

Jere Eemi Mikael Polojärvi

SÄHKÖASEMAN KARTOITUS JA DOKUMENTOINTI

SÄHKÖASEMAN KARTOITUS JA DOKUMENTOINTI

Jere Polojärvi
Opinnäytetyö
Kevät 2021
Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, sähkötekniikka

Tekijä: Jere Polojärvi
Opinnäytetyön nimi: Sähköaseman kartoitus ja dokumentointi
Työn ohjaajat: Sami Kinnunen (Rovaniemen Verkko Oy), Ensio Sieppi (OAMK)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021
Sivumäärä: 55 + 1 liite

Rovaniemen Verkko Oy on lappilainen sähköverkkoyhtiö, joka on osa Napapiirin Energia ja Vesi Oy -konsernia. Rovaniemen Verkko Oy vastaa Rovaniemen kantakaupungin sähkönjakelusta, joka kattaa noin 28 000 käyttöpaikkaa.

Tämän työn tarkoituksena oli tuottaa Rovaniemen Verkko Oy:n hallinnassa olevalle Palkisentien sähköasemalle päivitetty 110 kV:n dokumentaatio. Tämä opinnäytetyö on katsaus toimeksiantoon sekä toimii kohdistettuna tietopakettina toimeksiannon kohteena olevan sähköaseman rakenteisiin sekä käytettyihin menetelmiin.

Työssä on käytetty lähdemateriaalina Rovaniemen Verkko Oy:n sisäistä materiaalia liittyen yrityksen historiaan, sähköaseman relesuojaukseen sekä ulkopuolisten toimijoiden toimittamia dokumentteja sähköaseman rakenteesta. Työssä on hyödynnetty myös laitevalmistajien sivuilta löytyviä käyttöohjeita. Opinnäytetyössä on käytetty materiaalina myös sähkönjakelutekniikan kirjallisuutta, verkkoartikkeleita, lakitekstejä sekä standarditekstejä.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin aikaan sähköaseman ajantasaistettu dokumentaatio, joka on otettu yrityksen käyttöön keväällä 2021.

Kaikki tuotettu dokumentaatio on salaista tietoa ja on tarkoitettu ainoastaan verkkoyhtiön käyttöön.

Asiasanat: sähköasemat, relesuojaus, dokumentointi, sähköverkot

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

Author: Jere Polojärvi

Title of thesis: Documentation and mapping of a 110kV substation

Supervisors: Sami Kinnunen (Rovaniemen Verkko Oy), Ensio Sieppi (OUAS)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Number of pages: 55 + 1 appendix

Rovaniemen Verkko Oy is a part of Napapiirin Energia ja Vesi Oy -corporation. Rovaniemen Verkko Oy is responsible for the maintenance and upkeep of the electrical grid supplying the downtown area of Rovaniemi.

The aim of this thesis was to produce updated documentation of a 110 kV distribution substation administered and controlled by Rovaniemen Verkko Oy. The basis for this thesis was considered challenging right from the beginning as the history of the substation was known to be diverse.

This document is a report which outlines the general requirements for the use and maintenance of electric grids and specializes its contents to include those parts that apply directly to the given 110 kV substation. This report also considers the process of creating any such documentation and provides the legal argumentation for its existence. It also gives the preface which led to the commissioning of this thesis.

In this report one shall find a condensed cache of information regarding the long history of Rovaniemen Verkko Oy, the structure of national grids, different varieties of relay protection and the most used internal layouts of substations. This thesis also elaborates on the most used components such as switchgear, isolators, transformers and busbar systems.

The product of this thesis was implemented by Rovaniemen Verkko Oy during the period of spring 2021 to be used as a base for future development.

All the documentation generated is considered confidential and therefore is not disclosed.

Keywords: electric substations, electrical power distribution, relay protection, documentation

ALKULAUSE

Haluan kiittää opinnäytetyön toimeksiantajaa Rovaniemen Verkko Oy:tä opinnäytetyön mahdollistamisesta. Kiitokset käyttö- ja kunnossapitoinsinööri Sami Kinnuselle opinnäytetyön ammattitaitoisesta ohjaamisesta. Koulun puolen ohjauksesta kiitokset yliopettaja Ensio Siepille. Kiitokset myös läheisille ja tuttaville, jotka ovat tukeneet edistymistäni insinööriopintojeni aikana.

Rovaniemellä 30.4.2021

Jere Polojärvi

SISÄLLYS

LYHENTEET.....	8
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Toimeksiantajan esittely.....	10
1.2 Konserniesittely.....	11
2 HISTORIAA.....	12
2.1 Energialaitoksen kehitys.....	12
2.2 Lama-ajan jälkeinen toiminta.....	13
2.3 Konsernin kehitys.....	14
2.4 Nykyinen konserni.....	15
3 RELESUOJAUS.....	16
3.1 Johdanto relesuojaukseen.....	16
3.2 Yleiset vaatimukset.....	17
3.3 Lait ja standardit.....	20
3.4 Suojareleiden tyypit.....	21
3.4.1 Ensio- eli primäärireleet.....	21
3.4.2 Sähkömekaaniset releet.....	22
3.4.3 Staattiset releet.....	22
3.4.4 Mikroprosessorireleet.....	23
3.4.5 Numeeriset releet.....	23
3.5 Yleisimmät suojaustyytit.....	24
3.5.1 Ylivirtarele $I > / I >>$	24
3.5.2 Differentiaalirele $I_{diff} > / \Delta I >$	25
3.5.3 Yli- ja alijänniterele $U > / U <$	26
3.5.4 Distanssirele $Z <$	27
3.5.5 Maasulkurele $I_0 >$	28
3.5.6 Valokaarirele.....	29
4 SÄHKÖVERKON RAKENNE.....	31
4.1 Kantaverkot.....	31
4.2 Sähköasemat.....	33
4.3 Sähköaseman rakenne.....	34
4.4 Muuntajat.....	35

4.5	Kiskostot.....	36
4.5.1	Yksikiskojärjestelmä.....	36
4.5.2	Kisko-apukiskojärjestelmä.....	37
4.5.3	Kaksikiskojärjestelmä.....	37
4.5.4	Kaksikisko-apukiskojärjestelmä	38
4.5.5	Rengaskiskojärjestelmä	38
4.6	Katkaisijat.....	39
4.6.1	Ilmakatkaisija	40
4.6.2	Öljy- ja vähäöljykatkaisija	40
4.6.3	Paineilmakatkaisija	40
4.6.4	SF ₆ -katkaisija	41
4.6.5	Tyhjiökatkaisija.....	41
4.7	Eroottimet.....	42
5	TOIMEKSIANTO.....	43
5.1	Aseman historiaa.....	43
5.2	Nykytilanne.....	45
5.3	Tulevat investoinnit.....	46
6	TOTEUTUS	47
6.1	AutoCAD-piirto	47
6.2	Muu dokumentaatio.....	48
6.3	Dokumentaatiotyypit.....	49
6.4	Prosessi.....	50
7	LOPPUTULOKSET.....	52
8	POHDINTA.....	53
	LÄHTEET.....	54

LYHENTEET

CBFP	Circuit Breaker Fault Protection
CHP	Combined Heat and Power
GENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
GIS	Gas Insulated Switchgear / Gas Insulated Substation
HVDC	High Voltage Direct Current
IEC	International Electrotechnical Commission
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
kV	kilovoltti
kW	kilowatti
MW	megawatti
NEVE	Napapiirin Energia ja Vesi Oy
RE-konserni	Rovaniemen Energia -konserni
ROVE	Rovaniemen Verkko Oy
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SESKO	Sähkö- ja elektroniikka-alan kansallinen standardointijärjestö
SF ₆	Rikkiheksafluoridi
TUKES	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

1 JOHDANTO

Verkkoyhtiön toiminnalle on kriittistä, että kaikki sen hallinnassa oleva infrastruktuuri on huolellisesti kartoitettu ja että sen dokumentaatiota ylläpidetään jatkuvasti. Tätä tukevat myös verkostosuosittukset, jotka suosittelevat verkkoyhtiöitä tallentamaan verkoston toiminnan kannalta kriittisiä tietoja siten, että ne ovat helposti löydettävissä ja tulkittavissa. Dokumentaation puutteet ja virheellinen tieto dokumenteissa aiheuttavat ongelmia verkon käyttötehtävissä, vianetsinnässä sekä sähköverkon huoltoja ja käyttökeskeytyksiä suunnitellessa. Huono dokumentaatio saattaa myös johtaa vaaratilanteisiin, joissa voi olla henkilövahingon riski. Tällainen vaaratilanne voi olla esimerkiksi sähköjakokaapin takasyöttö tuntemattomasta kohteesta. Puutteellisen dokumentaation perusteella tehdyt päätökset voivat olla hyvinkin ylimalkaisia eivätkä palvele verkonhaltijaa tai kuluttajaa.

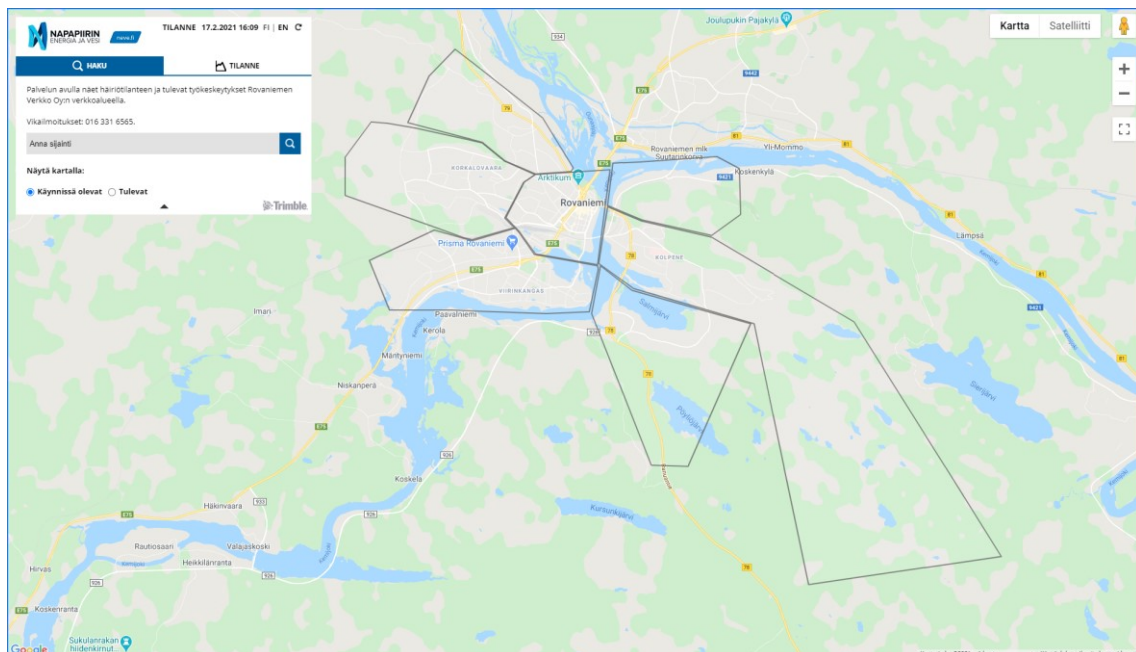
Tämä opinnäytetyö perehtyy Rovaniemen keskustassa sijaitsevan Palkisentien 110/10 kV:n sähköaseman dokumentaatioon. Opinnäytetyössä perehdytään myös yrityksen historiaan, sähköjakeluverkkoihin, sähköasemiin, relesuojaukseen sekä sähköalan lakeihin ja standardeihin.

Opinnäytetyön tavoite on sähköaseman 110 kV:n johto- ja muuntajalähtöjä suojaavien releiden tarkastelu, suoja-releiden toimintoihin perehtyminen, sekä niiden mittaus- ja suojaustoimintojen esitys piirikaaviomuodossa. Opinnäytetyön tavoite on myös muodostaa sähköasemasta muut sellaiset dokumentit, jotka tulevaisuudessa ovat hyödyksi sähköaseman käyttötilanteissa. Opinnäytetyön tavoite on olla myös katsaus relesuojaukseen, sen merkitykseen ja vaatimuksiin sähköjakeluverkoissa. Opinnäytetyössä valmiiksi saadut dokumentit tuotetaan pääasiassa AutoCAD-ohjelmalla ja tallennetaan yrityksen sisäiseen tietokantaan, josta ne ovat kaikkien asianosaisten saatavilla. Opinnäytetyö rajataan 110 kV:n puolen suojausten dokumentointiin, jotta työstä ei tulisi liian laaja. Työssä vaadittiin toimeksiantajan puolesta suurta omaoimisuutta pohjamateriaalin tarkastelussa sekä selvitystyön omaista otetta eri laitteiden toimintaperiaatteiden tarkastelussa.

1.1 Toimeksiantajan esittely

Rovaniemen Verkko Oy on osa Napapiirin Energia ja Vesi Oy -konsernia. Napapiirin Energia ja Vesi Oy on Rovaniemen kaupungin omistama yhtiö. Rovaniemen Verkko Oy:n liiketoiminta on erotettu emokonsernista sähkömarkkinalain 9.8.2013/588 77§ vaatimuksen mukaisesti, joka vaatii sähkönsiirrosta vastaavan yhtiön eriyttämistä muusta yrityksen liiketoiminnasta. Yrityksen toimipiste on Rovaniemen keskustassa Revontulen kauppakeskuksessa osoitteessa Koskikatu 27. Rovaniemen Verkko Oy vastaa yli 28 000 käyttöpajan sähkönsiirrosta ja jakelusta Rovaniemen kantakaupungin alueella. Kuvasta 1 näkyy Rovaniemen Verkko Oy:n jakeluverkkoalue.

Kaupungin alueella jakeluverkko on maakaapeloitu ja yhtiön hallinnassa oleva verkko on lähes kokonaan maakaapeloitu. Rovaniemen verkon vastuualueella on kolme 110 kV:n sähköasemaa ja Rovaniemen Verkko Oy:n hallinnoimaan verkkoon liittyy Suosiolan voimalaitos, joka tuottaa sähköenergiaa alueverkkoon. Rovaniemen Verkko Oy:n pääasiallisia tehtäviä ovat sähköverkon käyttötoimenpiteet, kunnossapitotoimien suunnittelu, sähköverkon saneeraukset ja verkostosuunnittelu. Kunnossapitotyöt, urakointi ja huoltotoimenpiteet on ulkoistettu yksityiselle yritykselle. Toimin opinnäytetyössäni Rovaniemen Verkko Oy:n käyttötoimenpiteitä suorittavan yksikön alaisuudessa, jonka vastuualueella on verkon käyttö ja sähköasemien kunnossapito. (1.)



KUVA 1. Rovaniemen Verkko Oy:n jakeluverkkoalue (2)

1.2 Konserniesittely

Napapiirin Energia ja Vesi Oy on tunnettu aikaisemmin Rovaniemen Energia Oy:nä. Rovaniemen Energia Oy on vastannut sähkön ja lämmön tuotannosta, siirrosta ja myynnistä Rovaniemen alueella. Vuonna 2007 Rovaniemen Energia Oy muutti yhtiömuotonsa osakeyhtiöstä konserniksi. NEVE on tullut yhtiönä nykyiseen muotoonsa kesällä 2015, jolloin siihen sulautettiin kaupungin energiakonserni Rovaniemen Energia Oy ja kaupungin liikelaitos Napapiirin Vesi. (2.)

Emokonsernin tytäryhtiöitä ovat myös muun muassa Napapiirin Vesi Oy, Napapiirin Kuituverkot Oy, Napapiirin Infra Oy, Aurora Lämpö Oy, Savukosken Lämpö Oy sekä Ranuan Bioenergia Oy. NEVE-konserni on myös osakkaana paikallisissa yhtiöissä, joista suurimpana voidaan mainita El-lappi Oy.

Napapiirin Energia ja Vesi Oy on siis kattava lappilainen arktisen kiertotalouden monialakonserni, joka palvelee yli 60 000 paikallista asiakasta sekä satojatuhansia matkailijoita (3). Viimeisin hankinta NEVE-konserniin on Enontekiön Sähkö Oy:n jakeluverkot ja toiminta. Kauppa solmittiin NEVE:n, OP-henkivakuutus Oy:n ja Enontekiön kunnan välillä 3. joulukuuta 2020. Kauppa vahvistettiin 1.4.2021. (4.) Enontekiön Sähkö Oy:n toimintaa hoitamaan on perustettu Neve Isommus -liiketoimintayksikkö.

2 HISTORIAA

Rovaniemen kantakaupungin sähkönjakelulla on pitkä historia, joka alkaa jo 1900-luvun alkupuolelta. Sähköverkkoyhtiö on kokenut toimintansa aikana kahden eri sodan aiheuttamat tuhot ja vahingot, 1930-luvun ja 1990-luvun lama-ajat, sekä yhtiö on selvinnyt useista organisaatiomuutoksista ja yhtiöittämisistä.

Viimeisin suuri yhtiöittäminen sai alkunsa, kun kaupunginvaltuuston päätöksellä 1973 perustettiin toimikunta tutkimaan sähkölaitoksen koko toiminnan rationalisointia. Toimikunta sai työnsä valmiiksi alkuvuodesta 1974, mutta sähkölaitostoiminnan uudistusta ei toteutettu vireillä olevan kaukolämpötoiminnan takia. Tavoitteeksi oli asetettu sähkölaitos- ja kaukolämpötoiminnan yhdistäminen yhtenäiseksi energialaitostoiminnaksi. Tehtävään asetettu energialaitostoimikunta koordinoi ja ohjasi vuoden 1979 aikana kaukolämmön rakennustöitä ja vastasi energialaitoksen perustamiseen vaadittavien asioiden valmistelusta. Vuoden 1979 viimeisessä kokouksessa kaupunginvaltuusto päätti perustaa Rovaniemelle energialaitoksen, jonka päätöksellä lakkautettiin aikaisemman Rovaniemen sähkölaitoksen toiminta. (5, s. 90 - 91.)

2.1 Energialaitoksen kehitys

Rovaniemen kaupunki antoi 8.11.1979 päivätyllä sopimuksella Imatran Voima Oy:lle tehtäväksi laatia Rovaniemen kaupungin energiahuollon yleissuunnitelma vuosille 1980 - 2000. Kaupunki asetti energiatoimikunnan laatimaan energialaitoksen organisaatiota sekä yhdistämään sähkönjakelu sekä kaukolämmön tuotannon toiminta saman katon alle. (6, s. 121.)

Kaukolämmitys aloitettiin Rovaniemellä valtakunnallisesti ajatellen varsin myöhään. Energialaitoksen haltuun siirtyi vuoden 1980 alusta kaksi pientä aluelämpöyhtiötä. Alueen kaukolämpöpotentiaalista oli liitetty verkostoon 50 % vuoteen 1986 mennessä. Lämmityskapasiteettia Rovaniemen energian hallussa oli tuolloin noin 100 MW jaettuna useisiin eri lämmitysyksiköihin. Näiden lämmöntuotanto perustui öljykäyttöisiin lämminvesikattiloihin. (6, s. 122.)

Jo vuonna 1981 Rovaniemen kaukolämpötoiminta laajeni siihen mittaan, että oli perusteltua siirtyä kiinteäpolttoainekäyttöisiin lämmitysmuotoihin. Tällä pyrittiin parantamaan yhtiön taloudellista pohjaa ja pääsemään irti kriisialttiista öljystä, jota oltiin siirtämässä reserviin. Vuoden 1983 Ekonon esittämissä suunnitelmissa ehdotettiin 25 MW turvelämpökeskuksen rakentamista Suosiolan alueelle. Tällöin ei vielä kaukolämmön ohella sähköä tuottavan vastapainekattilan rakentamista pidetty kannattavana. Lämpölaitoksen suunnittelu aloitettiin ja hankintasopimukset allekirjoitettiin talven 1984 - 85 aikana. Laitos käynnistettiin ensimmäisen kerran 14.10.1986 ja luovutettiin koekäytön jälkeen 21.11.1986. Suosiolan turvelämpökeskuksen käyttöönottoa edelsi mittava verkostorakennusohjelma, jolla yhdistettiin olemassa olevat lämpölaitokset. (6, s. 122.)

Sähkölaitoksen sulauttaminen kaukolämpötoiminnan kanssa ei hidastanut sähköverkon parantamista. Jo ennen yhdistymistä sähkölaitoksella oli projekteina muun muassa Viirinkankaan sähköaseman parannustyöt sekä Viirinkankaan ja Palkisentien sähköasemien välisen kaapeliyhteyden parannustyöt. Viirinkankaan sähköasemaa laajennettiin vuosina 1977 - 1979 ja siihen yhdistettiin Palkisentien sähköaseman kaukokäyttö. Ounasvaaraan vuonna 1974 rakennettua sähköasemaa laajennettiin vuonna 1982, jotta se saataisiin vastaamaan oletetun kerrostaloasumisen tuomaa kulutuksen kasvua. Alun perin 45 kV:n kaapeliyhteydellä oleva Palkisentien asema päivitettiin 110 kV:n kaapeliyhteydeksi vuoden 1988 aikana. Pöykkölän ja Länsikankaan asuinalueille rakennettiin vilkkaasti keskijänniteverkkoa ja kolmanteen kaupunginosaan tehtiin uutta maakaapeliverkkoa. Kaapeloitua verkkoa olikin 1980-luvun loppuun mennessä jo 82 % koko verkoston pituudesta. (6, s. 114.)

2.2 Lama-ajan jälkeinen toiminta

Vuonna 1991 tuli kuluneeksi 60 vuotta kunnallisen sähkölaitoksen perustamisesta Rovaniemelle. 1990-luvun alkuun sattunut lama näkyi koko Suomen energiankulutuksessa. Samalla myös sähkönkulutuksen kasvu pysähtyi. Sama nähtiin myös Rovaniemellä, jossa vuoden 1991 lopulla sähkön kulutus kääntyi lievään laskuun. Energialaitoksen vakinaisen henkilökunnan määrä oli vuoden lopussa 85, joista viranhaltijoita oli 25, toimihenkilöitä 11 ja tuntipalkkaisia 49 henkilöä. Lama aiheutti osaltaan sen, että Rovaniemen kaupunginhallitus päätti pitää Rovaniemen energialaitoksen yhtiömuodon kaupungin liikelaitoksena, sen sijaan että olisi eriyttänyt sen omaksi osakeyhtiökseen. (6, s. 166.)

1990-luvun aikana Rovaniemen energialaitos jatkoi investointia muun muassa yhdistämällä Korkealovaaran asuinalueen kaukolämpöverkkoon ja päivittämällä Palkisentien sähköaseman kojeiston kaasueristeiseksi. Suurin investointi kuitenkin oli päätös lämpövoimalaitoksen rakentamisesta Suosiolan alueelle vuonna 1993. Kaupunginvaltuusto teki periaatepäätöksen 22.12.1993 yhdistetyn sähkö- ja lämpöenergiaa (CHP-laitos) tuottavan yksikön rakentamisesta nykyisen Suosiolan turvelämpökeskuksen yhteyteen. (6, s. 167 - 170.)

Rovaniemen Energian suuri tavoite saavutettiin, kun joulukuussa 1995 pidettiin uuden laitoksen harjannostajaiset. Samana vuonna rakennettiin kaukolämpöputkisto keskustasta Saarenkylän kautta aina Someroharjun varuskunta-alueelle saakka. Niihin aikoihin Rovaniemen Energia Oy solmi maalaiskunnan lämpöyhtiön Napapiirin Energia Oy:n kanssa 15 vuoden kaukolämmön tukumyyntisopimuksen. Lisääntynyt lämpökuorma oli tarpeeseen, sillä uusi lämpölaitos tarvitsi lisää lämpökuormaa. Uuden voimalaitoksen käyttöönotto sujui mallikkaasti ja tulevina vuosina kaukolämmön myynnin kasvaessa Suosiolan lämpövoimalaitos täytti kaikki odotukset niin käytettävyydessä kuin kannattavuudessa. Sähkötuotannon ansiosta Rovaniemen kaupunki siirtyi energiankäyttäjistä energiantuottajaksi. (6, s. 170 - 177.)

2.3 Konsernin kehitys

Rovaniemen Energian konttorissa tapahtui vuosituhannen vaihteen jälkeen suuria muutoksia, kun kaupunginvaltuuston päätöksellä 9.12.2002 Rovaniemen Energia yhtiöitettiin ja siihen liitettiin kaikki kaupungin omistamat energialiiketoiminnot. Yhtiöittäminen tapahtui 1.7.2003. Kunnallisesta toimijasta oli tullut jälleen osakeyhtiö, tällä kertaa kuitenkin Rovaniemen kaupunki on ainoana omistajana. Muutos Rovaniemen Energia Oy:ksi takasi yhtiön kaikille työntekijöille työsuhteen viideksi vuodeksi ja henkilökunta siirrettiin uuden yhtiön palvelukseen niin sanottuina vanhoina työntekijöinä. (6, s. 196 - 197.)

”Trendikästä energiaa” oli Rovaniemen Energia Oy:n toimitusjohtaja Veikko Leivonniemen motto vuoden 2006 vuosikatsauksessa. Energia-alaa kritisoitiin ilmastonmuutokseen liittyvissä kysymyksissä, joissa katsottiin energiantuotannon olevan suurin vaikuttaja kasvihuonepäästöjen syntymiseen. Energia-alalta vaadittiin vastauksia siihen kysymykseen, miten energiaa olisi tuotettava, jotta siitä syntyvät päästöt olisivat mahdollisimman pienet. Tuona vuonna yhtiöön fuusioitui Napapiirin

Energia Oy:n toiminta ja sähkömarkkinalain vaikutuksesta yhtiöstä erotettiin Rovaniemen Verkko Oy:n toiminta vuonna 2007. Rovaniemen Verkko Oy säilyi Rovaniemen Energia Oy:n tytäryhtiönä. Yhtiöiden eriyttämisen jälkeen Rovaniemen Energia Oy muutti toimintamallinsa osakeyhtiöstä konserniksi. Muutoksella oli tarkoitus turvata energialiiketoiminnot yhden osakeyhtiön alle. (6, s. 204 - 210.)

2.4 Nykyinen konserni

Konsernitoiminnan alkua ajoista vuodelta 2007 vuoteen 2012 mennessä RE-konserni oli säilynyt rakenteeltaan suhteellisen muuttumattomana. RE-konserni hankki omistukseensa Kolarin Lämpö Oy:n ja Ylläsjärven kaukolämpötoiminnan. Konserni investoi myös Suosiolan voimalaitoksen laitekantaan sekä sähköasemien kojeistoihin. Suosiolan investoinneilla oli tarkoitus vähentää yhtiön riippuvuutta öljystä sekä parantaa energiatehokkuuttaan savukaasupesurilla ja voimalaitoksen tehonkorotuksella. Konserni hahmotteli Mustikkamaalle uutta lämpölaitosta ja biokaasulaitosta Alakorkalon alueelle. (6, s. 216 - 217, s. 237 - 238, s. 241.)

Ennen vuotta 2015 RE-konsernin työllistävä vaikutus oli Lapin alueella noin 371 henkilötyövuotta, joista suorassa työsuhteessa olevien osuus oli 120 henkilötyövuotta. Rovaniemen seutukunnalle syntyvän välillisen työllistävän vaikutuksen osuus oli 129 henkilötyövuotta ja Rovaniemen seutukunnan ulkopuolelle mutta Lapin maakunnan alueelle kohdistuvien vaikutusten osuus oli 121 henkilötyövuotta. (6, s. 245.)

3 RELESUOJAUS

Sähköasemaa ja sen syöttävää verkkoa on aina suojattava mahdollista vikaa vastaan riittävällä suojalaitteistolla, joka on riittävän yksinkertainen ja mahdollisimman käyttövarma. Relesuojauksen tarkoitus ei ole poistaa itsessään vian syntymisen mahdollisuutta, vaan sen on tarkoitus pienentää mahdollisen vian aiheuttamia vahinkoja ja käyttökeskeytyksiä. Tässä luvussa perehdytään syvemmin relesuojauksen peruseräisiin, eri suojaustoimintoihin, lainsäädännöllisiin vaatimuksiin sekä hyvän suojauksen periaatteisiin. Tämä teoriaosuus edellyttää, että lukijalla on ainakin perustietämys sähkövoimatekniikasta.

3.1 Johdanto relesuojaukseen

Sähköverkon suojauksen ydin on sähköasemalla sijaitseva suojarole. Suojarole yhdessä mittaamunantajien, katkaisijoiden, apureleiden ja teholahteiden kanssa huolehtii sähköverkon toimivuudesta ja luotettavuudesta. Relesuojaus perustuu jonkin tietyn suureen mittaamiseen ja analysointiin. Suojarole vertaa mitattuja suureita sille annettuihin raja-arvoihin ja toteuttaa sille annetut toimipidekäskyt kussakin häiriötilanteessa vian poistamiseksi. Yleisin tapa poistaa vika on avata vioittuneen verkonosan syöttökatkaisija. Suojarole voi toimia asemalla itsenäisesti tai se voi kommunikoida toisten releiden kanssa aseman sisäisesti tai tiedonsiirtoprotokollan avulla muiden asemien suojaroleiden kanssa. Yhteistoimintaa eri laitteiden välillä voidaan tarvita, jotta verkon suojaus toimii ja vikaantuneet osat pystytään erottamaan muusta verkosta. Tiedonsiirto aseman ulkopuolelle mahdollistaa myös verkon etähallinnan sekä käyttötoimenpiteiden suorittamisen laajoilla verkon osilla. Tunnetuin verkonhallintamenetelmä on SCADA (Supervisory control and data acquisition), joka on yleisin tapa hallita verkkoa sen monipuolisuuden vuoksi. (7, s. 335; 8.)

Kantaverkossa mikään yksittäinen verkkovika ei saa johtaa laajenevaan häiriöön tai stabiiliuden menetykseen. Stabiiliuden eli vakauden menetyksen voi aiheuttaa pitkittynyt vian kestoaika 400 kV:n verkossa tai sähköverkon tehovajaus. Vakauden säilyttämiseksi kaikki 400 kV:n tason sähköverkon oikosulkuviat täytyy relesuojauksen avulla erottaa viimeistään 0,1 sekunnin kuluttua vian alkamisesta. Tämän saavuttamiseksi 400 kV:n kytkinlaitoksilla käytetään kiskosuoja ja kytkinlaitoksilta lähtevät johdot tai asemalla olevat muuntajat suojataan kahdennetulla suojausjärjestel-

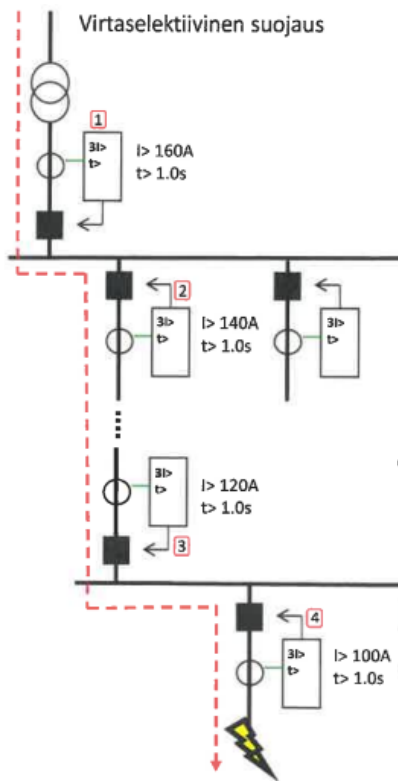
mällä. Kaikissa 400 kV:n katkaisijoissa käytetään myös katkaisijavikasuojausta (CBFP). Kantaverkon 220 kV:n ja 110 kV:n jännitetasoilla käytetään myös kahdennettua relesuojausta, yleensä primäärisuojana on distanssirele ja varasuojana ylivirta- ja maasulkurele. 220 - 110 kV:n jännitetasoilla relesuojauksen täytyy erottaa tavanomaiset maasulut vähintään 0,5 sekunnin ajassa ja varasuojauksen täytyy toimia vikatilanteessa noin 0,1 - 1,0 sekunnin hidastuksella riippuen vikapaikasta. Asiakkaiden sekä muiden verkkoyhtiöiden kuin kantaverkkoyhtiön hallinnoimien sähköverkkojen relesuojauksen on toimittava siten, että se toimii kantaverkon näkökulmasta yhteensopivasti ja koordinoitusti. (9, s. 2 - 3.)

3.2 Yleiset vaatimukset

Relesuojauksen yleiset vaatimukset voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri luokkaan: tavoitteisiin, pääperiaatteisiin ja toteutukseen. Relesuojauksen tavoitteista mainittakoon lyhyesti, että suojauksen tavoitteena on henkilöturvallisuuden varmistaminen, häiriöiden rajoittaminen mahdollisimman pienelle alueelle ja vaurioiden rajoittaminen. (8.)

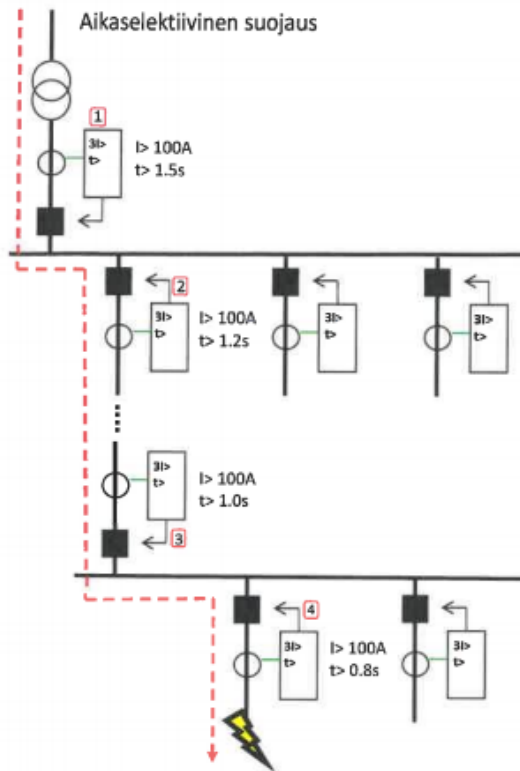
Pääperiaatteisiin kuuluu luotettavuus, aukottomuus, toimintanopeuden määrittäminen, selektiivisyys ja mittauksen tarkkuus. Näistä tärkeimmäksi ominaisuudeksi voitaneen nostaa suojauksen selektiivisyys. Selektiivisyyden peruseräperiaatteena on järjestellä verkkojen osien suojaus siten, että vikaantuneen verkon osan haittavaikutukset eivät leviäisi liian laajalle muihin verkonosiin. Vika siis pyritään eristämään mahdollisimman pienelle alueelle, jotta turvataan muun verkon häiriötön toiminta. Jos suojaus ei ole selektiivistä, on riskinä vian leviäminen laajalle alueelle, mikä voi aiheuttaa suuria jakeluverkon häiriöitä ja jopa niin sanottuja verkon pimentyksiä (Black-out). (8.)

Selektiivisyys voi olla virtaselektiivistä, aikaselektiivistä tai virta-aikaselektiivistä. Virtaselektiivisessä suojauksessa suojattavien laitteiden virta-asettelut säädetään siten, että lähinnä kuormitusta oleva laite laukeaa ensimmäisenä laukaisujan ollessa vakio. Virtaselektiivistä suojausta voi käyttää, jos vikavirta muuttuu merkittävästi esimerkiksi tehomuuntajan impedanssin takia. Tyypillinen sovellus onkin muuntajan ylä- ja alajänniteportaiden suojauksessa, missä yläjännitepuolen porras asetellaan siten, ettei se näe alajänniteportaan vikaa. Tämä mahdollistaa hetkellistoiminnan käytön suojauksessa. Kuva 2 esittää virtaselektiivisen suojauksen toimintaperiaatetta. (8.)



KUVA 2. Virtaselektiivisen suojauksen yksinkertaistettu kaavio (8)

Aikaselektiivinen suojaus toimii virtaselektiivisen suojauksen tavoin porrastetusti, mutta muuttuva suure on virran sijaan aika. Tässäkin tapauksessa tarkoituksena on rajata vika äärijohtimen alueelle mutta vian poiskytkentään käytettävä aika kasvaa jokaisella portaalla. Aikaselektiivisessä suojauksessa ylempi porttas voi myös toimia alemman portaan varasuojana. Aikaselektiivinen suojaus on suojaustyyppinä yksinkertainen. Kuva 3 esittää aikaselektiivisen suojauksen toimintaperiaatetta. (8.)



KUVA 3. Aikaselektiivisen suojauksen yksinkertaistettu kaavio (8)

Relesuojauksen luotettavuus tarkoittaa yhdessä aukottomuuden kanssa, että voidaan luottaa verkon suojauksen toimivan jokaisessa määritellyssä vikatilanteessa ja jokaisessa annetussa käyttötilanteessa. Kuitenkaan missään tapauksessa tai väliaikaisessakaan kytkentätilanteessa ei verkossa saa olla osia, jotka eivät ole suojattu millään tavalla. Suojien asettelut on määriteltävä kohteen kuormitusten perusteella siten, että sähköverkossa ylemmän portaan laitteet (esimerkiksi päämuuntajan suurjännitepuolen katkaisija) eivät toimi ennen alemmaa porrasta (esimerkiksi keskijännitepuolen johtolähdön katkaisija). Liian suuren toimintanopeuden valitseminen voi aiheuttaa valhelaukaisuja, jolloin suojariele reagoi tilanteeseen, jossa oikeaa vikaa ei ole. Toisaalta suojarieleen liian hidas toimintanopeus voi aiheuttaa tarpeettomia laiterikkoja tai vahinkoa henkilöille tai omaisuudelle, joita suojarieleiden avulla on tarkoitus välttää. Toimintanopeuden valitsemiseen liittyy myös olennaisesti suojarieleiden selektiivisyys, jolla pyritään selkeästi erottamaan eri releiden suojausalueet, jotta vältytään vian väärin tehdyltä erottamiselta. Toimintanopeuden ja selektiivisyyden taustalla on mittaustarkkuus, joka mahdollistaa nykyisen sähköverkon tarkan relesuojauksen. (8.)

Toteutus on vaatimusten aloista kaikista tärkein ja monimutkaisin. Tiivistettynä toteutus pitää sisälleen suojausalueiden ja vikasuureiden selvittämisen, oikeanlaisten suojauslaitteiden ja laitteiden hankinnan suojattaviin komponentteihin nähden, varasuojien tarpeen määrittelyn ja suojauslaitteiden asetteluiden määrittelyn. Toteutuksen täytyy ottaa myös huomioon laitoksen käyttöönotto ja jatkuvuuden turvaaminen huoltotoimenpiteiden, määräaikaikoeostusten, tarkastusten sekä varaosien varastoinnin kannalta. Toteutusvaihe on myös aikaväliltään kaikista pisin, sillä se ylittää sähköaseman suunnittelusta aina sen käyttöänsä loppuun saakka. Toteutuksen suurin kantava voima on huolellinen dokumentointi jokaisesta laitoksella olevasta laitteesta, kojeesta, kojeistosta, rakenteista sekä muutos- ja huoltotoimenpiteestä. Laitoksen käytettävyys ja toimintavarmuus pysyvät erittäin korkeana, kun tiedetään huoltojen ja koestuksien ajankohdat, niistä laaditut pöytäkirjat ovat käytettävissä käytön johtajalla mahdollisia korjaustoimenpiteitä varten ja kaikista laitoksen muutoksista tuotetaan päivitettyt piirustukset seuraavalle käyttäjälle. (8.)

3.3 Lait ja standardit

Sähköturvallisuuslaki 1135/2016 6§ määrittää, että sähkölaitteet ja -laitteistot on

suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava niin sekä niitä on huollettava ja käytettävä käyttötarkoituksensa mukaisesti niin, että:

1. niistä ei aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa;
2. niistä ei sähköisesti tai sähkömagneettisesti aiheudu kohtuutonta häiriötä;
3. niiden toiminta ei häiriinny helposti sähköisesti tai sähkömagneettisesti. (10.)

Sähköturvallisuuslaki määrittää myös sähköaseman käytöstä ja laitteistosta vastuussa olevan henkilön ja hänelle asetetut vaatimukset.

SFS 6001:2018 kohta 9.1 sivu 81 vaatii, että

laitteisto on suojattava ylikuormitukselta sekä sisäisiltä ja ulkoisilta vioilta automaattisesti, nopeasti ja selektiivisesti toimivilla suojalaitteilla. Suojauksen suunnittelussa on otettava huomioon laitteiston koko ja tärkeys. Suojausta suunniteltaessa on seuraavat ilmiöt otettava huomioon: ylivirta, oikosulku, maasulku, ylikuormitus ja lämpövaikutukset, ylijännite, alijännite ja alitaajuus. (17.)

Relesuojauksen on toiminnallaan tuettava näitä vaatimuksia, jotta sähköön tuotannosta tai jakelusta ei aiheudu ylimääräistä haittaa.

SESKO on Suomen sähkö- ja elektroniikka-alan kansallinen standardisointijärjestö. SESKO osallistuu kansainvälisiin (IEC) ja Euroopan (GENELEC) laajuisiin standardisointisyhteisöihin ja vastaa

Suomessa kansallisten SFS-standardien valmistelusta. Suomen standardisoimisliitto SFS ry julkaisee näitä kansallisia standardeja. Sähköturvallisuusviranomaisen TUKES julkaisee luettelon niistä standardeista, joita noudattaen sähkölaitteistojen katsotaan täyttävän Sähköturvallisuuslain 1135/2016 mukaiset vaatimukset. TUKES pidättää oikeuden muokata vaatimusluetteloa standardien täydentyessä ja päivittyessä. Relesuojaus tulee suunnitella standardien antamien reunaehtojen mukaisesti.

Sähköaseman suunnitteluun liittyvät keskeiset seikat löytyvät SFS 6001 Suurjännitesähköasennukset- standardista ja SFS 6002 Työturvallisuusstandardista. Pienjännitestandardi SFS 6000 ei ole laajasti käytetty sähköasemaa tai sen relesuojausta suunnitellessa. SFS 6001 -standardi määrittelee muun muassa ympäristön sähköiset ja mekaaniset vaatimukset, suurimmat kosketusjännitteet, suojaavan eristyksen tyypin, komponenttien jännitekestoisuudet ja jännitteisten osien vähimmäisetäisyydet sekä asennettavien laitteistojen rakennevaatimukset. Suurjännitestandardi käsittelee myös apusähköjärjestelmien ja muiden teholähteiden, kuten omakäyttömuuntajien ja paineilmajärjestelmien, vaatimuksia. Työturvallisuuteen ja henkilöstön sekä omaisuuden suojaamiseen liittyviä asioita käsitellään SFS 6001 suurjännitestandardin luvussa 8 sekä standardissa SFS 6002. Siinä missä suurjännitestandardin luku 8 perehtyy enemmän laitteiden, rakennusten ja rakenteiden avulla tapahtuvaan suojaukseen, SFS 6002 työturvallisuusstandardi opastaa asennus-, korjaus- tai huoltotöitä tekevän henkilön, ryhmän tai organisaation toimintaa.

3.4 Suojareleiden tyypit

Tässä luvussa esitellään erilaisten suojareleiden tyypit, niiden luonnolliset ominaisuudet ja hyvät sekä huonot puolet.

3.4.1 Ensio- eli primäärireleet

Ensiöreleet ovat nimensä mukaisesti ensiöön mekaanisesti kytkettäviä suojareleitä. Ensiöreleellä ei ole mittamuuntajia kuten esimerkiksi sähkömekaanisilla tai nykyaikaisilla numeerisilla releillä. Suojaus perustuu releen läpi kulkevan virran aiheuttamaan magneettikentän muutokseen, joka puolestaan aiheuttaa mekaanisen katkaisijan aukiohjauksen. Tämän takia rele ei tarvitse apusähköä toimiakseen. Vaikka ensioreleen toiminta-arvot ja toiminta-ajat ovat säädettävissä, sen säätö

on kuitenkin erittäin epätarkka ja rele on mekaanisesti hyvin jäykkä. Tällaisia releitä on nykyisin käytössä lähinnä varasuojauksen muodossa. (8.)

3.4.2 Sähkömekaaniset releet

Sähkömekaaniset releet ovat toisioreleitä. Toisioreleen ero ensioreleeseen verrattuna on se, että toisiorele on kytketty mittamuuntajien kautta mitattavaan piiriin. Sähkömekaaniset releet sisältävät liikkuvia osia ja niiden toiminta perustuu esimerkiksi virran synnyttämään magneettikenttään, jonka muutokseen releessä oleva komponentti reagoi fyysisesti liikkumalla. Toisiorele avaa katkaisijan lähettämällä laukaisukäskyn katkaisijalle koskettimen avulla. Tällaiset releet ovat kooltaan isoja ne ovat kestäviä mutta hieman epätarkkoja. Rakenteensa vuoksi niitä pitää ”notkistaa” koestamalla ne säännöllisin väliajoin. Sähkömekaanisen releen hyvänä puolena voidaan pitää sen toiminnan yksinkertaisuutta ja havainnollisuutta. Releen toiminta on myös suhteellisen nopeaa, sähkömekaaninen rele voi antaa laukaisukäskyn jopa 20 millisekunnissa. Nykyisten sähköasemien suojausreleiden asettelutarkkuuksien ollessa yleensä noin 100 millisekunnin luokkaa voitaisiin tällaista relettä pitää käypänä vaihtoehtona suojaukseen nykyäänkin. Sähkömekaanisen releen yksinkertaisuus on myös sen huono puoli, sillä tällainen rele on yleensä yhtä tarkoitusta varten rakennettu ja kasattu eikä sitä voi asettaa suorittamaan muita tehtäviä. Esimerkiksi ylivirtasuojarele ei pysty reagoimaan maasulkutilanteeseen, vaan maasulun poiskytkemiselle on oltava oma suojausrele. (8.)

3.4.3 Staattiset releet

Staattiset releet, toiselta nimeltään elektroniset releet, tulivat käyttöön 1960-luvulla. Staattisen releen nimitys juontaa juurensa siitä, että siinä ei ole liikkuvia osia kuten ensioreleessä tai sähkömekaanisessa releessä, vaan suojaustoiminnot toteutetaan puolijohdekomponentteja ja mikropiirejä käyttäen. Mikropiirien ja puolijohdeidensa takia staattinen rele tarvitsee jatkuvan apusähkösyötön. Rele liitetään tarvittaessa sovitusmuuntajan avulla mittamuuntajan toisioon. Sovitusmuuntajalla muutetaan mittamuuntajan signaali releen mitta-alueelle sopivaksi. (8.)

Staattiset releet mahdollistivat suojaustoimintojen monipuolistamisen sekä tarkentumisen. Elektrooniikan ansiosta voitiin koota esimerkiksi moottorin suojausreleeseen kaikki moottorin suojauksen komponentit kuten oikosulku-, ylikuormitus- ja vinokuormitussuojat. Suojaustoimintojen kokoaminen yhteen releeseen yksinkertaisti suojauksen toteuttamista ja vaati vähemmän tilaa edeltäjänsä

verrattuna. Staattinen rele on sähkömekaanista relettä herkempi, se voidaan asetella laajemmalle alueelle kuin sähkömekaaninen rele ja sen palautumisaika on lyhyempi. Staattisen releen huono puoli on sen jatkuva aputehon tarve, herkkyys ylijännitteille ja elektronisten osien vanhentuminen. (11, s. 5.)

3.4.4 Mikroprosessorireleet

Mikroprosessorireleet tulivat käyttöön 1980- luvun lopulla. Mikroprosessorireleet ovat toisioreleitä kuten staattiset sekä sähkömekaaniset releet. Releen toiminta perustuu elektroniikan sekä mikroprosessoreiden käyttöön releen sisäisissä mittaussignaalin muokkauselementeissä. Elektroniikasta huolimatta esimerkiksi katkaisijan ohjaukset toteutetaan edelleen mekaanisesti koskettimilla. Mikroprosessorireleen hyviä puolia ovat toimintanopeus, suojaustoimintojen helppo integraatio, sisäiset ohjaus- ja lukituspiirit esimerkiksi katkaisijan ohjaukseen ja toimintatarkkuus. Releet voivat myös kommunikoida itse kaukokäyttöjärjestelmän kanssa ja releessä on myös muutamia käyttäjän määriteltävissä olevia ohjauskoskettimia. (8.)

3.4.5 Numeeriset releet

Numeeriset eli digitaaliset releet ovat uusinta teknologiaa relesuojauksessa. Digitaalisen releen toiminta perustuu elektroniikan sekä digitaalisen signaaliprosessoinnin (DSP) ja sovelluskohtaisten mikropiirien (ASIC) hyödyntämiseen. Releiden vapaasti ohjelmitavissa olevat mittaus-, laukaisu-, lukitus- ja asentotietopiirit ovat numeeristen releiden ylivoimaisesti parhaimpia ominaisuuksia. Ohjelmitavuuden vuoksi digitaalisen releen suojaustoiminnot voivat olla paljon monipuolisempia kuin missään muussa reletyyppissä ja sen suojausasettelut ovat käytännössä rajattomat. Digitaalinen suojarle sopeutuu monenlaisiin käyttötarkoituksiin ja skaalautuu paremmin suojattavaan kohteeseen kuin staattinen suojarle. Digitaalisen suojarleen mahdollisuuksien takia sitä suositaan nykyisin ja kaikki uudet asennukset toteutetaan digitaalisilla suojarleilla. (8.)

Digitaalisten suojarleiden huonoksi puoleksi täytyy kuitenkin mainita niiden mahdollisuuksista johdettava monimutkaisuus. Asetteluvaihtoehtojen riittäessä suojarleen ohjelmoijaa kohtaa suuri määrä vaihtoehtoja ja ilman huolellista suunnittelua suojaus ei välttämättä toimi tarkoitetulla tavalla. Samalla releen kytkennät täytyy suunnitella yhteistyössä releen ohjelmoijan kanssa, sillä ohjelmoija

voi vapaasti valita, mitä kosketinta käyttää minkäkin toiminnon toteuttamiseen. Digitaalisen suoja-releen koestajalta vaaditaan myös tarkkuutta, sillä virta- ja jännitemittauksia lukuun ottamatta suo-jareleen eri kosketintiedot ja laukaisukäskyjen koskettimet voivat vaihdella. (8.)

3.5 Yleisimmät suojaustyypit

Tässä luvussa esitellään relesuojauksen yleisimmät vaihtoehdot, joita käytetään verkkojen, kojeis-tojen ja generaattoreiden suojaukseen.

3.5.1 Ylivirtarele $I > I >>$

Ylivirtareleen toimintaperiaate on yksinkertaisimmillaan asetteluarvon vertaamista mitattuun virran arvoon. Asetteluarvon ylittyessä rele antaa laukaisukäskyn valvottavan johtolähdön katkaisijalle. Ylivirtasuojauksia on kuitenkin muutamia eri variaatioita, kuten hetkellissuojaus, vakioaikasuojaus ja käänteisaikavakiosuojaus. Ylivirtareleissä on myös mahdollisuus asettaa suunnattu ja suuntaa-maton ylivirtasuojaus. (7, s. 346.)

Vakioaikasuojauksessa ylivirtareleelle annetaan haluttu toiminta-aika ja sille voidaan asetella virta-arvo, jonka ylittyessä rele havahtuu. Vakioaikasuojauksessa rele odottaa havahtumisen jälkeen annetun aikasuureen verran, ennen kuin se lähettää laukaisukäskyn. Jos virta laskee alle asette-luarvon ennen kuin aseteltu aika on kulunut, rele ei reagoi. Tätä porrasta kutsutaan myös aikahi-dasteiseksi suojausportaaksi. Toiminta-ajan asettelussa tulee ottaa huomioon releen havahtumi-sesta aiheutuva viive. Vakioaikasuojaus on ylivirtareleen ensimmäinen toimintaporras ja huolehtii suurimman osan ajasta verkon suojauksesta. (7, s. 346.)

Ylivirtareleellä on myös toinen toimintatyyppi, jota kutsutaan käänteisaikahidastetuksi toiminnaksi. Käänteisaikahidastetussa suojauksessa releen toiminta-aika on käänteisesti suhteessa mitatun vir-ran suuruuteen, eli virran kasvaessa releen toiminta-aika pienenee. Toiminta-ajan pienentyminen seuraa yleensä releen sisällä olevaa aika-virtakäyrää. Ylivirtareleen toisen portaan suojaustyypin on käyttäjän määriteltävissä joko vakioaika- tai käänteisaikahidasteiseksi. (7, s. 346.) Suomessa käänteisaikahidastettua porrasta ei käytetä muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta.

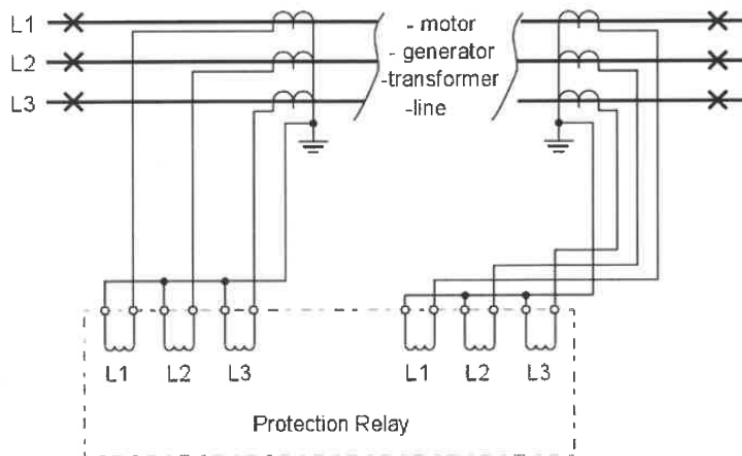
Hetkellisessä ylivirtasuojauksessa rele antaa laukaisukäskyn heti asetetun virta-arvon ylityttyä. Hetkellinen porras on kaikista korkein porras ja sitä käytetään ainoastaan pahimpien tilanteiden varalta. (7, s. 346.)

3.5.2 Differentiaalirele $I_{diff} > I_{\Delta I}$

Differentiaalireleen suojaus perustuu virtamittaukseen. Kuvassa 4 näkyy differentiaalireleen kytkentä. Differentiaalisuojarele mittaa suojattavaan kohteeseen tulevia virtoja ja siitä lähteviä virtoja, jonka jälkeen rele laskee virtojen erotuksen. Normaalisissa tilanteissa virtojen erotus on nolla eli kaikki virrat kulkevat mitattavan kohteen läpi. (7, s. 354.) Vikatilanteissa, esimerkiksi muuntajan rikkoontuessa, differentiaalirele huomaa muuntajan yli syntyvän virtaeron, sillä ympäröivä verkko syöttää vikavirtaa vioittuneeseen kohteeseen. Differentiaalirele laskee, että muuntajan yli syntyy erovirta ja sen ollessa yli releelle syötetyn asetteluarvon rele antaa muuntajaa syöttävälle katkaisijalle laukaisukäskyn.

Differentiaalireleet vaativat toimiakseen sitä suuremman virtaeron mitä suurempi on suojattavan kohteen läpi kulkeva virta, sillä suurilla kuormituksilla virtamuuntajan mittausvirheistä sekä esimerkiksi muuntajan käämikytkimen asennosta aiheutuvat virheet differentiaalireleen mittaukselle ovat suurempia. Tätä virtaeron suurentamista kuormitusvirran funktiona kutsutaan releen stabiloinniksi eli vakavoinniksi ja sillä pyritään eliminoimaan suojausalueen lähellä tapahtuvien vikojen aiheuttamat virhelaukaisut. (8.)

Differentiaalisuojausta käytetään yleensä muuntajien ja yksinkertaisten kiskojärjestelmien suojaukseen. Differentiaalirelettä voidaan käyttää myös johtolähdön suojaukseen, mutta silloin vaaditaan johtolähdön vastakkaiselle asemalle myös differentiaalirele ja näiden kahden releen välille tarvitaan viestiyhteys. Differentiaalireleet keskustelevat keskenään nykyisissä toteutuksissa radiolinkin tai valokuituyhteyden avulla. (7, s. 355.)

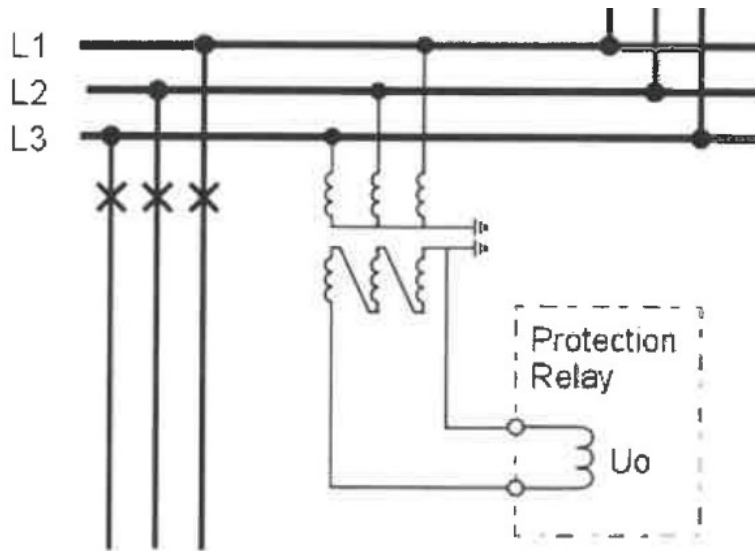


KUVA 4. Differentiaalisuojaus (8)

3.5.3 Yli- ja alijänniterele $U > / U <$

Jännitereleet toimivat nimensä mukaisesti silloin, kun verkon mitattu jännite ylittää tai alittaa annetun asetteluarvon. Jos jänniterelettä käytetään alijännitesuojaukseen, sen yleisin sijoituspaikka on suurjännitejohtolähdön jännitevalvonta tai suuria moottoreita syöttävä johtolähtö. Alijännitereleiden toiminnalle asetetaan yleensä tietty hidastus, sillä ne eivät saa antaa laukaisukäskyä liian pienestä jännitenotkahduksesta tai lyhytaikaisesta jänniteheilahtelusta. Jänniteheilahteluita aiheuttavat muun muassa käännytyksen toiminnat tai pikajälleenkytkennät. Jänniterele viritetään toimimaan 50 hertsin taajuisilla jännitteillä. (8.)

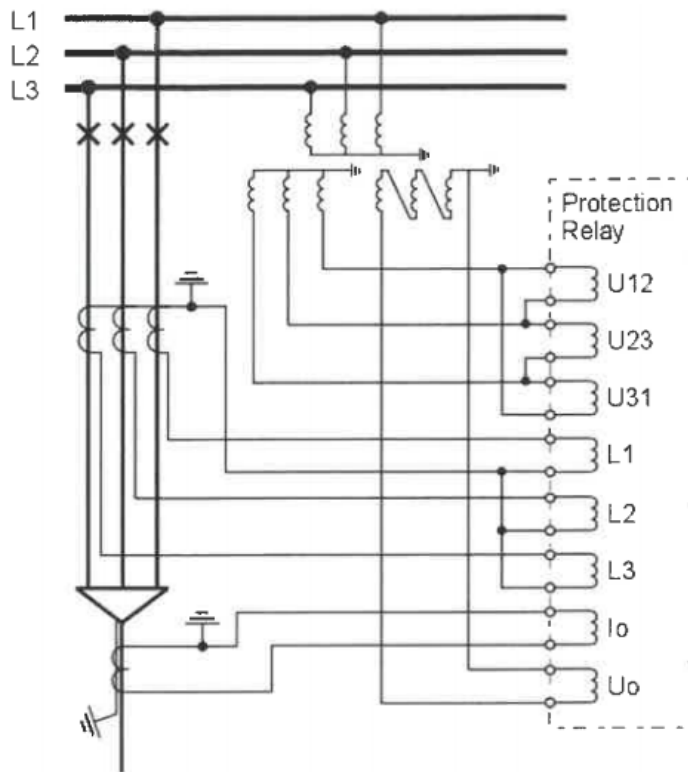
Ylijännitereleitä käytetään tahtigeneraattoreiden suojaukseen suojaamaan niitä vaaralliselta jännitteenousulta. Moottorikäytön suojauksessa ylijänniterelettä voidaan käyttää myös vastajännitteen avulla havaitsemaan vaihekatkoksia tai vääriä vaihejärjestyksiä. Ylijänniterele soveltuu myös johtolähdön maasulkusuojaukseen, jossa niitä käytetään nollajännitereleinä. Nollajänniterele valvoo verkon nollajännitettä eli verkon tähtipisteen ja maan välistä jännitettä. Nollajänniterele on kuitenkin luonteeltaan varasuoja. Kuvassa 5 nähdään nollajännitereleen kytkentä. (7, s. 360.)



KUVA 5. Avokolmiokytkentä nolajännitemittauksessa (8)

3.5.4 Distanssirele $Z<$

Distanssirele käyttää suojauksessaan hyväksi virta- ja jännitemittauksia, joiden avulla se laskee suojattavan johdon impedanssin. Kuvassa 6 näkyy distanssireleen kytkennät. Distanssireleen suurin hyöty ylivirtasuojaukseen tai differentiaalisuojaukseen verrattuna on se, että distanssirele pystyy päättelemään vian suunnan. Rele päättelee vian suunnan vertaamalla mitatun jännitteen ja virran vaihekulmia toisiinsa. Suurjännitejohdon impedanssi eli vastus koostuu suuresta reaktanssista ja pienestä resistanssista. Tällöin jos vika on releen edessä eli suojattavalla alueella, virta on 90 astetta jännitettä jäljessä. Jos vika on releen takana eli jossain muussa johtolähdössä, releen mitaama virta on 90 astetta jännitettä edellä. Distanssirele voi myös impedanssin perusteella laskea vikapaikan etäisyyden sähköasemasta. (8.)



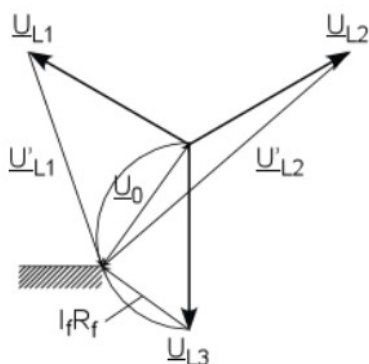
KUVA 6. *Distanssireleen mittaukset (8)*

3.5.5 Maasulkurele $I_0 >$

Maasulkurelettä käytetään sähköverkon suojauksessa vaarallisten kosketusjännitteiden rajoittamiseen, laitevaurioiden minimoimiseen ja vian laajenemisen estämiseen. Maasulku voi laajentua kaksoismaasuluksi tai jopa oikosuluksi, jos maasulku ei poisteta. Maasta erotetuissa verkoissa kuitenkin maasulku voidaan sallia pidempiaikaisesti, sillä se ei estä tehonsiirtoa verkossa. Tällaisiin tilanteisiin kuitenkin pätee erityisehtoja standardin SFS 6001:2018 liitteen NA mukaisesti. Yleisesti maasulku on kytkettävä pois automaattisesti. (8.)

Maasulku on yksinomaan maasta erotettujen eli IT- sähköjakelujärjestelmien ominaisuus. Maasulku voi tapahtua sähköverkossa, kun esimerkiksi puu kaatuu avolinjan päälle, työkonetta koskettaa avojohtolinjaa tai pylvään eristin vaurioituu ja tapahtuu läpilyönti. Syntyvän maasulun seurauksena maasta erotetuissa verkoissa on nolajännitteen synty, viallisen vaiheen jännitteen lasku ja terveiden vaiheiden jännitteennousu. (8.)

Maasulkurele voi olla kahdentyyppinen: suunnattu tai suuntaamaton. Suuntaamaton maasulkurele käyttää mittaukseen vaiheiden summavirtaa. Vaiheiden summavirran rele saa yksittäisten vaiheiden virtojen laskennallisesta summasta tai mittaamalla summavirtaa kaapelivirtamuuntajalla. Tällainen maasulkusuojaus on kuitenkin epäluotettava, sillä se ei kerro vian suuntaa. Siksi maasulkureleeseen liitetään avokolmiomittaus, joka mittaa vaiheiden jännitteiden summaa. Terveessä verkossa jännitteiden summa on nolla ja samalla tätä kutsutaan verkon tähtipisteeksi. Vian ilmestyessä verkon tähtipisteen jännite ei ole enää nolla ja syntyy kuvan 7 mukainen nollajännite U_0 . Nollajännitteen ja nollavirran välisestä vaihekulmasta voidaan päätellä vian suunta ja tällöin voidaan erottaa oikea verkon osa. (8.)



KUVA 7. Nollajännite U_0 osoitinkaaviomuodossa (8)

3.5.6 Valokaarirele

Valokaaren poistaminen laitteistoista on erityisen tärkeää sillä, valokaari aiheuttaa suuria vaurioita hyvin lyhyessä ajassa. Valokaari tekee vakavia tuhoja laitteistoille sekä ihmisille, jos sen paloaika on yli 100 millisekuntia. Jos valokaari saadaan poistettua alle 45 millisekunnin ajassa, säästytään merkittäviltä vaurioilta ja voidaan jatkaa laitteiston käyttöä lyhyiden tarkastus- sekä puhdistustöiden jälkeen. (8.)

Sähköasemien kiskostojen ja kojeistojen valokaarisuojaus toteutetaan erillisellä valokaarireleellä. Valokaarireleen toimintaperiaate perustuu valonhavaitsemisen ja virtamittauksen yhteistoimintaan (Light & Current – Trip), jossa valokaarirele havaitsee kennossa tapahtuvan valokaaren ja samalla mittaa kohteessa kulkevan virran. Valokaarirelettä voi käyttää pelkän valonhavaitsemisen ehdoilla, mutta on suositeltavaa yhdistää se virranmittaukseen. Kennojen sisälle asennetaan joko linssimuotoinen sensori tai rengasmuotoinen kuitusensori, joka tarkkailee kennossa tapahtuvia valokaaria.

Rengasmuotoista kuitusensoria käytetään yleensä kiskostojen suojaukseen ja linssisensoreita yksittäisten kennojen suojaukseen, mutta rengastyyppeistä kuitusensoreita käytetään myös yksittäisten kennojen suojaukseen. Sensoreiden mittaama valon voimakkuus kompensoidaan taustavalon voimakkuudella, jotta valon tunnistus on luotettavampaa. (8.)

Valokaarireleen suojauksen selektiivisyyttä ja sen suojausalueita voi parantaa liittämällä siihen ulkoisia keskittimiä. Koska valokaarisuojauksessa toimintanopeus on kriittistä, valokaarireleen antamat laukaisukäskyt toteutetaan yleensä puolijohdekomponenteilla kuten IGBT-lähdöillä. IGBT-lähtö pystyy toteuttamaan toimintansa noin 2,5 millisekunnissa siinä missä normaali kosketin toimii 15 millisekunnissa. (8.)

4 SÄHKÖVERKON RAKENNE

Suomessa kaikki kuluttajat ja voimalaitokset on kytketty yhteiseen verkkoon, joka nykyään kattaa lähes kaikki taloudet. Koko maan kattavalla sähkövoimaverkolla tavoitellaan voimansiirtoa hyvällä hyötysuhteella. Sähkön siirtoetäisyydet voivat olla pitkiä, mutta verkon järkevällä toteutuksella voidaan saavuttaa sähkön siirto taloudellisesti järkevällä tavalla samalla ylläpitäen verkon käyttövarmuutta. (12, s. 54.)

Tässä luvussa keskitytään suurjännitepuolen sähkönjakelujärjestelmiin eikä täten käsitellä keskijännitejakeluverkkoja tai muita kuluttajalle suunnattuja jakeluverkkoja.

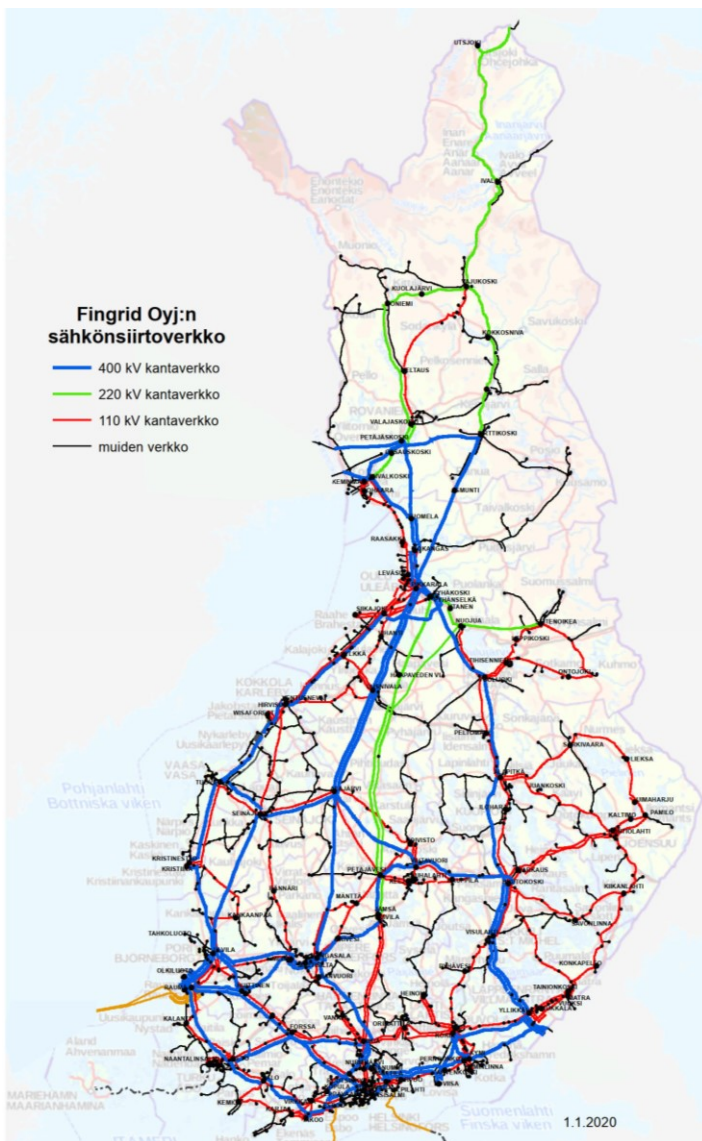
4.1 Kantaverkot

Pyrkimys hyvään hyötysuhteeseen tarkoittaa verkon häviöiden minimoimista, sillä sähkötekniikan lakien perusteella tiedämme virtalämpöhäviöiden olevan muotoa $R \times I^2$, mutta siirrettävän tehon muoto on $U \times I$. Tästä näemme, että siirrettävän tehon kasvaessa häviöiden kasvu on neliöllistä, sillä virta on molemmissa yhtälöissä yhteisenä tekijänä. Tästä syystä kantaverkot käyttävät siirtojännitteinä 110, 220 tai 400 kilovoltia. Keskijänniteverkkoon verrattuina kantaverkon jännitetasot ovat karkeasti 10 - 20 kertaa suurempia. Tehon pysyessä vakiona siirtojännitettä kasvattamalla johdossa kulkeva virta pienentyy ja samalla johtimen resistanssin aiheuttamat virtalämpöhäviöt pienenevät. Tämä sallii pidemmän johtovälin ja tehoa saadaan siirrettyä hyvällä hyötysuhteella. Suuremmat jännitteet tuovat kuitenkin lisävaatimuksia komponenttien ominaisuuksiin ja suurempi käyttöjännite näkyy myös suurempana hankintahintana. (12, s. 54.) Tästä syystä esimerkiksi omakotitaloalueita ei palvella 110 kV:n jännitetasolla vaan keskijänniteverkon yleisin jännite on 20 kV.

Suomen kantaverkon omistaa Fingrid Oyj, joka hallinnoi yhteensä 14 400 kilometriä voimajohtoa ja 116:aa eri sähköasemaa. Suomen 220 kV:n ja 400 kV:n kantaverkot ovat yksinomaan Fingrid Oyj:n hallussa, kun taas 110 kV:n jännitetason verkkoja on Fingrid Oyj:n lisäksi myös paikallisten sähkönsiirtoyhtiöiden omistuksessa. Puhuttaessa kantaverkoista tarkoitetaan nimenomaan Fingrid Oyj:n hallinnassa olevia verkon osia. Muiden verkonhaltijoiden 110 kV:n yhteyksistä puhuttaessa käytetään yleensä termiä siirto- tai jakeluverkko. Kantaverkko koostuu 5100 kilometrin pituudelta 400 kV:n voimajohdosta, 1300 kilometrin pituudelta 220 kV:n voimajohdosta, 7300 kilometriä siitä

on 110 kV:n voimajohtoa sekä korkeajännitetasasähkökaapelia (HVDC) on yhteensä 269 kilometriä. Kantaverkon johdot rakennetaan yleensä johtorenkaiksi ja silmukkaverkoiksi. Tällä saavutetaan parempi verkon käyttöaste ja rengasjakelulla vähennetään myös verkon jännitteenalemaa ja tehoviivöitä. Verkon renkaat pidetään yleensä suljettuina. Kuva 8 näyttää Fingridin koko verkkoalueen vuonna 2020. (13.)

Fingridin tehtävä Suomen kantaverkon haltijana on olla vastuussa Suomen sähköjärjestelmän teknisestä toimivuudesta ja käyttövarmuudesta sekä käyttää voimajärjestelmää teknisesti ja taloudellisesti tarkoituksen mukaisella tavalla. Fingrid on myös vastuussa Suomen sähköverkon tehotasapainon säilyttämisestä, jota se säätää muun muassa tehoreservien ja kuormien irtikytkennän avulla. (13.)



KUVA 8. Fingrid Oyj omistama siirtoverkko vuonna 2020 (13)

4.2 Sähköasemat

Sähköasema on yksi jakeluverkon tärkeimmistä rakenneosista, jonka sijainti ja koko usein määrittelevät suurjännitejohtojen pituudet, mitoitus ja jakeluverkon varayhteydet. Sähköasemille on keskitetty monipuolisesti verkon hallintaan ja suojaukseen tarkoitettuja suojaraitteita sekä muita automaatiolaitteita. Sähköasema koostuu suurjännitekytkinlaitoksesta, joko yhdestä tai useammasta päämuuntajasta, keskijännitekytkinlaitoksesta ja apujännitejärjestelmästä käytöntukitoimintoinen. (14, s. 119.) Kytkinlaitokset voidaan luokitella kolmeen eri pätyyppiin: keskusasemiin (420 / 123 kV:n muuntoasemat), solmupisteasemiin (teollisuuden ja kaupunkien suuret muuntoasemat) ja syöttöasemiin (enintään kaksi päämuuntajaa). Tyypillisin sähköasema on keskijännitejakeluverkkoa syöttävä 110 / 20 kV:n muuntoasema, kuten kuvassa 9. (15, s. 11.)



KUVA 9. Yhden päämuuntajan 110 / 20 kV muuntoasema

4.3 Sähköaseman rakenne

Sähköasemien sisäinen rakenne määräytyy muun muassa sähköaseman käyttötarkoituksen, sijainnin, siirrettävän tehon, ympäristöolojen ja taloudellisuuden perusteella. Sähköasema voidaan lisäksi luokitella rakenteensa takia joko ulkokytkinlaitokseksi tai sisäkytkinlaitokseksi. Ulkokytkinlaitoksella sähköaseman saapuvien ja lähtevien johtolähtöjen katkaisijat, erottimet, jännitemuuntajat, virtamuuntajat sekä kokoojakiskot sijaitsevat ulkotiloissa toisistaan erillään. Sisäkytkinlaitosten kojeistot ovat yleensä yhtä kokonaisuutta, johon on integroitu katkaisijat, kokoojakiskosto, jännitemuuntajat, virtamuuntajat, erottimet sekä johtolähdöt. Tämä tekee sisäkytkinlaitoksesta kompaktin kokonaisuuden verrattuna ulkokytkinlaitokseen. Siinä missä ulkokytkinlaitoksilla jännitteiset osat on sijoitettu kosketusetäisyyden ulottumattomiin, on sisäkytkinlaitoksilla jännitteiset osat koteloitu. Sisäkytkinlaitoksiin liitytään maakaapelilla, kun taas ulkokytkinlaitokseen liitytään yleensä avojohdolla. Sisäkytkinlaitokset ovat yleensä kaasueristeisiä ja suurjännitekojeistojen rakenne ei ole standardisoitu. Tällöin alkuperäisen kojeiston toimittajan on toteutettava kojeiston laajentaminen, sillä soviteosia on vain vähän saatavilla. Ulkokytkinlaitokset ovat ilmaeristeisiä ja sen komponentit ovat hyvin samanlaisia valmistajasta riippumatta. Kuvassa 10 on esimerkki 110 kV:n ulkokytkinlaitoksesta. (8.)



KUVA 10. 110 kV:n ulkokytkinlaitos

4.4 Muuntajat

Muuntaja on sähkötekniinen komponentti, jolla voidaan muuttaa jännitetasoja käyttäjän haluamalla tavalla. Keskijännitejakeluverkkoihin sijoitetuista muuntajista käytetään nimitystä tehomuuntaja ja sähköasemilla sijaitsevat muuntajat ovat päämuuntajia. Tehomuuntajia varten on olemassa kansainvälinen standardi IEC 60076, jonka mukaan ne valmistetaan ja koetetaan. Jakeluverkon puolella käytettävät muuntajat ovat pääosin öljyeristeisiä. Suurissa kiinteistöissä voidaan käyttää hartseristeisiä muuntajia, jos muuntamo on sijoitettu kiinteistön sisälle esimerkiksi kellarikerrokseen.

Sähköasemien päämuuntajat ovat yleensä öljypaperieristeisiä ja niiden alajännitepuolen jännitettä voidaan säätää käämikytkimellä. Joissain jakelumuuntajissa voi olla väliottokytkin, jolla pystytään myös säätämään muuntajan alajännitettä, mutta säädön tekeminen vaatii muuntajan käyttämistä virrattomana. Sähköasemien päämuuntajat on myös suojattu monipuolisemmin kuin jakeluverkkotai teollisuusmuuntajat.

Päämuuntajan suojauksiin liitetään yleensä öljynpinnan korkeusanturi, kaasurele (Buchholz-rele), öljyn lämpötilasuojaja ja käämikytkimen suojarle. Päämuuntajan suojauksiin voidaan liittää myös paineventtiili ja käämin lämpötilankuvaaja. Paineventtiili reagoi voimakkaaseen paineen nousuun muuntajan sisällä, joka indikoi muuntajan vakavasta viasta. Käämin lämpötilankuvaaja pyrkii matkimaan käämien todellista lämpötilaa öljyn lämpötilan ja muuntajan läpi kulkevien virtojen perusteella. Öljynpinnan korkeuden sekä öljyn lämpötilan indikoivat koskettimet ovat yleisesti käytössä hälyttävänä tekijöinä sähköaseman käyttöä valvovalle taholle. Kaasureleen tarkoitus on havaita muuntajan sisällä tapahtuvia osittaispurkauksia tai muista läpilyönneistä syntyviä kaasuja, joten sen toimintakoskettimia käytetään laukaisevana tekijänä yhdessä muuntajan muun suojarleistyksen kanssa. Käämikytkimen suojarle (virtausrele) laukaisee muuntajan irti verkosta käämikytkimen ohjauksen epäonnistuessa ja valokaaren syntyessä. Sen lisäksi että päämuuntajat ovat monipuolisemmin suojattuja, on niihin myös liitetty yleensä tuulettimin varustettu muuntajaöljyn jäähdytysjärjestelmä. Jakeluverkkomuuntajien jäähdytysjärjestelmät ovat pääasiassa luonnonmukaisella ilmakierrolla varustettuja. (8.)

4.5 Kiskostot

Yleensä sähköasemilla käytetään tehonsiirtoon kokoojakiskojärjestelmää (busbar), johon voidaan tarvittaessa liittyä useammalla teholähteellä tai toisella kiskolla kiskokatkaisijan kautta. Kiskotonta järjestelmää käytetään yksinkertaisilla pääte- tai johdonvarsi-asemilla, joissa on vain yksi muuntaja. Kiskon ja apukiskon erotuksena on, että kiskoon liitytään katkaisijalla ja apukiskoon pelkästään erottimella. (7, s. 103.)

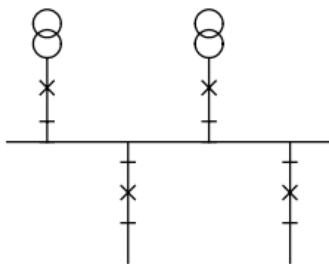
Erilaisia kiskotyyppejä ovat muun muassa

- yksikiskojärjestelmä
- kisko-apukiskojärjestelmä
- kaksikiskojärjestelmä
- kaksikisko-apukiskojärjestelmä
- rengaskiskojärjestelmä
- kaksoiskatkaisijajärjestelmä (Duplex).

Seuraavissa luvuissa kerrotaan enemmän jokaisesta tyypistä.

4.5.1 Yksikiskojärjestelmä

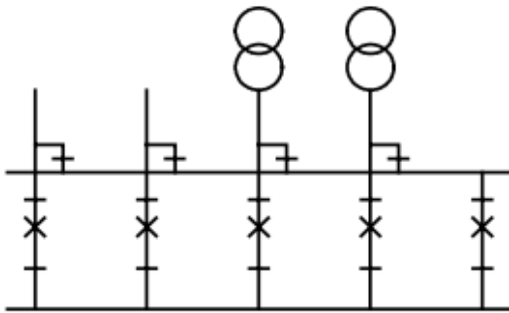
Yksikiskojärjestelmä on sähkönjakeluverkoissa yksinkertaisin ja helpoiten ymmärrettävissä oleva tehonjakelujärjestelmä. Yksikiskojärjestelmä on edullinen rakentaa ja helppo suunnitella sekä sille on helppo toteuttaa relesuojaus. Yksikiskojärjestelmän huono puoli on sen vaatimattomat kytkentämahdollisuudet, mikä käytännössä tarkoittaa käyttökeskeytystä, jotta päästään suorittamaan esimerkiksi katkaisijahuoltoa. Kuvassa 11 on esitetty yksikiskojärjestelmän rakenne. (7, s. 102; 15, s. 1.)



KUVA 11. Yksikiskojärjestelmä (15, s. 1)

4.5.2 Kisko-apukiskojärjestelmä

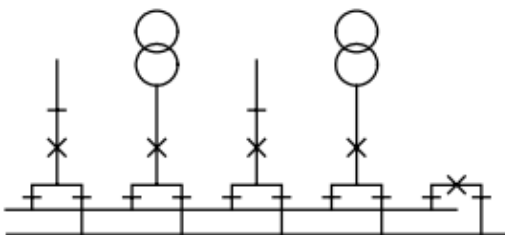
Kisko-apukiskojärjestelmässä pääjakelukiskolla on rinnalla apukisko, jota hyödyntämällä voidaan suorittaa katkaisijahuollot ja muut verkon muutostyöt ilman, että koko asemalle vaaditaan käyttökeskeytystä. Katkaisijahuolto voidaan suorittaa siirtämällä katkaisijan kuormitus apukiskolle erottimen avulla, josta se kiskokatkaisijan kautta syöttää alkuperäistä johtolähtöä. Kisko-apukiskojärjestelmässä kuorma ei kuitenkaan ole jaettavissa kahdelle kiskolle, vaan apukisko on huoltotoimenpiteitä varten. Vika pääkiskossa aiheuttaa järjestelmään käyttökeskeytyksen. Kuvassa 12 on esitetty kisko-apukiskojärjestelmän rakenne. (7, s. 103; 15, s. 2.)



KUVA 12. Kisko-apukiskojärjestelmä (15, s. 2)

4.5.3 Kaksikiskojärjestelmä

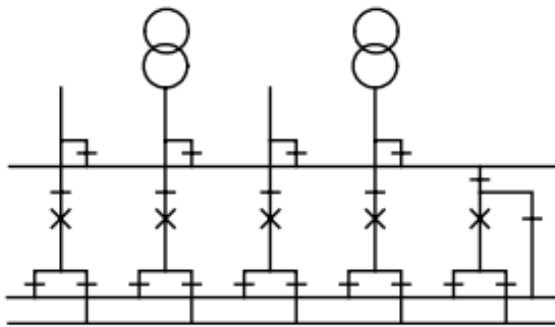
Kaksikiskojärjestelmä antaa verkon käyttäjälle vapaammat kädet kuormituksen jakamiseen ja huoltojen suorittamiseen. Kaksikiskojärjestelmässä kuormituksia voidaan siirtää kiskolta toiselle käytön aikana tai toinen kisko voidaan tarvittaessa tehdä kokonaan jännitteettömäksi. Katkaisijan huoltotoimenpiteitä varten on kuitenkin koko syöttökenttä tehtävä jännitteettömäksi eikä kyseisen katkaisijan takana olevaa kuormaa voida syöttää toista reittiä pitkin. Kuvassa 13 on esitetty kaksikiskojärjestelmän rakenne. Kaksikiskojärjestelmät ovat tyypillisiä jakeluasemilla ja teollisuuskojeistoissa. (7, s. 103; 15, s. 2.)



KUVA 13. Kaksikiskojärjestelmä kiskokatkaisijalla (15, s. 2)

4.5.4 Kaksikisko-apukiskojärjestelmä

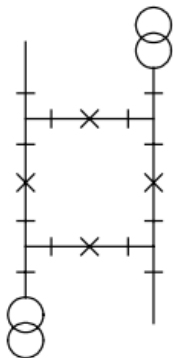
Kaksikisko-apukiskojärjestelmän edut ovat hyvin samanlaisia kuin kaksikiskojärjestelmän, mutta apukiskon ansiosta se tarjoaa monipuolisempia kytkentämahdollisuuksia. Apukiskon ansiosta kaksi aseman kolmesta kiskosta voidaan tehdä tarvittaessa jännitteettömäksi samanaikaisesti tai kahta lähtöä voidaan syöttää yhden katkaisijan kautta. Katkaisijan huolto onnistuu ilman käyttökeskeytystä apukiskon avulla. Tällaisen järjestelmän huonona puolena voidaan pitää suuria hankintakustannuksia. (15, s. 3.)



KUVA 14. Kaksikisko-apukiskojärjestelmä (15, s. 3)

4.5.5 Rengaskiskojärjestelmä

Rengaskiskomuotoon rakennetussa sähköasemassa syöttöpisteet ja lähtevät haarat jakavat saman kiskojärjestelmän, eikä malliin ole sovellettu apukiskojärjestelmiä. Rengaskiskojärjestelmän hyödyt näkyvät katkaisijoiden vähäisessä lukumäärässä ja rakenteensa takia katkaisija on tarvittaessa helppo huoltaa ilman käyttökeskeytyksiä. Järjestelmän rakenteen vuoksi rengaskiskomuotoon rakennettua sähköasemaa on hankala laajentaa ja se vaatii mutkikkaan relesuojauksen. Jälleenkytkentäautomatiikan toteuttaminen tällaiseen ratkaisuun on myös erittäin hankalaa. (15, s. 3.)



KUVA 15. Rengaskiskojärjestelmä (15, s. 3)

4.6 Katkaisijat

Sähköaseman virtapiirien turvalliseen avaamiseen ja sulkemiseen käytetään katkaisijoita. Katkaisija on komponentti, joka pystyy avaamaan tai sulkemaan oikosuljetun virtapiirin rikkoutumatta. Oikosuljetussa virtapiirissä piirin virta on moninkertainen sen mitoitusvirtaan nähden. Katkaisijan ja kytkimen ero tulee juuri siinä määritelmässä, että kytkin pystyy luotettavasti katkaisemaan vain mitoitusvirtansa suuruisen virran. (7, s. 163.)

Katkaisijaa voidaan ohjata käsin kojeiston tai katkaisijan yhteydessä olevilla painonapeilla tai automaattisesti suojaroleiden avulla. Tavanomaisin katkaisijan toiminto onkin suojaroleen antama automaattinen katkaisijan avautumiskäskey vian poiskytkemiseksi. (7, s. 163.)

Virtapiirille on tyypillistä, että virran kulku ei katkea välittömästi, kun katkaisijan koskettimet irtoavat toisistaan. Katkaisijan koskettimien liikkeessa poispäin toisistaan kärkien välinen kosketinpaine pienenee, jolloin kosketusvastus kasvaa ja kosketusvastuksen kasvu tuottaa lämpöhäviöitä, jotka lämmittävät kosketinpintoja. Koskettimen pinnan metalli sulaa ja höyrystyy muodostaen metallisil- lan. Höyrystynyt metallisilta on erittäin johtava väliaine ja seuraa läpilyönti. Läpilyönnin ansiosta metallihöyry ja sen ympärillä oleva väliaine ionisoituvat ja syntyy plasmää. Plasmakanava aiheuttaa koskettimien välille valokaaren, joka pitää virtapiirin suljettuna. (7, s. 163.) Jos tahdotaan välttää vahingoilta ja varmistaa virtapiirin luotettava katkaisu, tämä valokaari tulee sammuttaa. Valokaaren sammutukseen on aikojen saatossa luotu useita eri katkaisijatyyppejä.

Katkaisijatyyppejä ovat

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF₆-katkaisijat
- tyhjiökatkaisijat.

Seuraavissa luvuissa kerrotaan jokaisen katkaisijatyypin ominaisuuksista.

4.6.1 Ilmakatkaisija

Ilmakatkaisija lienee vanhin käytössä oleva katkaisijatyyppe. Sen katkaisukärjet ovat normaalipaineisessa ilmassa ja ne ovat tavallisesti suojattuna tulenkestävällä valokaarisuojauksella. Suojus koostuu yleensä useista välilevyistä valokaaren sammuttamisen helpottamiseksi. Useimmissa ilmakatkaisijoissa on erilliset valokaarikoskettimet, jotka hoitavat valokaaren sammutuksen. Valokaaren sammutusta ilmakatkaisijassa voidaan tehostaa myös magneettipuhalluksella, missä valokaaren virran aiheuttama sähkömagneettinen voima kohdistetaan poikittain valokaarta kohti työntäen sitä kohti sammutuskammion seinämiä. Tällöin valokaari pitenee ja sen vastus kasvaa, jolloin valokaarivirta pienentyy. Magneettipuhalluksella varustetun ilmakatkaisijan suurin mitoitusjännite on 24 kV. (7, s. 172 - 174.)

4.6.2 Öljy- ja vähäöljykatkaisija

Öljy- ja vähäöljykatkaisijoissa valokaaren sammutukseen käytetty aine on mineraaliöljy. Katkaisijan koskettimien liikkeestä syntyvä valokaari aiheuttaa öljyn kaasuuntumista valokaaren ympäriltä, jolloin öljy hajoaa muun muassa vedyksi. Samalla valokaarta ympäröivä kaasuvaippa saavuttaa suuren paineen, joka sammuttaa voimakkaasti valokaarta. Öljykatkaisija ei kuitenkaan saavuta nykyisiä katkaisukykyjä ilman erityistoimenpiteitä. Öljykatkaisijan suuri ongelma on sen sisältämän öljyn määrä, mikä saattaa aiheuttaa suuria vahinkoja väärin mitoitettuna. Öljykatkaisijoiden räjähdyksistä ja muista tuhoisista tulipaloista johtuen kehitettiin vähäöljykatkaisija, jossa öljykatkaisijasta jäi jäljelle pelkkä sammutuskammio. Vähäöljykatkaisijan sammutuskammiot on rakennettu kullekin vaiheelle erikseen eristimien varaan. Erilliset sammutuskammiot tarkoittavat pienempää öljymäärää ja täten pienempiä vahinkoja katkaisijan epäonnistuessa. Vähäöljykatkaisijassa valokaaren sammutukseen käytetään öljyn höyrystymisestä syntynyttä painetta, jolla aiheutetaan kaasun ja öljyn virtaus katkaisukammion sisällä. Öljy- ja vähäöljykatkaisijoiden yleinen sovellusalue on 7,2 – 123 kV. (7, s. 174 - 176.)

4.6.3 Paineilmakatkaisija

Paineilmakatkaisijaa pidettiin pitkään vähäöljykatkaisijan rinnalla yhtenä tärkeimmistä käytettävistä katkaisijatyypeistä. Paineilmakatkaisijan katkaisu- ja ohjausperiaate perustuu paineilmaan. Paineilmakatkaisijat soveltuvat suurimpiin käytettäviin jännitteisiin ja katkaisuvirtoihin saakka, etenkin jos

oikosulkuvirtojen katkaisutapahtumia on useasti ja jos verkon nimellis- ja oikosulkuvirrat ovat suuria. Paineilmakatkaisijan huonona puolena on sen toiminnasta aiheutuva melu ja jatkuva paineil-maverkoston sekä siihen liittyvien oheislaitteiden tarve. Uusia paineilmakatkaisijoita hankitaan kuitenkin esimerkiksi suurten generaattoreiden katkaisijoiksi, joiden mitoitusvirrat ovat kymmeniä kiloampeereja ja katkaisukyvyt useita satoja kiloampeereja. Paineilmakatkaisijoita käytetään jopa 765 kV:n jännitteillä. (7, s. 177.)

4.6.4 SF₆-katkaisija

SF₆-katkaisija on rikkiheksafluoriditäytteinen katkaisija, jonka etuna on väliaineen palamattomuus, suuri valokaaren jäähdytyskyky sekä rakenteensa takia kilpailevia periaatteita suurempi katkaisu-teho. Rikkiheksafluoridi on hajuton ja myrkytön, huoneenlämmössä kaasumainen väliaine, joka on kolme kertaa parempi eriste kuin ilma. Koska rikkiheksafluoridi on hyvä eriste, voidaan katkaisijan sisällä olevia katkaisupäitä vähentää, mikä johtaa kompaktimpaan sekä taloudellisempaan katkai-sijaratkaisuun. Valokaaren sammutus SF₆-katkaisijassa voidaan jakaa kahteen eri kehitysvaihee-seen. Ensimmäiset SF₆-katkaisijat olivat niin sanottuja kaksipainekatkaisijoita, joissa kaasu johdet-tiin korkeapaineosasta siihen matalapaineosaan, jossa katkaisukohta oli. Tämä oli erittäin moni-mutkainen ratkaisu kaikkien apulaitteidensa vuoksi. Toista SF₆-katkaisijan kehitysvaihetta edusta-vat yksipainekatkaisijat, joissa käytettiin pufferitekniikkaa, missä koskettimen liikettä hyödynnettiin mäntä-sylinterijärjestelmällä kaasupuhalluksen aikaansaamiseksi ja valokaaren sammuttamiseksi. Pufferitekniikkaa hyödyntävä katkaisija vaatii kuitenkin paljon ohjausenergiaa, jonka vuoksi keski-jänniteverkkoihin on kehitetty SF₆-katkaisijoita, jotka ottavat valokaaren sammuttamiseen vaaditta-van energian katkaistavasta virrasta. Samalla keski-jänniteverkkoihin suunnitelluissa katkaisijoissa on hyödynnetty itsepuhallusperiaatetta, missä valokaaren aiheuttamaa SF₆-kaasun paineennou-sua hyödynnetään valokaaren jäähdyttämässä. Rikkiheksafluoridi on kuitenkin vahva kasvihuo-nekaasu ja syrjäyttää hapen, joten siitä syntyvät riskit on otettava huomioon. (7, s. 177 - 181.)

4.6.5 Tyhjiökatkaisija

Tyhjiökatkaisijat ovat rakenteeltaan poikkeuksellisia edellisiin katkaisijatyyppeihin verrattuna, sillä ne ovat yleensä hyvin yksinkertaisia. Tyhjiökatkaisija on pohjimmiltaan vain kaksi koskettinta kote-loituna ilmatiiviiseen tyhjiösäiliöön. Koskettimien erkaantuessa syntynyt valokaari jää palamaan io-nisoituneeseen koskettimen pinnalla olevaan metallihöyryyn eikä ionisoituneeseen kaasuun kuten

muissa rakenteissa. Kun katkaistava virta saavuttaa nollakohdan, metallihöyryn ionisaatio katoaa ja höyry tiivistyy sammuttaen valokaaren. Tämän takia tyhjiökatkaisijan katkaisukyky ei riipu juuri ollenkaan käytetystä jännitetasosta tai piirin virrasta. Luotettavan katkaisuvälin mitta on noin 5 - 15 millimetriä, sillä tyhjiön läpilyöntikestoisuus on hyvä. (7, s. 182.)

4.7 Erottimet

Erottimen tehtävä on luoda turvallinen avausväli virtapiirin ja muun laitoksen välille. Erottimella saatetaan laitoksen osa, komponentti tai muu laite jännitteettömäksi työskentelyä varten. Erottimen avulla voidaan myös maadoittaa eri osia, jotta eliminoidaan vikavirtojen ja induoituneiden jännitteiden vaaravaikutuksia. Koska erottimen tehtävä on luoda turvallinen ympäristö sähkölaitteen parissa työskentelyä varten, tulee erottimen avausvälin olla näkyvä tai se on varustettava mekaanisella asennonosoituksella. Erottimen luoman avausvälin jännitelujuuden on oltava myös suurempi kuin muun ympäröivän eristyksen. Erotin on oltava myös lukittavissa mekaanisesti siten, että vaara aiheuttavaa käyttöä ei voi tapahtua esimerkiksi huoltotoimenpiteiden aikana. (7, s. 190.)

Eroittimia voidaan valmistaa joko posliinista tai silikonipäällysteisestä komposiittimateriaalista, jotka soveltuvat käyttöön 110 kV:n tai sitä suuremmilla jännitetasoilla. Keskijänniteverkoissa käytetään valuhartsista valmistettuja erottimia. (7, s.193.)

Erotinta ei kuitenkaan saa käyttää kuormitetun piirin avaamiseen tai sulkemiseen. Erottimella voidaan kuitenkin erottaa tyhjäkäyvä muuntaja tai lyhyt johtolähtö tai kiskosto. (7, s. 190.) Poikkeuksena tähän on kuormanerotin, jota voidaan käyttää suurehkojen kuormitusvirtojen katkaisuun ja pienehköjen oikosulkuvirtojen kytkemiseen. Kuormanerotimia käytetään runsaasti keskijänniteverkoissa.

5 TOIMEKSIANTO

Rovaniemen Verkko Oy:n hallussa on kolme sähköasemaa: Palkisentien, Ounasvaaran ja Viirinkankaan sähköasemat. Toimeksiannon kohteena oli Palkisentien sähköasema Rovaniemen kantakaupungin alueella. Toimeksianto kattoi Palkisentien sähköaseman 110 kV:n GIS-katkaisijakojeiston relesuojauksen, johon kuuluu kaksi maakaapelilähtöä ja kiskoon yhdistyvät päämuuntajat 1 ja 2. Päämuuntajat ovat öljypaperieristeisiä tehomuuntajia ja syöttävät kaksikiskojärjestelmällä toteutettua 10 kV:n tyhjiökatkaisijakojeistoa. Kuvassa 16 nähdään Palkisentien GIS-kojeisto.

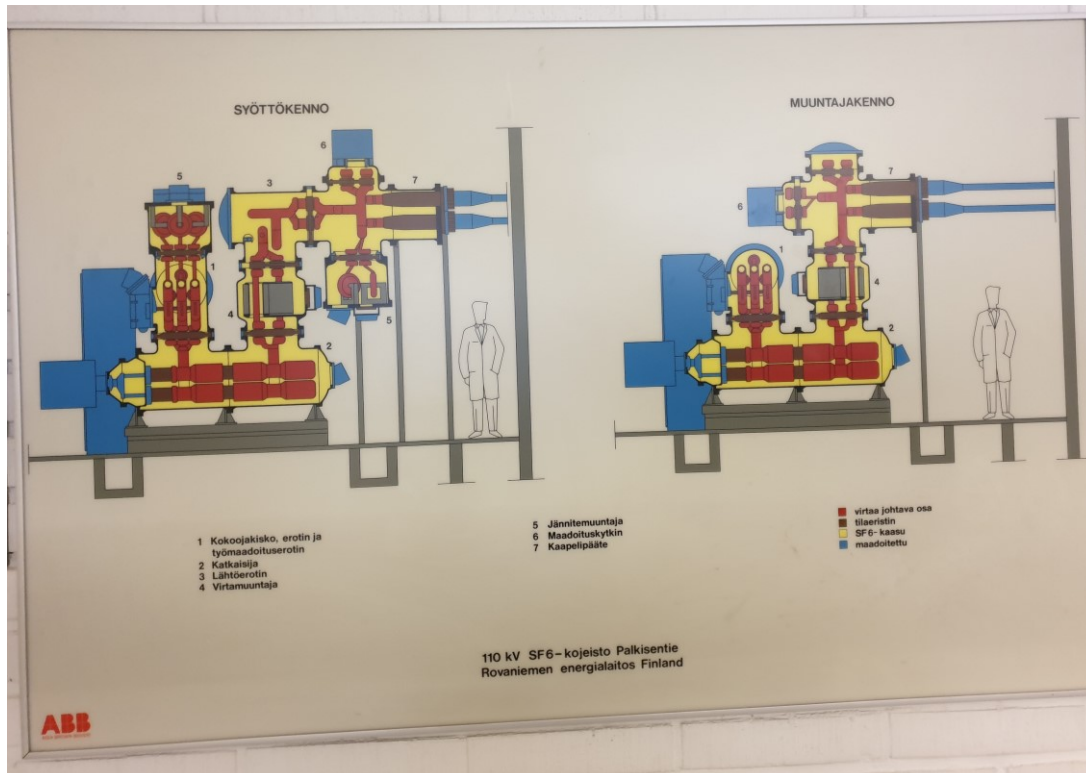


KUVA 16. Palkisentien 110 kV GIS-kojeisto

5.1 Aseman historiaa

Palkisentien sähköasema on alun perin rakennettu vuonna 1970 1. ja 3. kaupunginosan tarpeita ajatellen. Palkisentie yhdistettiin aluksi Viirinkankaan sähköasemaan 45 kV:n yhteydellä, joka on vuonna 1988 päivitetty 110 kV:n maakaapeliyhteydeksi. Vuonna 1991 Palkisentielle investoitiin 110 kV:n GIS-kytkinlaitos vanhan 45 kV:n sisäkytkinlaitoksen tilalle. Samalla vanha 10 kV:n kytkinlaitos

muutettiin kaksoiskiskokojeistoksi. Kytkinlaitoksen uusinta saatiin valmiiksi vuoden 1992 aikana. Vuonna 1992 valmistuneessa kytkinlaitoksessa oli kolme kenttää, yksi 110 kV:n johtolähtö ja kaksi 110 / 10 kV:n päämuuntajakenttää. Kuvassa 17 on läpileikkauskuva GIS-kojeistosta.



KUVA 17. GIS-kojeiston sisäinen rakenne

Palkisentien sähköaseman kaukokäyttö yhdistettiin Viirinkankaan aseman valvomoon vuonna 1979, kun Viirinkankaan asemaa laajennettiin. Palkisentien hälytystiedot koottiin ABB SACO -hälytysyksikköön, josta ne vietiin kaukokäyttöyhteydellä Viirinkankaalle. Nykyisellään kaikki aseman hälytystiedot viedään Viirinkankaan aseman sijasta Palkisentiellä sijaitsevaan ABB RTU 560 -sähköasema-automaatiojärjestelmään, johon päästään käsiksi etäyhteydellä.

Vuonna 2001 Palkisentien sähköaseman GIS-kojeistoon tehtiin lisäyksenä toinen 110 kV:n maa-kaapelilähtö. Tällä oli tarkoitus monipuolistaa olemassa olevien sähköasemien eri käyttömahdollisuuksia sekä vahvistaa runkoyhteyksiä asemien välillä. Aikaisemmin Palkisentieltä lähdettiin kolmikäämimuuntajan kautta 45 kV:n jatko-yhteydellä toiselle sähköasemalle. Palkisentien 10 kV:n kojeisto on uusittu toistamiseen vuonna 2012. Tekniikan kehittyessä ja releiden käyttöä loppuessa suojarелеiden uudistaminen oli tullut ajankohtaiseksi. Viimeisin 110 kV:n relesuojauksen saneeraus on tehty 2016, jolloin päivitettiin GIS- kokoojakiskojen jännitesuojarелеet, päämuuntaja 1:sen ja

2:sen differentiaalisuojat, GIS- kokoojakiskon differentiaalisuojarele sekä VII – PAL 110 kV:n maa-kaapelin differentiaalisuojarele.

5.2 Nykytilanne

Palkisentien sähköasemaa on pidetty yllä säännöllisillä huolloilla sekä määräaikaiskoestuksilla. GIS-kojeiston viimeisin huolto on tehty vuonna 2010. Huolto piti sisällään jokaisen kentän katkaisijan kunnan tarkastuksen, SF₆-kaasuvahtien toiminnan tarkastuksen, ohjainlaitteiden toiminnan tarkastuksen sekä liikkuvien osien voitellun. Huollossa otettiin myös kaasuanalyytit kaikista katkaisijan kaasutiloista sekä tarkastettiin kaasun määrä kojeistossa. Muuntajaöljyanalyysejä on tehty vuosina 2010, 2014 ja 2020. Viimeisin 110 kV:n relekoestus on suoritettu vuonna 2019, jolloin suoritettiin myös keskijännitekojeiston relekoestus.

Releuudistuksen jälkeen sähköaseman relekaappeihin on tehty muutoksia, joita ei ole kirjattu ylös piirikaavioihin tai johdotustaulukoihin. Käytöstä tarpeettomana poistettuja laitteistoja ei ole fyysisesti purettu pois relekaapeista, vaan ne on jätetty paikoilleen. Toimeksiantajan ongelma olikin, että vanhentuneet dokumentit hankaloittivat vikojen selvitystä sekä käyttötoimenpiteitä ja parantavia kunnossapitotoimia. Paikoilleen jätettyjen mutta käytöstä poistettujen laitteiden tarkoituksellisesti ei ollut aina täyttä varmuutta. Tämä on standardien vastaista, sillä SFS 6001:2018 -standardin Luku 15 määrittää, että ”Kaikkien asennusten **ajantasaiset** piirustukset ja käyttökaaviot tulee olla käytöpaikalla saatavilla” ja ”Käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnan pitää niiden avulla pystyä turvallisesti ja tehokkaasti suorittamaan vaaditut toimenpiteet laitteistossa” (17). Tämä oli suurin peruste sille, että Rovaniemen Verkko Oy tilasi opinnäytetyön. Sähköaseman 110 kV:n GIS-kojeiston dokumentaatio, sähköaseman pääkaaviot ja suojareleiden olemassa oleva dokumentaatio on sähköisessä muodossa yrityksen omalla verkkolevyllä. GIS-kojeiston dokumentaatio sijaitsee myös paperimuodossa Palkisentien sähköasemalla. Tuotettava dokumentaatio arkistoidaan yrityksen verkkolevyllä sekä siitä otetaan paperinen kopio, joka sijoitetaan sähköasemalle.

5.3 Tulevat investoinnit

Palkisentien sähköasemalle tehdään kevään 2021 aikana GIS-kojeiston katkaisijaohjainlaitteiden uusinta, jossa olemassa olevat katkaisijaohjaimet päivitetään uudempaan versioon. Samalla suoritetaan GIS-kojeiston huolto, jossa tarkastetaan kojeiston sisäisten komponenttien kunto sekä liikkuvuus. Opinnäytetyö ei ota kantaa laitekannan, relesuojauksen tai muun ohjausjärjestelmän päivitystarpeeseen eikä käsittele mahdollisten muutosten vaikutusta sähköaseman käyttöön.

6 TOTEUTUS

Toimeksiantoa lähestyttiin edellisiin dokumentteihin verrattuna täysin uudesta näkökulmasta ja päätettiin toteuttaa täysimittainen 110 kV:n relesuojauksen dokumentaation uusinta. Annettua pohjamateriaalia käytettiin ainoastaan viitteellisesti ja esimerkiksi piirikaavioissa sovellettiin uusimman standardin mukaisia piirtotyylejä sen sijaan, että olisi tyydytty korjaamaan olemassa olevia piirikaavioita. Tämä nähtiin tarpeelliseksi, kun totesimme yhdessä toimeksiantajan kanssa alkuperäisten dokumenttien olevan liian puutteellisia. Tiedossa oli, että tämä lisäisi merkittävästi työkuormaa, sillä käytännössä työ aloitettiin nolasta luomalla omat uudet standardien mukaiset pohjat, joiden avulla dokumentaatiota ryhdyttiin päivittämään.

Opinnäytetyön aikana tuotettuihin dokumentteihin, kuten esimerkiksi piirikaavioihin, sisältyi pääpiirteittäin

- suojureleiden mittaukset
- suojureleiden kosketintiedot
- energiamittaroinnit
- ohjausjännitejakelut
- lukituskaaviot
- laukaisukaaviot
- hälytystiedot
- apureleiden ohjaukset ja koskettimet.

Opinnäytetyön tuotoksiin sisältyi myös muita dokumentteja kuten johdotustaulukoita sekä piirustusluetteloita. Dokumentaatio on toimitettu toimeksiantajalle opinnäytetyön liitteenä.

6.1 AutoCAD-piirto

Yhtenäisen ja selkeän piirustustyylin saavuttamiseksi pyrin aluksi selvittämään jokaisen komponentin oikeantyyllisen piirustussymbolin. Alkuperäisissä piirustuksissa oli käytetty toisistaan eroavia piirustustyylejä ja symboleita, joten oikeanlaisen sekä selkeän symbolin löytäminen oli välillä

hankalaa. Muutamissa tapauksissa piirsin itse symbolin ja muutin sen piirustuselementiksi eli ”blokkiksi”, johon liitettiin AutoCAD:in Block Editorilla oikeanlaiset kentät viitetietoja sekä piirtämisen kiintopisteitä varten. Kiinnitin suurta huomiota myös siihen, miten komponenttien valmistajat olivat kuvanneet käyttöoppaissaan kunkin laitteen toimintoja ja pyrin mallintamaan ne sellaisenaan piirustukseeni. Käytin myös yrityksen hallussa olevaa piirustusarkkia, johon täytyi ensimmäisenä sovittaa yrityksen päivitetty logo sekä tiedot. Nämä luodut elementit tallennettiin tiedostomuodossa, josta niitä voitiin käyttää tarvittaessa.

Piirtäminen aloitettiin sijoittamalla vaakatasoon käännetty A4-arkki, joka oli luotu aikaisemmin. Tämän jälkeen Layout-välilehdessä suoritettiin A4-arkin sovitusta tulostusta varten ja lukittiin sijainti, jotta lisäarkit eivät muuttaisi aikaisempien lehtien asettelua. Sama toistettiin muille piirustuksen lehdille. Mittakaava ei ollut opinnäytetyötä varten luoduissa dokumenteissa kriittinen tekijä, joten siihen ei kiinnitetty huomiota.

Piirtämisen aikana kiinnitettiin erityistä huomiota komponenttien sijoitteluun piirustusarkille, jotta ne olisivat selkeästi luettavissa ja että piirikaavio olisi helppo ymmärtää. Nykyisin käytetty tapa on sijoittaa suojaroleiden toiminnalliset kosketinkärjet sivun ylälaitaan, josta johdotus voidaan viedä alaspäin ja lisätä viittaus siihen kuvaan, missä loppupiiri sijaitsee. Suojaroleiden asentotiedot ja muut kärkitiedot sijoitetaan kuvan alalaitaan, jolloin muualta tulevat viittaukset jäävät kuvan ylälaitaan. Apuroleiden sekä muiden apujännitettä käyttävien piirien ohjauksia esittäviin piirikaavioihin sovitettiin tasasähkösyötöt sivun ylä- ja alalaitaan jättäen sivun keskiosaan tilaa itse piirille. Apuroleiden alapuolelle sijoitettiin myös apukosketinkärjet, joihin merkittiin viittaukset siihen kuvaan, missä ne sijaitsivat. Pääasiassa näitä kahta piirustustyyliä sovellettiin jokaiseen piirrettävään piiriin, kuten esimerkiksi tasajännitteen jakeluun suojaroleille, hälytystietojen kokoamiseen ja energiamittarointiin.

6.2 Muu dokumentaatio

Opinnäytetyön yhteydessä suoritettiin myös piirikaavioiden suunnittelun lisäksi muun dokumentaation tarkistus ja päivitys. Näitä dokumentteja ovat muun muassa johdotustaulukot, piirustusluettelot ja pääkaaviot. Näiden dokumenttien tarkoitus on tukea piirikaavioiden suunnittelua sekä käyttötehtävien suorittamista.

Piirustusluettelot täydennettiin Excel-taulukkoon luotuun pohjaan, johon kirjoitettiin kuvan piirustusnumero, piiriä kuvaava nimi sekä missä se sijaitsee asemalla. Piirustusnumerointi aloitettiin systemaattisesti ensimmäisestä ristikytkentäkaapista numerolla 10 000, josta jatkettiin seuraaviin kytkentäkaappeihin kymmenen tuhannen välein. Releiden numerointi tehtiin tuhansien tarkkuudella. Kaapin sisällä eri laitteiden ja apujärjestelmien numerointi suoritettiin satojen tarkkuudella. Numeroinnilla haluttiin varmistaa, että jokaiselle piirustukselle on selkeä ja looginen paikka, eikä tarvitse käyttää ylimääräisiä lisäkkeitä numeron jälkeen. Laitekokonaisuuteen liittyvät numerot on ryhmitelty päälaitenumeron alle. Esimerkiksi ristikytkentäkaapin 1 (RK1) apureleiden piirustusnumero on 10 100 ja jännitesuojareleen piirustusnumero on 11 000. Suojareleitä suunniteltaessa piirustuksien järjestys pidettiin samana, jolloin esimerkiksi jännitemittauksissa piirustuksen numerossa vaihtuisi vain tuhansien kohdalla oleva numero indikoiden eri relettä. Tämän ideana oli helpottaa kuvien tarkastelua, sillä viittausta tulkitessa voi nopeasti piirustusnumeron perusteella päätellä, mihin kokonaisuuteen kyseinen kosketin tai johdin kuuluu.

6.3 Dokumentaatiotyypit

Pääkaavio on sähköasemilla käytetty piirustusmuoto, joka esittää sähköjakelun pääpiiriin yksivivaisena esityksenä, josta tulee selville kaikki pääpiiriin liittyvät kojeet, suojareleet, mittalaitteet, kiskot ja laitostunnukset. Pääkaavion asettelussa noudatetaan tarkasti laitteiden todellista sijoitusta, mutta se ei ota kantaa laitteiden välisiin etäisyyksiin tai mittakaavaan.

Yleiskaavio on yksinkertainen, yksiviivaista esitystä käyttävä piirustus, joka esittää järjestelmän, sen osan, asennuksen tai ohjelman toimintaperiaatteen. Yleiskaaviossa määritellään päätoimintojen ja/tai komponenttien väliset suhteet sekä niiden toiminnot. Yleiskaavio ei yleensä ota kantaa järjestelmien fyysiseen sijoitteluun vaan näyttää niiden toiminnallisen sijoittelun, johon lisätään tarvittaessa sijaintitietoja. Poikkeuksena tähän on esimerkiksi energiayhtiöiden verkkokartat, joissa asianmukainen sijoittelu voi olla tärkeää järjestelmän toiminnan ymmärtämiselle. (16, s. 21.)

Piirikaavio on kaavio, joka esittää järjestelmän, sen osan tai laitteen piirit siten kuin ne on toteutettu yksityiskohtaisesti. Se on sähköpiirustuksien perusdokumentti, joka toimii itsenäisenä piirustuksena sekä useiden muiden piirustuksien lähtökohtana. Piirikaavion ei ole tarkoitus olla täydellinen mittakaavaan pohjautuva mallinnus laitteistosta kuten esimerkiksi pohjapiirustus. Piirikaavio ei ota

kantaa laitteiden fyysisiin kokoihin, muotoihin tai sijainteihin vaan esittää osat sekä liitännät pelkistetyin piirrosmerkein. (16, s. 23.)

Johdotustaulukko on dokumentti, joka esittää tietyn kojeiston sisältämät riviliittimet ja niihin liittyvät johtimet yksinkertaisena ”pylväsmuotoisena” taulukkona. Johdotustaulukossa riviliittimet asetellaan nousevaan numerojärjestykseen vaakasuoraan käännetyin sivun keskelle ja sen molemmilla puolilla merkitään jokaisen riviliittimeen tulevan johtimen tyyppi, johdinnumero, johtimen merkinnät, kaapelitunnukset, johtimen alkuperäkohteen tunnus sekä riviliitin. Johdotustaulukkoon merkitään myös mahdolliset ketjutukset riviliittimien välillä joko merkitsemällä ketjutettavan riviliittimen numero tai käyttämällä ”oikosulkusymbolia”. Johdotustaulukossa tärkeintä on johtimien sijaintien tarkka ja oikeaoppinen sijoittaminen sekä ketjutuksien merkitseminen, sillä johdotustaulukko on yksi tärkeimmistä sähköasemiin liittyvistä dokumenteista. Yleinen käytäntö on sijoittaa kohteeseen tulevat johtimet sivun vasemmalle puolelle ja kohteesta lähtevät johtimet sivun oikealle puolelle.

6.4 Prosessi

Dokumentaatiota laadittaessa mukailtiin vesiputousmallin prosessikaaviota vahvasti muokattuna omaan tyyliin soveltuvaksi. Vesiputousmalli soveltuu tällaiseen projektiin, sillä se ei vaadi jatkuvaa konsultaatiota ulkopuolisten toimijoiden kanssa ja projektiryhmän koko on pieni. Projektin luonne oli myös sellainen, että työ voitiin toteuttaa järjestelmällisesti ja saattaa jokainen vaihe loppuun ennen kuin siirryttiin eteenpäin. Vesiputousmallin prosessikaavio etenee seuraavasti: vaatimusten määrittely, suunnittelu, toteutus, integraatio, testaus, asennus ja ylläpito. Tästä mallista otettiin käyttöön päämenetelmiksi vaatimusten määrittely, toteutus ja ylläpito. Tällä tavalla pyrittiin suoraviivaistamaan ja nopeuttamaan dokumentaation laadintaa. Suunnitteluvaihe pystyttiin poistamaan kokonaan sillä pohjatyö toimi samalla suunnitteluna ja antoi ohjenuoran sille, kuinka työtä tulisi lähteä toteuttamaan.

Suorittamalla ensin tarkka pohjatyö laadittavalle materiaalille voitiin samaa alkumateriaalia käyttää useassa eri kohteessa vain pienin muutoksin. Pohjatyöhön kuului muun muassa sähkötekniikkaan liittyvän kirjallisuuden tutkimista, yrityksen sisäisten materiaalien opiskelua ja relesuojauksen teoriaan perehtymistä. Pohjatyössäni tutustuin myös koestuspöytäkirjoihin, huoltoraportteihin, sähkö-

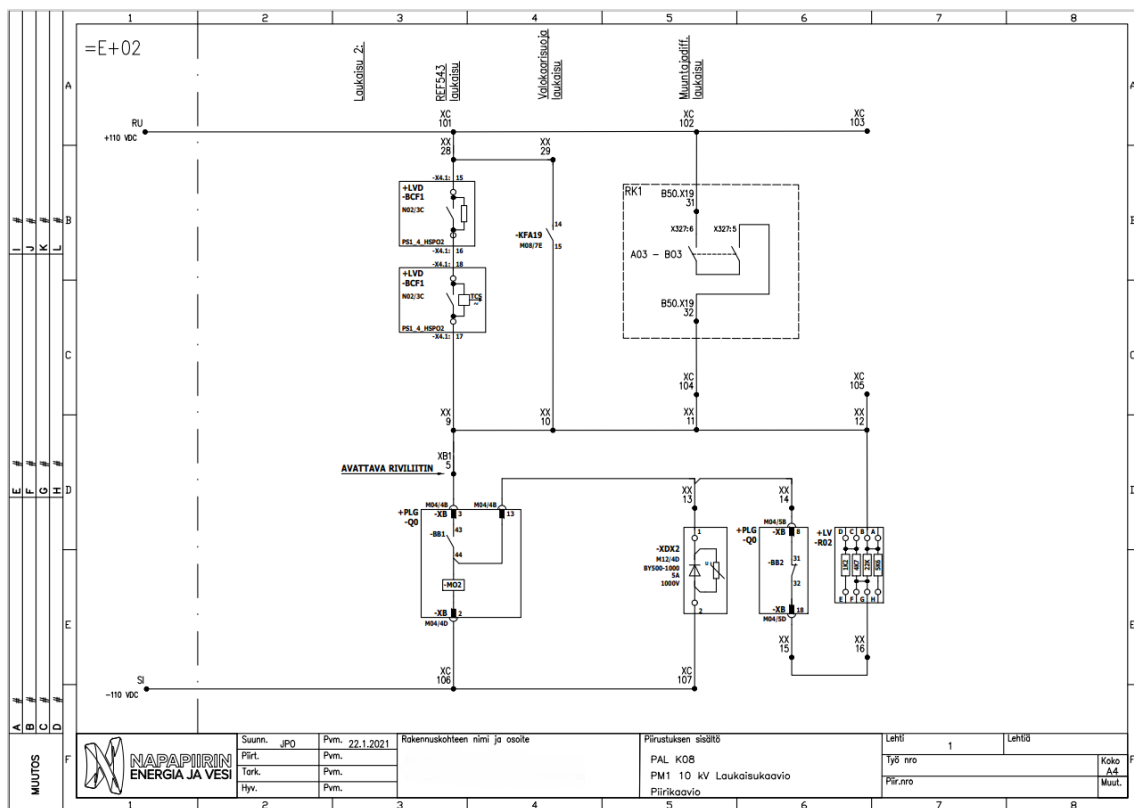
aseman kunnossapidon perusteisiin sekä opinnäytetyöhön liittyviin standardeihin että lakiteksteihin. Pohjatyössä tutustuin myös edelliseen dokumentaatioon, piirikaavioihin, johdotustaulukoihin sekä muihin kaavioihin, jotta sain kuvan siitä, mitä oli olemassa sekä mitä puuttuu. Laadin näistä itselleni listan, jotta pystyin toteutusvaiheessa palaamaan nopeasti haluamaani dokumenttiin.

Toteutuksessa kaikki havaitut puutteet kirjattiin ylös mutta niitä ei välittömästi muokattu työhön, sillä työn laajuuden takia oli mahdollista eri versioiden syntyminen, mikä johtaa epäjärjestelmälliseen dokumentaatioon. Valmiit dokumentit arkistoiitiin omaan kansioonsa päivättyinä ja järjesteltynä siten, että pystyttiin tunnistamaan tuoreimmat versiot. Versionhallinta oli erittäin tärkeää, sillä jos uusin versio pääsi katoamaan tai siihen tehtiin peruuttamattomia muutoksia, voitiin nostaa arkistoiduista versioista viimeisin ja jatkaa työstämistä siitä.

Ylläpito käsitti dokumenttien katselmoinnin ja oikeellisuuden varmistuksen kohteen kanssa. Ylläpito astui vaiheena mukaan projektin loppupuolella ja sen aikana käytiin läpi aikaansaadut dokumentit asiantuntijan kanssa ja merkittiin puutteelliset kohdat. Ylläpidon jälkeen palattiin takaisin toteutusvaiheeseen, jolloin korjattiin toteutuksen sekä dokumentaation katselmoinnin aikana huomautetut virheet ja puutteet. Opinnäytetyön loppuvaihe olikin syklinen kierre toteutus- ja ylläpitovaiheiden välillä, jolloin viimeisteltiin dokumentaatio yrityksen käyttöön.

7 LOPPUTULOKSET

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tuotettua Palkisentien sähköaseman 110 kV:n osuuden dokumentaatio kokonaisuudessaan sellaisena kuin toimeksiantaja sen oli tilannut. Opinnäytetyön ansiosta pystyttiin parantamaan sähköaseman käyttöastetta tuottamalla sinne ajantasaiset piirikaaviot, johdotustaulukot, laukaisu- ja lukituskaaviot sekä muut sähköaseman käyttöön liittyvät dokumentit. Esimerkkinä tuotetusta materiaalista on annettu alla oleva kuva 18, jossa näkyy päämuuntaja 1:sen 10 kV:n puolen katkaisijan laukaisukaavio. Muu materiaali on esitettyä opinnäytetyön liitteissä.



KUVA 18. K08 10 kV kennon laukaisukaavio

Tulevaisuutta ajatellen olisi hyvä selvittää sähköaseman kaukokäyttöjärjestelmän ohjaukset, tilatiedot ja mittaukset sekä tuottaa niistä samanlainen päivitetty dokumentaatio. Nykyisellään kaukokäyttöjärjestelmän dokumentaatio sisältää vanhentunutta tietoa.

8 POHDINTA

Lähtökohta työlleni oli haastava. Tämä tiedostettiin onneksi hyvin ja sen vuoksi minä itse ja ohjaajani teimme paljon töitä opinnäytetyön käynnistämiseksi.

Työssäni ilmeni etenemisen aikana sellaisia haasteita, ettei hyvien piirrosten tunnuspiirteitä pystytty täysimittaisena toteuttamaan. Kuitenkin pyrin esittämään kyseiset piirit mahdollisimman selkeästi sekä kommentoin kuvia teksteillä auttaakseni lukijaa. Jotta sähköaseman dokumenteista saataisiin viimeisimpien standardien mukaiset, jouduttaisiin relesuojaukseen tekemään suuria muutoksia, joissa purettaisiin vanhoja johdotuksia, apureleitä sekä muita komponentteja ja laadittaisiin johdotukset uudestaan. Nykyisellään sähköasema on toimintakuntoinen ja sähkötekniisesti turvallinen, mutta ei kuitenkaan palvele täysin toimeksiantajaa ja työni on ollut yksi askel eteenpäin sähköaseman parantamistoimenpiteissä. Nyt laadittujen dokumenttien perusteella voidaan suunnitella sähköaseman parannustoimenpiteitä kattavammin ja tunnistetaan ongelmakohtat paremmin.

Työni aikana minulla oli käytössä suuri määrä lähtömateriaalia kuten vanhoja piirikaavioita, käsin piirrettyjä kuvia sekä relekaappien läpikäytyjä johdotustaulukoita. Näiden avulla päästiin nopeaan alkuun itse suunnittelussa, kun ei tarvinnut käyttää aikaa johdotuksien selvittelyyn. Työtä hidasti kuitenkin vanhojen piirikaavioiden vajavaisuus ja useasti ainoat johtolankani olivat läpikäytyt johdotustaulukot sekä toimilaitteiden valmistajilta löytyvät käyttöohjeet. Työ vaati runsaasti kykyä hahmottaa laitteiden toimintaperiaatteita ja niistä koostuvia kokonaisuuksia, jotta suunnittelutyössä tapahtuvilta virheiltiltä vältyttäisiin. Monesti jouduin konsultoimaan esimiestäni sekä muutamaan otteeseen sähköaseman historiaa tuntevaa asentajaa, jotta jokainen epäkohta saataisiin selvitettyä.

Työni oli kuitenkin kokonaisuudessaan erittäin opettavainen ja havainnollistava katsaus sähköaseman toisiosuunnitteluun sekä relesuojaukseen. Opinnäytetyöni tulokset on jalkautettu yrityksen käyttöön onnistuneesti ja opin matkan varrella paljon alan tietoutta esimiehiltäni sekä asentajilta. Tärkeintä on, että opinnäytetyön lopputulos on saavutettu ja että opinnäytetyöstäni on hyötyä tilaajalleen. Opinnäytetyöni palvelee myös minua itseäni tulevaisuudessa työelämässä.

LÄHTEET

1. Rovaniemen Verkkö Oy 2021. Tietoa meistä. Hakupäivä 4.1.2021.
<https://www.neve.fi/asukkaalle-tuotteet/sahko.html>
2. Tynkkynen, Jari 2015. Neve aikoo kasvaa ja investoida. Hakupäivä 15.1.2021.
<https://yle.fi/uutiset/3-8346993>
3. Napapiirin Energia ja Vesi Oy 2021. Tietoa meistä. Hakupäivä 4.1.2021.
<https://www.neve.fi/tietoa-meista/neve>
4. Niemelä, Niina 2020. Enontekiön kunta myy sähköyhtiönsä Napapiirin Energialle ja Vedelle sekä OP- henkivakuutukselle 8,7 miljoonalla – kauppa toteutuu ensi vuonna. Hakupäivä 15.1.2021. <https://www.lapinkansa.fi/enontekion-kunta-myy-sahkoyhti-onsa-napapiirin-ener/3158097>
5. Jylhä, Mikko 1991. Energiaa kaupungin kehitykseen. Rovaniemen energialaitos 1913-1991. Kustantaja Rovaniemen Energia Oy.
6. Jylhä, Mikko & Torkko, Markku 2013. Sata vuotta Rovaniemen energiaa 1913 – 2013. Kustantaja Rovaniemen Energia Oy.
7. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot II – Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
8. ABB Oy Medium Voltage Products 2010. P202 MV Protection Relay Applications. Sisäinen lähde.
9. Fingrid Oyj 2021. Kantaverkon ja asiakasliityntöjen relesuojaus. Hakupäivä 11.3.2021. https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/sahkomarkkinainformaatio/kantaverkon-ja-asiakasliityntojen-relesuojausohje_final.pdf

10. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. Hakupäivä 21.1.2021.
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>
11. Pylväinen, Jani 2013. Relesuojauksen kehitys johto- ja moottorisuojauksessa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 21.1.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63211/Insinöörityö_Jani_Pylvainen.pdf?sequence=1
12. Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot I – Järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta. Helsinki: Otatieto.
13. Fingrid Oyj 2021. Suomen sähköjärjestelmä. Hakupäivä 9.2.2021.
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>
14. Lakervi, Erkki & Partanen, Jarmo 2008. Sähköjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
15. ABB TTT- käsikirja 2000 – 07. Luku 13. Sähköasemat, kojeistot ja muuntamot. Helsinki: ABB Oy.
16. Peltomaa, Toni 2006. Piirrosmerkkikirjastojen luominen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 17.2.2021.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9871/TMP.objres.588.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
17. SFS 6001:2018. 2018. Suurjänniteasennukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

(LIITTEET POISTETTU JULKISESTA VERSIOSTA)