustuvat kipinäväleihin, mutta uudemmat ovat kipinävälittömiä. /1, s. 36–38./

4.5 Suojareleet

Suojarele on laite, joka antaa käskyn katkaisijalle mikäli se havaitsee riittävän pitkäaikaisen poikkeaman sille asetetuista sähköteknisistä arvoista /10, s. 221/. Samalla asemalla olevat releet toimivat tarvittaessa yhteistyössä, jotta vika-alue pystytään määrittelemään ja irrottamaan verkosta. Tavoitteena on se, että vältytään vahingoilta ja sähkönjakelu ehjässä verkossa voi jatkua. Pitkäaikaiset viat aiheuttavat vaaraa niin ihmisille kuin eläimillekin. Esimerkiksi maasulun yhteydessä saattaa aiheutua vaarallisia askeljännitteitä isollekin alueelle. Suurjänniteverkossa taas pitkien vikojen aiheuttamat jännitekuopat voivat vaarantaa koko verkon toiminnan. /1, s. 335–337./

Releitä on ajansaatossa ollut erilaisia. Ensimmäiset releet olivat sähkömekaanisia releitä. Niissä on yksinkertaiset toiminnot, mutta ne on pääasiassa luotettavia. Niitä käytetään vieläkin joissain tapauksissa. Elektroniset releet olivat välivaihe releiden kehityksessä. Ne olivat tarkempia ja palautui nopeammin kuin sähkömekaaniset releet, mutta nekin vaativat jatkuvaa huoltoa. Digitaaliset releet ovat olleet muutaman vuosikymmenen ajanärkevin ratkaisu. Niissä on monipuoliset mahdollisuudet toteuttaa suojaus, mutta toisaalta monimutkaisuus tuottaa myös haasteita niiden kanssa. Niissä voi olla lisätoimintoja monipuolisempaa suojausta varten, sekä itsevalvonta relevikojen havaitsemiseksi. Digitaaliset releet kehittyvät jatkuvasti ja niiden toimintojen määrän kasvaessa on tärkeä varmistaa niiden tärkeimpien tehtävien toimivuus. /1, s. 344–345./

4.5.1 Ylivirtarele

Ylivirtarele nimensä mukaisesti antaa katkaisijalle ohjauskäskyn virran ylittäessä sille sallitun arvon. Virtareleet voidaan jakaa toiminta-ajan perusteella vakioaikaylivirtareisiin ja käänteisaikaylivirtareisiin. Vakioaikaylivirtarele toimii saman asetteluajan jälkeen havaittuaan asetteluarvon ylittävän virran. Käänteisaikaylivirtarele toimii sitä nopeammin, mitä suurempi virta on. Releissä on

monesti kummatkin toiminnot ja ne voidaan valita tarpeen mukaan. Ylivirtareleillä voidaan suojata säteittäistä verkkoa mikäli suurin kuormitusvirta ei ylitä pienintä vikavirtaa. Silmukkaverkossa niitä voidaan käyttää vain varasuojina. /1, s. 346./

4.5.2 Differentiaalirele

Differentiaalirele tarkkailee suojattavan osan tulevia ja lähteviä virtoja. Differentiaalireleestä käytetään myös nimitystä erovirtarele. Normaalityössä suojattavan osan virtojen summa on nolla, mutta vikatapauksessa summa on eri kuin nolla. Differentiaalirele toimii sille määritellyn virtojen summan sallitun arvon ylittyessä. Asetteluarvoja määrittäessä tulee ottaa huomioon suojattavan alueen kuormitus, sillä virtamuuntajan ja käämikytkimen aiheuttamat virheet kasvavat kuormituksen kasvaessa. Se suojaa vain kahden vertailupisteenä käytettävän virtamuuntajan välistä aluetta. Muuntajat suojataan differentiaalireleellä, sillä sen avulla voidaan havaita muuntajan sisäiset viat. Differentiaalirelettä käytetään myös kiskostojen suojaukseen. /1, s. 354–357./

4.5.3 Jännitereleet

Jänniterele toimii, kun jännite poikkeaa sallituista arvoista. Niillä suojataan sähkökoneita ja varmistetaan tasainen jännite verkossa. Jännitereleitä käytetään myös maasulkusuojaukseen. Kyseisiä releitä kutsutaan nollajännitereleiksi. /4, s. 393./

4.5.4 Jälleenkytkentäreleet

Automaattisia jälleenkytkentöjä käytetään avojohtoverkon ohimenevien vikojen aiheuttamien katkojen minimoimiseksi. Releiden asetteluista riippuu, onko käytössä pika- ja aikajälleenkytkentä, vai pelkkä aikajälleenkytkentä. Pikajälleenkytkentä tapahtuu alle sekunnin jälkeen katkaisusta, mutta kuitenkin vähintään 0,2 sekunnin jälkeen, jotta ilman ionisaatio kerkeää häviämään. Epäonnistuneen pikajälleenkytkennän odotetaan vähintään puoli minuuttia, ennen kuin yritetään aikajälleenkytkentää. /1, s. 371–372./

Jälleenkytkentäreleet ohjaavat jälleenkytkentätoimintoja ja ne ovat yhteydessä suojaustoiminnoista vastaaviin releisiin, jotta kunkin suojaustoiminnon jälkeen

tulee oikea jälleenkytkentätoiminto. Nykyään nämä toiminnot löytyvät samasta releestä. /1, s. 356./

4.5.5 Taajuusreleet

Taajuusrele toimii, kun taajuus poikkeaa sallituista arvoista. Sillä pidetään verkon taajuus vakaana erottamalla osa kuormasta tilanteissa, joissa kulutus ja tuotanto poikkeaa toisistaan. Taajuusreleiden avulla kytketään johdonvarsigeneraattorit pois verkosta jälleenkytkentöjen jännitteettömänä aikana. Mikäli generaattori pystyy syöttämään vikavirran, ei taajuus muutu eikä generaattori kerkeä irtoamaan pikajälleenkytkennän aikana. /1, s. 352./

4.5.6 Distanssireleet

Distanssireleet käyttävät jännite- ja virtamuuntajia, joilla ne mittaavat johdon virran sekä alkupään jännitteen. Näistä suureista rele laskee suojattavan johdon impedanssin. Rele tunnistaa vian suunnan virran ja jännitteen välisestä vaihesiirtokulmasta. Tämän ominaisuuden takia distanssirelettä voidaan käyttää silmukoidussa verkossa. Distanssirele pystyy myös määrittämään vikapaikan. /1, s. 348–349./

Distanssireleillä on eri suojausvyöhykkeitä, joille voidaan asettaa omat asette-luarvot. Aikahidastuksella määritellään eri suojausvyöhykkeillä olevien vikojen laukaisuajat. Ensimmäinen vyöhyke ulottuu melkein koko suojattavan johdon pituudelle ja on toiminta-ajaltaan nopein. Toinen vyöhyke ylettyy seuraavan aseman yli siltä lähtevän lyhyimmän johdon ensimmäisen vyöhykkeen matkan. Kolmas vyöhyke ylettää vähintään kahden johtovälin matkan. Mikäli johdon eri päissä olevat releet ovat varustettuja viestiyhteydellä, voidaan katkaisukäsky antaa nopeammin ja tarkemmin. /1, s. 350–352./

5 TUTKIMUS SÄHKÖVERKON SUOJAUKSESTA

5.1 Tutkimuksen taustat

Tätä opinnäytetyötä varten haastateltiin kolmea sähköverkon suojauksen ammattilaista. Haastattelujen tarkoituksena oli saada yleiskuva suur- ja keskijänniteverkon suojauksesta Suomessa. Haastateltavat olivat joko kantaverkkoyhtiö Fingridin tai jakeluverkkoyhtiöiden palveluksessa.

Haastattelut muodostuivat pääasiassa relevalintojen läpikäymisestä, eri jännitetasoilla käytettävistä suojausominaisuuksista, sekä suojausta koskevista tulevaisuuden haasteista ja tämän hetken kehityskohteista. Relevalinnoissa keskusteltiin valintaperusteista sekä toteutustavoista. Suojauksen osalta käytiin läpi käytettävät suojausominaisuudet sähköasemien kiskostoissa sekä johtolähdöillä, oli kyseessä sitten avojohto tai kaapeli. Pienjänniteverkon suojaukseen ei otettu kantaa, kuin sen verran mikä oli kokonaisuuden kannalta tarpeellista. Lopuksi pohdittiin sähköntuotannon hajautumisen ja kaapeloinnin osuuden kasvamisen vaikutusta sähköverkon suojaukseen nyt ja tulevaisuudessa.

5.2 Kantaverkon suojausratkaisut

Kantaverkon relevalinnat perustuvat toimintavarmuuteen. Kaikki johtolähtöjen suojat on kahdennettu ja releet tulevat eri valmistajilta, jotta vältytään releiden samanaikaiselta vioittumiselta esimerkiksi tyyppivian takia. Releet myös konfiguroidaan valmiiksi valmistajien toimesta. Tällä voidaan poistaa eri urakoitsijoista aiheutuvat muuttujat. Viimeisimmässä tyyppihyväksynnässä on määriteltä seuraavien vuosien toimintamalli suojauksen osalta. /11./

400 kV:n verkon suojauksessa tärkeintä on mahdollisimman lyhyt vika-aika, sillä pitkittyneiden vikojen aiheuttama verkon stabiiliuden menetys aiheuttaa tuotannon pysähtymisen. Sellaisissa vikatapauksissa, missä verkon stabiilius ei ole uhattuna, voidaan sallita pidempi vika-aika. 400 kV:n avojohtojen pääsuojina toimii distanssisuojat ja varasuojina differentiaalisuojat. Viestiyhteydellä varustetut distanssisuojat pystyvät kommunikoimaan keskenään vaikka ovatkin johtojen eri päissä. Tämän avulla suojauksesta saadaan entistä nopeampi ja selektiivisempi. Distanssirele riittää yleensä maasulkusuojaukseen, mutta suuria vikaresistansseja varten on myös nollavirtarele. Distanssireleisiin

kuuluu myös suunnattu maasulkusuojaus ja niiden neljäs suojausvyöhyke toimii myös kiskosuojan varasuojana. Jälleenkytkentäominaisuus kuuluu oleellisena osana avojohtoja suojaaviin releisiin. Releet on myös varustettu itsevalvonnalla, jolloin toimintavarmuus lisääntyy ja ennakoiva huolto on mahdollista. /11./

Sarjakompensoiduilla johdoilla tarvitaan erilainen suojaus, sillä jännite voi releen näkökulmasta kääntyä. Pääsuojana toimii tässä tapauksessa differentiaalisuoja, joka vaatii valokuituyhteyden. Tämä toteutetaan usein osana ukkosköysiä. Viestiyhteydet ovat varmuuden vuoksi kahdennettuja. Varasuojana toimii distanssirele. /11./

Pääsuojana 110 kV:n avojohdoilla on myös kahdennettu distanssisuojaus. Viestiyhteys ei ole pakollinen distanssisuojaukseen 110 kV:n johdolla. Suojauksen toimintanopeus ei ole tällä jännitetasolla niin kriittistä, koska katkot eivät vaaranna verkon stabiiliutta. Maasulkusuojauksessa apuna on tässäkin tapauksessa suunnattu maasulkuoja. Maasulkusuojauksessa on otettava huomioon eri aikoihin rakennetun 110 kV:n verkon vaihtelevasti toteutettu maadoitus. Lyhyillä sekä kaksois- ja kolmoisjohdoilla voidaan käyttää differentiaalisuojaa, mutta se vaatii valokuidulla varustetut ukkosköydet. 220 kV:n johdot suojataan myös samalla tavalla, kuin 110 kV:n johdot. Harvoin käytetyissä suurjännitekaapeleissa käytetään myös differentiaalisuojaa pääsuojana ja distanssisuojaa varasuojana. Kaapeleilla ei myöskään käytetä jälleenkytkentöjä. /11./

Fingridin 110 kV:n verkko on kytketty renkaaseen, mikä vaikeuttaa suojauksen toteuttamista. Fingridin asemilta lähtee myös asiakkaiden säteisohtoja. Releillä voi olla useita asetteluryhmiä eri kytkentätilanteita varten. Asetteluarvoja voidaan myös käydä manuaalisesti muuttamassa tarpeen tullen. /11./

Kiskostoja suojaa kiskosuoja johon kuuluu katkaisijavikasuoja. Kytkinasemilla kiskosuojaus ei ole aina välttämätöntä. Muuntajat suojataan niiden sisäisiltä vioilta differentiaalisuojalla ja muuntajan tähtipisteissä käytetään nollavirtarelettä maasulkusuojaukseen. /11./

5.3 Jakeluverkkojen suojausratkaisut

Jakeluverkoissa suojausten toteutus on huomattavasti vapaampaa kuin kantaverkossa. Oikosulkusuojauskelle rajat asettaa terminen kesto ja maasulkusuojauskelle vaarajännitteet. Käytännössä oikosulku pitää saada pois verkosta ennen kuin siitä aiheutuu suurempaa vahinkoa ja maasuluista ei saa olla vaaraa ihmisille. Vaikka jakeluverkossa onkin suuremmat vapaudet on silti yksinkertainen suojaus kaikista toimintavarmin. /12./

Jakeluverkoissa on otettava huomioon useita asioita relevalintoja tehdessä, koska käytettäviä ratkaisuja ei kukaan määrittele ennakoon. Pyrkimyksenä on, että relettä käytetään mahdollisimman kauan, joten uusia tuotteita suositaan valintoja tehdessä. Releellä tulee olla riittävät suojausominaisuudet ja liitännät. Sen tulee myöskin kommunikoida muiden laitteiden kanssa käytössä olevien standardien mukaisesti. /12./

Keskijänniteverkko on pääasiassa rakennettu säteittäiseksi, joten siinä on helppo saavuttaa selektiivisyys. Keskijänniteverkon johtoja suojataan oikosuilta käyttämällä moniportaista ylivirtasuojauksia. Maasulkusuojaukseen sen sijaan käytetään monia eri keinoja, koska verkon maadoitukset vaihtelevat ja avojohtoja ja kaapeleita on kumpaakin käytössä. Käytössä on suuntaamaton kaksoismaasulkusuojaus, suunnattu maasulkusuojaus ja sammutetussa verkossa katkeileva maasulkusuojaus. Varasuojana voidaan käyttää suuntaamattonta maasulkusuojausta, joka pudottaa lähdön kerrallaan kunnes vika poistuu. /13./ Joissain kaupunkiverkoissa voidaan jatkaa verkon normaalia käyttöä väliaikaisesti maasulkutilanteissa, kunhan vaarajännitteiden rajat eivät ylitä. Euroopan unioni vaatii myös verkkoyhtiöitä toteuttamaan alitaajuussuojauksen niitä tilanteita varten, kun kulutusta on liikaa tuotantoon nähden. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että verkkoyhtiö määrittelee, mitkä verkon osat pudotetaan pois alitaajuusreleen toimiessa. Ennen alitaajuussuojauksesta vastasi Fingrid. /12./ Keskijänniteverkossa voidaan myös tarvittaessa käyttää yli- ja alijännitesuojauksia /13/.

Keskijänniteverkoston suojaukseen kuuluu oleellisena osana valokaarisuojaus. Valokaarisuojaus voi toimia joko pelkän valon tai myös virran perusteella. Va-

lokaarisuojaus avaa pääkatkaisijan, mutta joka kennoon asetettujen valoantu-reiden avulla pystytään paikantamaan valokaaren sijainti. Kiskoilla on myös ylivirtasuojauksen sekä suuntaamaton maasulkusuojauksen toimintaa voidaan nopeuttaa jos johtolähtöjen releiltä voidaan antaa ylivirtasuojan laukaisevassa tapauksessa lukituskäsky kiskon releelle. Tämä estää pääkatkaisijaa avautumasta johtolähtöjen vioissa. /13./

Muuntajia ja rinnakkaiskuristimia suojaa kumpaakin ylivirtasuojaja ja differentiaalisoija. Molemmissa on myös suuntaamaton maasulkusuojauksen. Sammutuslaitteistossa on ylivirtasuojauksen. /13./ Jakeluverkkoyhtiö on vastuussa omien 110 kV:n johtojen suojaamisesta. Näiden suojaus tapahtuu pääasiassa samalla tavalla kuin kantaverkossakin. /12./ Varasuojina käytetään vieläkin monesti mekaanisia releitä /13/.

5.4 Suojauksen haasteet ja kehityskohteet

Suurten generaattorien poistuminen sähköntuotannosta aiheuttaisi ongelmia kantaverkossa, koska vikatilanteissa ne pitävät huolen riittävästä vikavirrasta jotta suojaus voi toimia tarkoitetulla tavalla. Tämä olisi mahdollista jos vesivoima ja ydinvoima poistuisivat ja ne kaikki korvattaisiin tuulivoimalla ja aurinkoenergialla. Tämä on erittäin epätodennäköistä, mutta tulevaisuudessa tyypin hyväksynnöissä on tarpeen ottaa huomioon sähköntuotannon osittainen muutos. Tällä hetkellä kantaverkon suojauksessa tätä asiaa ei ole huomioitu. /11./

Sähköntuotannon hajautuminen aiheuttaa myös mahdollisia ongelmia jakeluverkoissakin, kun esimerkiksi aurinkopaneelien lisääntyessä suurin virta voi olla kesällä keskellä päivää. Tarpeen tullen tätä tuotantoa pitäisi pystyä poistamaan verkosta. Pientuotannossa piilee myös se ongelma, että laitteiden toiminnallisuudesta ja kunnosta ei voida olla varmoja ja näiden pudottaminen verkosta vaatisi pienjänniteverkon suojaukseen muutoksia. Tämä saattaa johtaa myös sähkön laadun heikkenemiseen. /13./

Keskijänniteverkon kaapelointi tarkoittaa myös maastokatkaisijoiden lisäämistä ilmajohto-osuuksille, jotta ohimenevät avojohtojen viat eivät laukaise katkaisijaa aina sähköasemalta asti. Maastokatkaisijoiden selektiivisen toimin-

nan toteuttamista helpottaa monesti kaapeloinnin yhteydessä maahan sijoitettava valokuituyhteys, jonka avulla maastokatkaisijan rele voi kommunikoida johtolähdön releen kanssa ja tarvittaessa lukita sen mikäli maastokatkaisijan rele havaitsee vian. Tämä tarkoittaa sitä, että johtolähdön ja ehkä jopa koko aseman keskijännitepuolen suojausta ei tarvitse muuttaa. Ilman tätä kommunikointimahdollisuutta pitäisi jatkuvasti tarkastella kaikkien releiden asetteluarvoja. Mitä enemmän maastokatkaisijoita yhdelle lähdölle tulee, sitä hankalammaksi selektiivisyyden varmistaminen menee. /13./

Viestiyhteydet ja laitteiden välinen kommunikointi on tärkeä kehityskohde, joka käy ilmi esimerkiksi Fingridin digiasema projektista. Siinä kaikki aseman releiden tiedot kulkevat väylässä. Suojaustoimintoihin tällä ei sinänsä ole vaikutusta. /11./ Suojaus on jo monelta osin riittävän hyvä ja jakeluverkkoyhtiöillä on suuri paine keskittyä kaapelointiin ja säävarman verkon rakentamiseen. Vain näiden toimien vaatimat suojausten muutokset on otettava huomioon. Suomen sähköverkko on muutenkin tehty kestäväksi vallitsevat olosuhteet, joten suuria huolia sähköverkon toimivuudesta ei ole tulevaisuuden haasteet huomioiden. /12./

6 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli selvittää minkälaisia suojausratkaisuja Suomen sähköverkossa käytetään haastatteleamalla suojausasiantuntijoita eri verkkoyhtiöistä sekä samalla perehtyä sähköasemiin. Pääpiirteittäin lopputulos vastaa tutkimuksen pohjana olevaan kysymykseen, mutta useammalla haastattelulla ja eri tavalla muotoilluilla kysymyksillä olisi voinut saada järkevämmän ja puutteettoman lopputuloksen. Monipuolisempia vastauksia olisi tullut useampia erilaisten verkkoyhtiöiden ammattilaisia haastatteleamalla.

Teoriaosuus on tiivis paketti sähköasemista sekä suojausten kannalta tärkeistä laitteista. Tämä tarjosi tutkimukselle hyvän pohjan. Tarkoituksena ei ollut perehtyä syvällisesti mihinkään yksittäiseen asiaan, vaan tarjota yleiskuva sähköasemista, relesuojauksesta ja releiden käytöstä Suomen verkossa. Aihe rajattiin sähköasemille keskittyneeseen sähköverkon suojaukseen. Verkon suojausta olisi voinut lähteä käsittelemään muistakin lähtökohdista, mutta tämä tapa valikoitui oman mielenkiinnon pohjalta.

Haastattelut antoivat itselleni mahdollisuuden keskustella sähköverkosta osaavien ihmisten kanssa sekä oppia paljon uutta varsinkin suojauksen toteutusfilosofiasta. Suomessa sähköverkko ja sen suojaus on hyvässä tilassa ja moni asiaa hankaloittava tekijä voidaan ottaa huomioon pitämällä kiinni siitä periaatteesta, että yksinkertainen on kaunista.

LÄHTEET

1. Elovaara J. & Haarla L. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto. 2011.
2. Lakervi E. & Partanen J. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto. 2008.
3. Korpinen L. Sähköasemat. PDF-dokumentti. 1997. Saatavissa: http://leenakorpinen.com/archive/sahkoverkko/sahkoasemat_muuntamot.pdf [viitattu 15.9.2021].
4. Elovaara J. & Laiho Y. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. painos. Helsinki: Otatieto. 1988.
5. Korpinen L. Sähköverkon automaatio ja suojaus. PDF-dokumentti. 1998. Saatavissa: http://leenakorpinen.com/archive/svt_opus/5sahkoverkon_auto-maatio_ja_suojaus.pdf [viitattu 23.9.2021]
6. Korpinen L. Vikatilanteet. PDF-dokumentti. 1997. Saatavissa: <http://leenakorpinen.com/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf> [viitattu 23.9.2021]
7. Multirel Oy. Maasulkutilanne ja kompensoinnin tarkoitus. WWW-dokumentti. Päivitetty 5.3.2019. Saatavissa: <https://multirel.fi/kompensointi-ja-maasulkureleet/maasulkuvirran-kompensointi/maasulkutilanne-ja-kompensoinnin-tarkoitus/> [viitattu 24.9.2021]
8. Blåfield P. SLO Oy. Valokaareilta suojautuminen. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.11.2018. Saatavissa: <https://ideat.slo.fi/valokaareilta-suojautuminen/> [viitattu 26.9.2021]
9. ABB Oy. Vianilmaisimet. PDF-dokumentti. 2000. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/10_6_Vianilmaisimet.pdf [viitattu 26.9.2021]
10. Hietalahti L. Sähkövoimatekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka. 2013
11. Honkanen J. 2021. Erityisasiantuntija (Toisiojärjestelmät). Haastattelu 28.10.2021. Fingrid Oyj.
12. Lintunen A. 2021. Käyttöpäällikkö. Haastattelu 2.11.2021. Lappeenrannan Energiaverkot Oy.
13. Hiltunen R. 2021. Käyttöinsinööri. Haastattelu 8.10.2021. Enerva Oy.

HAASTATTELUJEN KYSYMYKSET

Mitkä ovat relevalintaan vaikuttavat tekijät?

Mitkä ovat suojaustoimintojen valintaan vaikuttavat tekijät?

Mitkä suojausominaisuudet ovat käytössä suurjännitejohdoilla?

Mitkä suojausominaisuudet ovat käytössä keskijännitejohdoilla?

Mitkä suojausominaisuudet ovat käytössä sähköasemien kiskostoissa?

Onko käytössä jotain tavallisesta poikkeavia suojausratkaisuja?

Mitkä ovat suojauksen tämänhetkiset kehityskohteet ja haasteet?

Kuinka sähköntuotannon hajautuminen vaikuttaa suojaukseen?

Miltä näyttää suojauksen tulevaisuus?

Kuinka paljon vapauksia jakeluverkkoyhtiöillä on suojauksen toteuttamisessa?