

Juho Suutari

20 KV:N ILMAJOHTOVERKON RAKENTAMINEN

20 KV:N ILMAJOHTOVERKON RAKENTAMINEN

Juho Suutari
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, sähkövoimatekniikka

Tekijä: Juho Suutari
Opinnäytetyön nimi: 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentaminen
Työn ohjaajat: Heikki Kurki (OAMK), Olli Aikio ja Merja Pirilä (OEU)
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018
Sivumäärä: 53 + 1 liite

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Oulun Energia Urakointi Oy:n infrarakentamisen yksikölle ajankäyttöä tehostava ohje 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamisesta. Ohjeen tarkoitus on nopeuttaa työnjohtajien projektien työsuunnittelu-prosessia ja toimia sähköverkkoasentajille asennusohjeena. Työ tehtiin Oulun Energia Urakointi Oy:n toiveesta heidän tarpeiden mukaisesti.

Työ aloitettiin tutustumalla HeadPower Oy:n materiaaleihin. Materiaaleista valittiin toimeksiantajan työtehtävien kannalta tärkeimmät 20 kV:n ilmajohtoverkoon liittyvät rakennekuvat. Valittujen rakennekuvien pohjalta niille tehtiin tarvikeluettelot Excel -ohjelmalla. Varsinainen ohje tehtiin Word -ohjelmaa käyttäen. Tarvikeluetteloista ja rakennekuvista muodostettiin omia yksilöllisiä rakenteita, joiden pohjalta ohjeen sivut tehtiin. Valmiit rakenteet jaettiin niiden sisällön mukaan omiin kokonaisuuksiin ja niille tehtiin sisällysluettelot. Sisällysluetteloitten yhteyteen ja ohjeen alkuun lisättiin asentamisen kannalta tärkeää teoriaa. Valmis ohje muutettiin PDF-tiedostomuotoon. Lopuksi rakennekuvat liitettiin valmiiseen rakentamisohjeeseen Adobe Acrobat X Pro -ohjelmalla.

Valmis yli 300-sivuinen rakentamisohje kattaa nykypäivänä yleisimmät Suomen 20 kV:n ilmajohtoverkossa käytettävät rakenteet. Rakenteet on jaettu ilmajohtoihin, pylväsmuuntamoihin, orsirakenteisiin, erotinrakenteisiin, pylväs- ja tukirakenteisiin sekä suojaus-, maadoitus- ja lisärakenteisiin. Rakenteiden lisäksi rakentamisohje sisältää yleisimmät ilmajohtojen etäisyysvaatimukset, käyttöönttomittaukset ja merkinnät.

Opinnäytetyö on luonteeltaan tutkimuspohjainen kehitystyö. Opinnäytetyössä käytetty aineisto ja tieto perustuvat SFS-standardien ja verkostosuosituksien lisäksi yhtiöiden materiaaleihin, oppikirjoihin ja keskusteluihin alan ammattilaisten kanssa. Teoriaosuudessa käsitellään valmiin rakentamisohjeen sisältöä. Opinnäytetyön kolmannessa kappaleessa keskitytään 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamiseen ja sen kannalta tärkeisiin perusteisiin. Opinnäytetyön ulkopuolelle on jätetty ilmajohtoverkkoa koskevat suunnittelu- ja mitoitusyöt.

Asiasanat: ilmajohto, ilmajohtoverkko, kilovoltti, ohje, rakentamisohje, rakentaminen

ABSTRACT

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

Author: Juho Suutari

Title of thesis: Construction of 20 kV Overhead Power Line Network

Supervisors: Heikki Kurki (OAMK), Olli Aikio and Merja Pirilä (OEU)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 53 + 1 appendix

The objective of this thesis was to make a time-saving construction guide of 20 kV overhead power line network for the infrastructure construction unit of Oulun Energia Urakointi Oy. The purpose of this guide is to speed up the planning process of project managers and act as a construction manual for electricians.

The first step of making the construction guide was to get acquainted with the materials of the HeadPower Oy. The most important structural drawings related to the subject were chosen from the materials for the client. Equipment catalogs were made for selected structural drawings by using the Excel program. The actual guide was made by using the Word Program. The pages of the guide were made from individual structures, which were formed from the equipment catalog and the structural drawings. The finished structures were divided into their own units according to their contents and they were provided with tables of contents. An important theory of installation was added to the tables of contents and to the beginning of the guide. The completed guide was converted to a PDF file format. Finally, the structural drawings were added to the completed guide by using the Adobe Acrobat X Pro program.

The completed construction guide covers the most common structures used in the Finnish 20 kV overhead power line network. The structures are divided into the overhead cables, pole-mounted distribution transformers, crossarm structures, disconnector structures, pole and support structures as well as protection, earthing and accessory structures. The guide includes also the most common distance requirements, commissioning measurements and markings.

The nature of this thesis is a research-based development work. The material and information used in the thesis are based not only on the SFS-standards and recommendations, but also on company materials, textbooks and discussions with professionals in the field. The theoretical part of the thesis deals with the content of the completed construction guide. Thesis focuses only on the construction work of the subject, so design work has been excluded from the thesis.

Keywords: construction, guide, kilovolt, line, network, overhead, power

ALKULAUSE

Haluan kiittää Oulun Energia Urakointi Oy:tä mielenkiintoisesta opinnäytetyöaiheesta. Suuri kiitos Heikki Kurjelle, Olli Aikiolle ja Merja Pirilälle opinnäytetyön ohjaamisesta. Kiitos myös lopulle Oulun Energia Urakointi Oy:n henkilökunnalle ja Oulun ammattikorkeakoulun opettajille, jotka auttoivat minua opinnäytetyön parissa.

Lopuksi lämpimät kiitokset perheelleni ja ystäväilleni kaikesta saamastani tuesta ja kannustuksesta opintojeni aikana.

Oulussa 22.4.2018

Juho Suutari

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
SANASTO	8
1 JOHDANTO	9
2 SUOMEN SÄHKÖVERKKO	11
2.1 Sähköverkon jännitetasot	11
2.2 Sähkön siirto- ja jakeluverkot	11
2.3 Siirto- ja jakeluverkkojen rakenteet	13
3 20 KV:N ILMAJOHTOVERKKO	15
3.1 20 kV:n ilmajohdot	15
3.1.1 Avojohto	15
3.1.2 PAS-johto	15
3.2 20 kV:n ilmajohtojen asentaminen	16
3.2.1 Johtimien vetäminen	16
3.2.2 Johtimien kiristäminen	16
3.2.3 Johtimien päättäminen	19
3.2.4 Johtimien kiinnittäminen	19
3.2.5 Johtimien jatkaminen	19
3.3 Ilmajohtojen maadoitukset	20
3.4 Ilmajohtojen suojalaitteet	21
3.5 Ilmajohtojen merkinnät	26
3.6 Orsirakenteet	26
3.6.1 Orsien asennus- ja lisätarvikkeet	27
3.6.2 Erilaisia orsirakenteita	28
3.7 Pylväsrakenteet	30
3.7.1 Pylväsmateriaalit	31
3.7.2 Pylväsrakenteiden asentaminen	31
3.7.3 Erilaisia pylväsrakenteita	32
3.8 Harusrakenteet	34

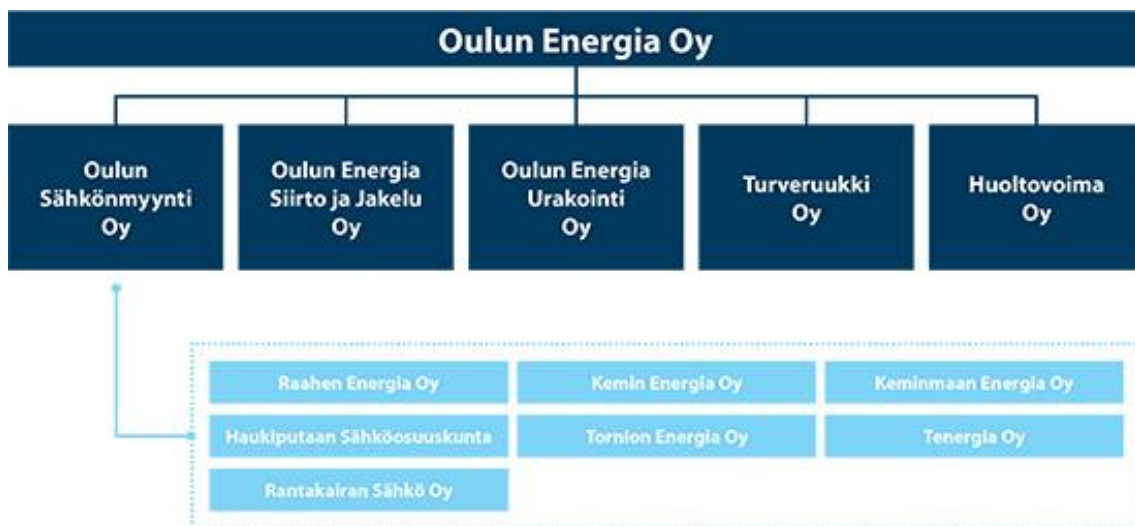
3.8.1 Harusköysi	34
3.8.2 Harusankkurirakenteet	34
3.8.3 Haruksen suojamaadoitus ja eristys	35
3.8.4 Haruksen kiinnittäminen	35
3.8.5 Haruksen merkintä	36
3.8.6 Harusvirta	36
3.9 Erotinrakenteet	36
3.9.1 JT-erotuskohdat	37
3.9.2 Käsiohjatut pylväserottimet	38
3.9.3 Kauko-ohjatut pylväserottimet	38
3.9.4 Pylväserottimien maadoitukset	39
3.9.5 Pylväserottimien merkinnät	40
3.10 Pylväsmuuntamot	40
3.10.1 Pylväsmuuntamoiden rakenne	41
3.10.2 Pylväsmuuntamoiden maadoitukset	42
3.10.3 Pylväsmuuntamoiden suojaukset	42
3.10.4 Pylväsmuuntamoiden merkinnät	43
3.11 Ilmajohtoverkon käyttöönotto- ja varmennustarkastus	43
4 20 KV:N ILMAJOHTOVERKON RAKENTAMISOHJE	45
4.1 Ohjeen sisältö	45
4.2 Ohjeen rakenne	45
4.3 Ohjeen laadinta	46
5 YHTEENVETO	48
LÄHTEET	50
LIITE	
Liite 1 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamisohjeen malli	

SANASTO

I-pylväs	Pylväs rakenne, joka muodostuu yhdestä pystypylvästä
II-pylväs	Pylväs rakenne, joka muodostuu kahdesta pystypylvästä
AAC	All Aluminium Conductor; kokonaan alumiinilangoista valmistettu päällystämätön avojohdon johdin
ACSR	Aluminium Conductor Steel Reinforced; terässydämellä vahvistettu alumiinilangoista valmistettu päällystämätön avojohdon johdin
BLL-T, SAX-W	PAS-johdintia rakenteeltaan vastaavia muovipäällysteisiä alumiiniseosjohdintia
JT	Jännitetyö; työtä, jossa työn tekijä tarkoituksellisesti koskettaa virtapiiriin jännitteistä osaa tai ulottuu sen jännite-työalueelle
PAS	Päällystetty Avojohto Suurjännitteelle; käytetty yleisnimitys päällystetyille ilmajohtolle ja samalla suomalaisvalmisteisen metallilivapattoman muovipäällysteisen alumiiniseosjohtimen tuotenimi
PEX	Cross-linked polyethylene; valmistusprosessin aikana ristisilloitettua PE-muovia eli polyeteeniä
PJ, KJ, SJ	Pienjännite, keskijännite ja suurjännite; sähköverkossa käytettyjen jännitetasojen lyhenteitä

1 JOHDANTO

Oulun Energia Urakointi Oy on yksi Oulun Energia Oy:n tytäryhtiöistä, jonka tehtäviin kuuluvat sähköverkkualan erilaiset työt, kuten esimerkiksi sähköverkon urakointi- ja ylläpitopalvelut. Emoyhtiö Oulun Energia Oy on kokonaan Oulun kaupungin omistuksessa. Emoyhtiö omistaa puolestaan kaikki tytäryhtiönsä lukuun ottamatta Oulun Sähkönmyynti Oy:tä, jonka omistus on jaettu usean pohjoissuomalaisen energiayhtiön kanssa. Koko Oulun Energia -konserni muodostaa yhden yhtenäisen energia-alan kokonaisuuden, jonka koko organisaatio nähdään kuvasta 1. (1; 2.)



KUVA 1. Oulun Energia -konserni (1)

Oulun Energia Urakointi Oy rakentaa sähköjakeluverkkoa maakaapeliverkkona asiakkaiden vaatimuksien mukaisesti. Lisäksi toteutetaan satunnaisesti ilmajohtoverkon uudisrakentamista, huolto- ja kunnossapitotoimia sekä vikakorjauksia. Ilmajohtoverkkoon kohdistuvien töiden satunnaisuuden vuoksi toimeksiantajalle korostuu töihin liittyvän tehokkaan ajankäytön tärkeys.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Oulun Energia Urakointi Oy:n infrarakentamisen yksikölle ajankäyttöä tehostava ohje 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamisesta. Toimeksiantajan käytössä olevat ilmajohtoverkon rakentamista käsittelevät ohjemateriaalit on jaettu omiin pieniin osiin, jotka hidastavat tiedon etsintää. Toimeksiantajan toiveesta nämä materiaalit käytiin läpi ja heidän työtehtävien

kannalta tärkeimmät asiat koottiin yhteen tiiviiseen ohjepakettiin. Valmiin ohjeen tarkoituksena on nopeuttaa työnjohtajien projektien työsuunnitteluprosessia ja toimia sähköverkoasentajille asennusohjeena. Työ tehtiin Oulun Energia Urakointi Oy:n toiveesta ja pohjautuen tarpeeseen tehostaa ilmajohtoverkon rakentamiseen käytettävän työajan käyttöä.

Valmis rakentamisohje kattaa 20 kV:n jännitetason yleisimmin käytettävät johtotyypit, pylväsmuuntamot, orsirakenteet, erotinrakenteet, pylvä- ja tukirakenteet sekä suojaus-, maadoitus- ja lisärakenteet. Näiden lisäksi ohjeeseen on sisällytetty yleisimmät etäisyysvaatimukset, käyttöönottomittaukset ja merkinnät. Ohjeen ulkopuolelle on jätetty 20 kV:n ilmajohtoverkon yhteyteen rakennettavat verkon osat ja sähköasemien sisäpuoliset osat esimerkiksi reletoimiset suojauslaitteet.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään valmiin rakentamisohjeen sisältöä. Ohjeen sisältö käydään läpi loogisessa järjestyksessä johdattelemalla aiheesta seuraavaan, mikä helpottaa kokonaisuuden hahmottamista. Opinnäytetyön kolmannessa kappaleessa keskitytään 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamiseen ja sen kannalta tärkeisiin perusteisiin. Opinnäytetyön ulkopuolelle on jätetty ilmajohtoverkkoa koskevat suunnittelu- ja mitoitus-työt.

2 SUOMEN SÄHKÖVERKKO

Suomen sähköverkko muodostuu monien eri toimijoiden ylläpitämistä sähkön siirto- ja jakeluverkoista, joiden tehtävänä on siirtää voimalaitoksissa tuotettu sähkö eri sähkökuluttajille (3, s. 1). Suomen sähköverkko kuuluu myös yhteis-pohjoismaiseen sähköjärjestelmään Itä-Tanskan, Norjan ja Ruotsin kanssa. Lisäksi Suomella on tasasähköyhteydet Venäjän ja Viron kanssa, jolloin koko pohjoismainen sähköjärjestelmä on yhteyksissä Baltian ja Venäjän voimajärjes-telmiin. (4.)

2.1 Sähköverkon jännitetasot

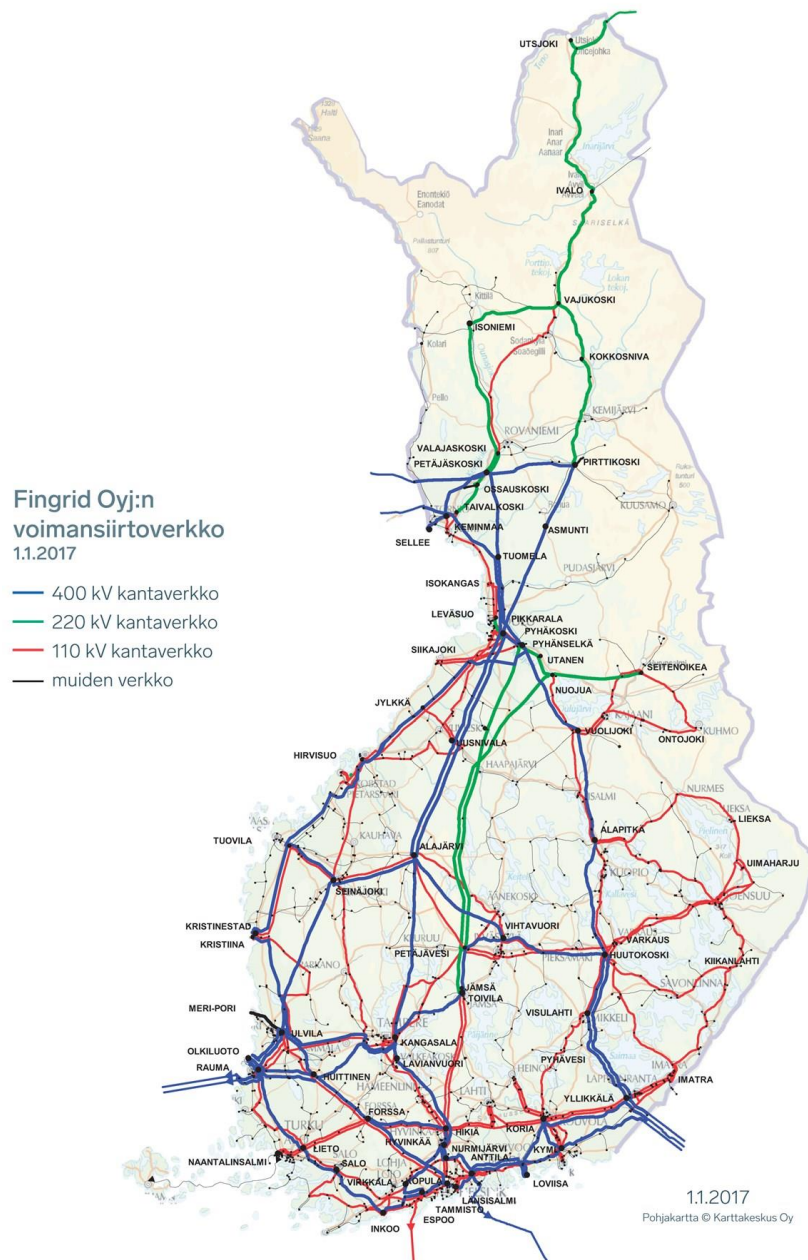
Sähköalan standardeissa sähkölaitteistojen jännitetasot jaetaan normaalisti nimellisjännitteen perusteella pienois-, pien- ja suurjännitteisiin. Pienoisjännite ei normaalisti ylitä 50 V:n vaihtojännitettä tai 120 V:n tasajännitettä. Pienjännite ylittää pienoisjännitteen mutta ei normaalisti ylitä 1 kV:n vaihtojännitettä tai 1,5 kV:n tasajännitettä. Suurjännitteeksi luokitellaan kaikki pienjännitteen ylittävät vaihto- ja tasajännitteet. (5, s. 15.)

Sähköverkon jännitetasot jaetaan useiden eri yli 1 kV:n jännitetasojen toisistaan erottamisen vuoksi pien- keski- ja suurjännitteisiin. Pienjännitteeksi (PJ) luokitel-laan normaalisti ≤ 1 kV:n jännitteet, keskijännitteeksi (KJ) 10 - 70 kV:n jännitteet sekä suurjännitteeksi (SJ) 110 - 400 kV:n jännitteet. Tämä on otettu huomioon uusimmissa standardeissa. Keski- ja suurjännitteen rajoissa voi esiintyä vaihte-lua. (5, s. 7; 6.)

2.2 Sähkön siirto- ja jakeluverkot

Suomessa siirtoverkkoihin luokitellaan johdot, joiden jännitetaso on normaalisti 110 - 400 kV. Jännitetasoltaan 110 kV:n tärkeimmät johdot sekä 220 ja 400 kV:n johdot muodostavat yhdessä valtakunnallisen kantaverkon. (3, s. 1.) Kantaverkko on koko maan kattava runkoverkko, joka yhdistää alueelliset jakeluverkot, suuret voimalaitokset, sähköasemat sekä tehtaat. Kantaverkon laajuus koko Suomessa nähdään kuvasta 2. Suomen kantaverkkoon kuuluu voimajohtoja yli 14 600 km, sähköasemia melkein 120 ja sähkönsiirron vakavissa häiriötilanteissa tarvittavia

varavoimalaitoksia. Suomen kantaverkkoa hallinnoi ja ylläpitää Fingrid Oyj. (4; 7; 8, s. 3.)



KUVA 2. Fingrid Oyj:n voimansiirtoverkko eli Suomen kantaverkko (7)

Suomessa jakeluverkkoihin luetellaan johdot, joiden jännitetaso on 0,4 - 70 kV sekä kantaverkkoon kuulumattomat 110 kV:n johdot. Jakeluverkot voidaan vielä jakaa jännitetason perusteella pienjännitteisiin jakeluverkkoihin (0,4 - 1 kV), keskijännitteisiin jakeluverkkoihin (10 - 70 kV) sekä suurjännitteisiin jakeluverkkoihin

eli alueverkkoihin (110 kV). Keskijännitteinen jakeluverkko voi olla yhteydessä kantaverkkoon suoraan tai suurjännitteisen jakeluverkon kautta. (6.)

Suomen jakeluverkkoja hallinnoivat ja ylläpitävät paikalliset sähköyhtiöt. Sähköyhtiöitä kutsutaan hallitsemansa keski- tai suurjännitejakeluverkon perusteella alue- tai jakeluverkonhaltijoiksi. Joillakin jakeluverkonhaltijoilla on hallinnassaan keskijännitejakeluverkon lisäksi suurjännitejakeluverkkoa. Suomen jakeluverkon kokonaispituus on noin 397 500 km ja siihen kuuluu noin 242 800 km pienjänniteverkkoa, 145 800 km keskijänniteverkkoa ja 8 900 km suurjänniteverkkoa. (9; 10.)

2.3 Siirto- ja jakeluverkkojen rakenteet

Siirto- ja jakeluverkoissa sähköenergia siirtyy normaalisti ilmajohtojen ja maakaapelien välityksellä. Ilmajohdot ripustetaan pylväisiin kiinnikkeiden varaan ja maakaapelit asennetaan maahan kaivamalla tai auraamalla. (3, s. 5; 11, s. 12.)

Sähkön siirron ja jakelun kokonaiskustannuksista noin puolet muodostuu sähköverkon uudisrakentamisen sekä ylläpidon kustannuksista. Rakenteiden valintaan vaikuttavat myös käyttötekniset ja ympäristölliset tekijät. Käytettyjen rakenteiden valinnoilla on suuri vaikutus sähkön jakamisen taloudellisuuteen ja luotettavuuteen, sähkönlaatuun sekä ympäristöön ja sen ulkonäköön. (11, s.13; 12, s. 2 - 3.)

Siirrettäessä suuria sähkötehoja pitkillä etäisyyksillä on edullisempaa käyttää korkeita siirtojännitteitä. Käyttämällä korkeampaa jännitettä voidaan siirtää suurempia tehoja samalla johdinpoikkipinnalla ja sähkövirralla sekä pienentää siirtohäviöitä. Mitä korkeampaa siirtojännitettä käytetään, sitä tarkemmat vaatimukset ilmajohto- ja maakaapeliverkoille asetetaan. Tarkemmat vaatimukset vaikuttavat sähkönjakeluverkon komponenttien tuotantoon aiheuttaen lisäkuluja muun muassa maakaapeleiden eristyksen valmistamiseen ja ilmajohtojen pylväsrakenteisiin. Jännitetasosta ja käytetyistä materiaaleista riippuen maakaapeliverkon rakenteiden kustannukset voivat olla huomattavasti suuremmat kuin ilmajohtoverkon rakenteiden. (11, s. 13; 13.)

Maakaapeliverkon rakentaminen on myös kalliimpaa ilmajohtoverkkoon verrattuna. Maaperän laadusta riippuen maakaapeli täytyy aurata tai kaivaa maahan

koko sen matkalta vaadittuun syvyyteen sekä tehdä vaadittavat perustukset muille verkon rakenteille. Ilmajohtoverkossa vain pylväs- ja harusrakenteet kaivetaan maahan paikkakohtaisesti, jolloin maanrakentamisesta ei aiheudu muita kustannuksia. (11, s. 13; 14, s. 4 - 5; 15, s. 4.)

Toisin kuin maakaapeliverkko, ilmajohtoverkko on altis erilaisille sääilmiöille. Myrskyt, ukkonen sekä talvella tykkylumi aiheuttavat fyysisiä vahinkoja ja käyttöhäiriöitä ilmajohtoverkkoon. Ilmajohtoverkon johtoreitti täytyy pitää siistinä karsimalla aika ajoin puiden oksia ja tarvittaessa kaatamalla puita, jotka ovat johtoreitin sisäpuolella. Ilmajohtoverkon ylläpidon helpottamiseksi uudet ilmajohtot sijoitetaan useimmiten teiden varsille. Ilmajohtoverkon huolto- ja kunnossapito aiheuttavat suuria lisäkustannuksia sähköverkkoyhtiöille. Maakaapeliverkko on säävarma ja siihen kohdistuneet yksittäiset viat liittyvät yleensä maan kaivamiseen. Maakaapeliverkon rakentaminen on lisääntynyt sen elinkaaren aikaisen luotettavuuden sekä sähkömarkkinalain kiristyneiden vaatimuksien vuoksi koko maassa. (16; 17.)

Suomen kantaverkko on rakennettu pääosin ilmajohtoverkkona. Jakeluverkon suur- ja keskijänniteverkosta vielä valtaosa on rakennettu ilmajohtoverkkona ja pienjänniteverkosta noin puolet. Tämä voidaan todeta jakeluverkkoyhtiöiden vuonna 2016 antamien tietojen perusteella tehdystä taulukosta 1. (6, 10.)

TAULUKKO 1. Jakeluverkkojen pituudet ja maakaapelointien osuudet vuonna 2016 (10)

Jakeluverkot	Jakeluverkon pituus	Maakaapeloinnin osuus
Pienjännitejakeluverkot	242 791,6 km	44,5 %
Keskijännitejakeluverkot	145 812,3 km	22,5 %
Suurjännitejakeluverkot	8 845,7 km	2,9 %
Yhteensä	397 449,6 km	35,5 %

3 20 KV:N ILMAJOHTOVERKKO

Suomen keskijänniteverkossa käytetään tyypillisesti 20 kV:n jännitetasoa lukuun ottamatta kaupunkeja, joissa käytetään myös 10 kV:n jännitetasoa. 20 kV:n jännitetason käytöstä saavutettu hyöty kattaa sen rakentamisen lisäkustannukset verrattuna 10 kV:n jakeluverkon rakentamisen kustannuksiin. 20 kV:n jännitetaso mahdollistaa suurempien sähkötehojen siirron pisimmillään noin 30 km:n päähän ilman suurempia siirtohäviöitä. (18, s. 125.)

Ilmajohdoverkkojen osuus KJ-verkossa on pienentymässä maakaapeliverkkojen rakentamisen lisääntyessä. Ilmajohdoverkot kattavat silti suurimman osan Suomen KJ-verkoista ainakin haja-asutusalueilla ja se on edelleen yleisin jakeluverkkojen rakentamistapa. (11, s. 12.)

3.1 20 kV:n ilmajohdot

20 kV:n ilmajohdoverkossa käytetään avojohdota. *Avojohto* on erikoisnimitys ilmajohdolle, jonka jokainen johdin on erikseen kiinnitetty eristimeen tai muuhun kiinnikkeeseen. Avojohtot muodostuvat kolmesta erillisestä johtimesta ja niihin luokitellaan päällystämättömät avojohdot sekä muovipäällysteiset avojohdot eli PAS-johdot. (19, s. 250.)

3.1.1 Avojohto

Avojohtoilla tarkoitetaan tyypillisesti paljailla metallisilla johtimilla rakennettua johtoa. Johtimina käytetään nykyään yleensä joko terässäikeen ympärille kierrettyjä alumiinisäikeisiä ACSR-johtimia tai kokonaan kierretyistä alumiinisäikeistä valmistettuja AAC-johtimia. Teräsalumiinijohtimille on annettu eri poikkipinta-aloille vastaavat nimet, esimerkiksi Sparrow, Raven ja Pigeon. Alumiinijohtimet on nimetty suoraan poikkipinta-alan mukaan. (11, s. 164 - 165; 19, s. 278)

3.1.2 PAS-johto

20 kV:n ilmajohdon nykyään yleisin käytetty vaihtoehto on PAS-johto. Johtimet on valmistettu tiiviistä alumiiniseossäikeistä, jotka on päällystetty säänkestävällä PEX-muovilla. Päällystys ei ole käyttöeristystä varten, vaan sen tehtävä on estää

johtimien hetkellisen yhteen koskettamisen tai vieraan esineen koskettamisesta aiheutuneet häiriöt. Päälylystyksen avulla johdinväliä voidaan pienentää, mikä mahdollistaa kapeamman johtoreitin käytön sekä kahden erillisen PAS-johdon asentamisen samalle pylväälle. PAS-johtimet nimetään poikkipinta-alan mukaan. Suomalaisvalmisteisen PAS-johtimen lisäksi käytetään ruotsalaisia BLL-T ja italialaisia SAX-W -johtimia. Maastossa BLL-T -johdon erottaa sen vihreästä väristä, kun PAS ja SAX-W ovat väritään mustia. (11, s. 192; 18, s. 145.)

3.2 20 kV:n ilmajohtojen asentaminen

Ilmajohdot asennetaan pylväiden varaan niin korkealle, ettei niitä voi tahattomasti koskettaa. Ilmajojtojen asentamistapoja ja -menetelmiä sekä niihin käytettäviä asennustarvikkeita on useita erilaisia. Ilmajojtojen asentamisessa on noudatettava standardien mukaisia etäisyysvaatimuksia. PAS-johtojen asentamisessa sovelletaan avojohtojen asentamiseen käytettäviä menetelmiä. (11, s. 196 - 198; 20, s. 17 - 23.)

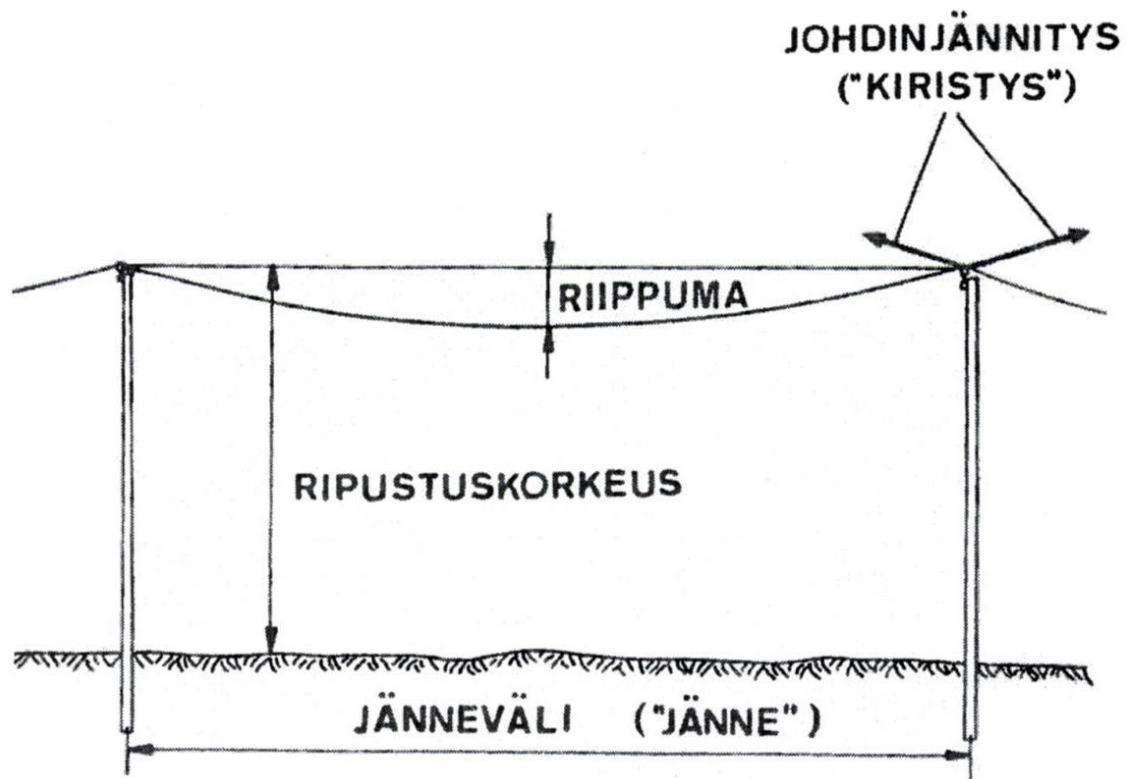
3.2.1 Johtimien vetäminen

Ilmajohdot vedetään kokonaan käsin tai koneellista apua käyttäen. Johtimet voidaan vetää asennettavalle matkalle maata pitkin, jonka jälkeen johtimet nostetaan valmiiksi pystytettyyn pylvääseen tai nostetaan ilmaan pylvään pystytyksen yhteydessä. Vaihtoehtoisesti johtimet vedetään suoraan valmiiksi pystytetyn pylvään orrelle johdinvetopyöriä sekä vetonaruja ja -köysiä käyttäen. Johtimet kiinnitetään vetonaruun tai -köyteen käyttämällä siihen soveltuvaa vetosukkaa. Johtimien koneellisessa vedossa käytetään muun muassa erilaisia vetokoneita ja kelauskoneita. (11, s. 174 - 178.)

3.2.2 Johtimien kiristäminen

Johtimet kiristetään yleensä yksi pylväsväli kerrallaan vetotaljoja ja -sammakoita käyttäen. Jos johtimien vetotyöhön liittyy useampia erillisiä veto-osuuksia, kiristykset tehdään työn etenemissuuntaisesti. Oikean kiristuksen aikaan saamiseksi asennettavalle johtimelle käytetään asennusköysivoimia tai asennusriippumia. Oikean kiristuksen valintaan vaikuttavat asennettava johdin, asennuslämpötila

sekä jänneväli. Johtimien kiristämisen kannalta tärkeimmät peruskäsitteet on esitetty kuvassa 3. (11, s. 179 - 180.)



KUVA 3. Johtimien kiristysten peruskäsitteet (muokattu 21, s. 4)

Kun valmis ilmajohtoverkko on rakennettu, sen johtimiin kohdistuu erilaisia ääri-ilmiöitä, esimerkiksi eri ulkolämpötilat suurten sähköisten kuormitusten aikana. Johtimet eivät saa murtua eivätkä niiden riippumat saa kasvaa niin suuriksi, että johtimien ja maan väliset minimietäisyydet alittuvat missään ennakoitavissa tilanteissa. Jotta nämä ehdot täyttyisivät ilmajohtojen koko elinkaaren ajan, johtimille on määriteltävä sen kiristystilanteille oikeat asennusköysivoimat ja -riippumat. (22, s. 272.)

Ilmajohdon johtimien köysivoimia ja riippumia laskettaessa lähtökohdaksi otetaan johtimen jännitys lämpötilassa 0 °C, jota kutsutaan nollasääjännitykseksi. Kun lämpötila poikkeaa asennushetkellä nollasääjännityksen lämpötilasta, köysivoimat muuttuvat. Köysivoimien laskennoissa otetaan huomioon johdinjännityksen kannalta tärkeimmät sää- ja kuormatilat (pakkanen, tuulikuorma ja jääkuorma). Riippumia laskettaessa otetaan huomioon helle, tuulikuorma ja jääkuorma sekä

johtimien kiinnitysväli. Sähköenergialiitto ry Sener on laatinut Verkostosuosituksen RJ 8:94, josta löytyvät valmiiksi lasketut asennusköysivoimataulukot ja -riippumataulukot yleisimmille ilmajohdoille ja johtimille. (11, s. 29; 23, s. 4.)

Asennustaulukoiden arvot on laskettu siten, että uusien johtimien nollasääjännitys saavutetaan säätilojen aiheuttamien virumien jälkeen. Uudestaan käytettävillä johtimilla on kiristystilanteen lämpötilaan lisättävä johdinmateriaalista riippuen oikeat lämpötilakorjausarvot, jotka on esitetty taulukossa 2. (23, s. 4.)

TAULUKKO 2. Lämpötilakorjausarvot uudelleen käytettäville johtimille (23, s. 4)

Johdinmateriaali	Lämpötilakorjausarvo
Al/Fe	+ 15 °C
AlMgSi/Fe	+ 10 °C
Al	+ 35 °C
AlSiMg (AMKA, PAS)	+ 25 °C
Teräs (SAXKA, puh.)	+ 0 °C

Johtimien oikean kiristuksen toteamiseen käytetään vetovoimamittausta tai riippumamittausta. Köysivoimien mittaukseen sopiva vetovoimamittari asennetaan vetotaljan ja -sammakon väliin. Vetotalja ankkuroidaan pylvään latvaan. Lopullinen kiristys suoritetaan vetämällä johdin ensin asennusolosuhteita alemmaa lämpötilaa vastaavaan kireyteen. Tämän jälkeen johdin löysätään vastaamaan oikean asennuslämpötilan kireyttä. (11, s. 180.)

Ilmajohdon kiristykselle saadaan parhain ulkonäkö mittaamalla ensimmäinen johdin oikeaan kireyteen vetovoimamittauksella, jonka jälkeen toiset johtimet asennetaan samanlaiseen riippumaan ensimmäisen johtimen kanssa. Riippuma voidaan tarkistaa käyttämällä paluuaaltomenetelmää, jolloin valmiiksi kiristettyä johdinta sekä kiristettävää johdinta lyödään yhtä aikaa. Tämän jälkeen lyönnin aiheuttamien aaltojen takaisinpaluuaikoja verrataan johdinten välillä. Jos aaltojen takaisinpaluuaika on sama, johtimilla on sama kiristys. Yhden ilmajohdon vetosuuden kiristämisen jälkeen johtimet ankkuroidaan väliaikaisesti johtimia ja pylviä vahingoittamatta (11, s. 180 - 181.)

3.2.3 Johtimien päättäminen

Uusi ilmajohto päätetään yleensä erilliselle päätepylväälle tai jo käytössä olevaan pylvääseen asennettavaan pääteorteen. Johtimien kiristyksessä on huomioitava, että johtimille jää riittävästi pituutta mahdollista kytkentää varten. Laitimmat johtimet on kiristettävä samanaikaisesti orren vinoon kiertymisen välttämiseksi. (11, s. 181.)

3.2.4 Johtimien kiinnittäminen

Ilmajohdon johtimien kiinnitys pitää olla sellainen, ettei se päästä johdinta luistamaan kiinnityksestään viereisen johtimen katkettua (20, s. 35). Johtimet eivät saa vioittua kiinnityksen asentamisessa tai käytössä (11, s. 181).

Johtimet kiinnitetään sitomalla ne tappi- ja tukieristimille tai kiinnittämällä ne suoraan vetoeristimien varaan kannatus- tai päätepitimelle. Suorilla johto-osuuksilla johtimet sidotaan eristimien huippu-uraan tai sivu-uraan pylvään puolelle. Lievissä kulmissa oleville johto-osuuksille johtimet sidotaan aina eristimien sivu-uraan ulkokulman puolelle. Johto-osuuksien jyrkissä kulmissa ja päätepeisteissä johtimia ei voi sitoa, vaan johtimet ripustetaan erillisille vetoeristimiin kiinnitetyille kulmakannatus- ja päätepitimille. (11, s.181.)

Johtimien sidontaan käytetään alumiinista valmistettua sidelankaa tai esijännitettyjä siteitä. Sidelangan käyttö on vähentynyt sen asentamisen hitauden ja vaaditun tarkkuuden vuoksi. Esijännitettyjen siteiden käyttö on nopeaa ja ne menevät helposti paikoilleen niiden muodon ansiosta. (11, s. 183 - 185.)

3.2.5 Johtimien jatkaminen

Johtimet jatketaan yleensä käyttämällä kiilajatkoksia. Jatkojen sisällä on hammastetut kiilat, jotka pysyvät paikoillaan jousien avulla. Jatkoksien asennus ei vaadi erikoistyökaluja, vaan pakkaukset sisältävät kaikki tarvikkeet asentamiseen johdintyyppistä riippuen. Jatkoksia ei saisi sijoittaa alle 3 metriä lähemmäksi toista jatkosta tai päätepidintä. Niitä ei saisi myöskään sijoittaa kohtiin, joissa jatkoksen peittämisestä voisi aiheutua välitöntä vaaraa, esimerkiksi teiden ylityksiin. (11, s. 186.)

3.3 Ilmajohtojen maadoitukset

Maadoitusten tarkoituksena on yhdistää laitteen tai virtapiirin osa maahan mahdollisimman luotettavasti ja tehokkaasti maadoituselektrodin välityksellä. Maadoituksen tehokkuuden mittausarvona käytetään maadoitusresistanssia. Maadoitusresistanssilla tarkoitetaan elektrodin potentiaalin ja sen kautta maahan kulkevan virran osamäärää. (19, s. 427.)

Maadoituselektrodi on maahan sähköisessä yhteydessä oleva johtava osa tai johtavien osien yhdistelmä. Maadoituselektrodeina käytetään maahan, veteen tai rakennuksien perustuksiin sijoitettuja metalliosia, esimerkiksi kiskoja, köysiä, tankoja ja putkia sekä niiden yhdistelmiä. Maadoituselektrodien jatkokset ja haaroitukset on tehtävä luotettavasti esimerkiksi puristamalla, hitsaamalla tai ruuviliitoksella. Maadoitusjohtimen tai köyden maahan upotettu paljas osa luokitellaan maadoituselektrodiksi. (11, s. 43; 24, s. 21.)

Maadoituselektrodeilta vaaditaan hyvä mekaaninen kestävyys ja korroosion vastustuskyky, joten elektrodien valmistusmateriaalina käytetään kuparia, ruostumatonta terästä tai kuumasinkittyä terästä. Jos erilaisista metalleista valmistettuja elektrodeja sijoitetaan lähelle toisiaan, on galvaanisesta korroosiosta johtuva metallien syöpyminen otettava huomioon esimerkiksi teräksisten harusrakenteiden kannalta. Tästä syystä kuumasinkityn teräksen käyttö maadoituselektrodien materiaalina on luovuttu sen suuren syöpymisvaaran vuoksi. Nykyisin maadoituselektrodien materiaalina suositetaan kuparia. (11, s. 43; 24, s. 110.)

Maadoitukset jaetaan niiden tarkoituksen mukaan käyttö- ja suojamaadoituksiin. Käyttömaadoittamisessa virtapiirin osa, esimerkiksi pienjännitteisen sähköjärjestelmän nollapiste, yhdistetään suoraan maahan tai pienen impedanssin välityksellä. Käyttömaadoittamisen tehtävä on pienentää jännite-epäsymmetriasta ja maavirrasta johtuvia heikkovirtalaitteistojen häiriöitä. Suojamaadoituksen tehtävä on estää vikatilanteissa syntyvien vaarallisten kosketusjännitteiden esiintyminen jännitteille alttiissa osissa. Kansainvälisissä standardeissa ja kansallisissa määräyksissä on annettu kosketusjännitteille sallitut enimmäisarvot. (19, s. 427.)

Ilmajohdoverkon maadoitusjärjestelmät koostuvat yleensä useista vaak- ja pysty- maadoituselektrodeista sekä niiden yhdistelmästä. Käytetty maadoituselektrodi- rakenne valitaan maan resistiivisyyden mukaan, johon vaikuttavat maan laatu ja kosteus. Vaakamaadoituselektrodit kaivetaan maahan 0,5 - 1 m:n syvyyteen maadoitettavasta kohteesta pois päin. Pysty- maadoituselektrodit upotetaan suo- raan maahan erityisesti tilanteissa, joissa maaperän resistiivisyys pienenee sy- vemmällä maassa. Tarvittaessa maadoituselektrodien vaikutusta voidaan tehos- taa yhdistämällä vaak- ja pysty- maadoituselektrodeja. (11, s. 44 - 45; 24, s. 101.)

Tavallisesti 20 kV:n ilmajohdoverkossa käytettäviä eristetystä materiaalista val- mistettuja pylväitä, esimerkiksi puupylväitä, ei tarvitse maadoittaa. Jos pylväässä ei ole mitään maahan johtavassa yhteydessä olevaa osaa, maasulku pylväällä on käytännössä mahdoton, joten maadoitukselle ei ole tarvetta. Pylvään maadoit- tamista pitää tarkastella yksityiskohtaisemmin pylväiden sijaintipaikoilla, joilla ihmiset voivat liikkua vapaasti ja oleskella pitkiä aikoja, kuten esimerkiksi asuin- alueilla ja pelikentillä. (22, s. 212.)

Sähköverkkoon liittyvissä työtehtävissä työmaadoittaminen on tärkeä turvalli- suustoimenpide. Työmaadoituksen tehtävä on estää vaarallisten jännitteiden pääsy työkohteisiin rakentamisen ja huoltamisen aikana. Työmaadoittamisessa virtapiirin normaalisti jännitteelliset osat maadoitetaan ja oikosuljetaan sähkötoi- den ajaksi. Kaikki suurjännitteiset laitteistot ja osat on työmaadoitettava käyttäen kiinteästi asennettuja työmaadoituslaitteita tai siirrettäviä työmaadoitusvälineitä. Varsinkin PAS-johdot tulee niiden eristetyn rakenteen vuoksi varustaa erillisillä työmaadoituspisteillä enintään 3 km:n välein. Tämän lisäksi PAS-johtojen on ol- tava työmaadoitettavissa niiden päistä. (5; s. 24; 11, s. 201; 19, s. 427; 24, s. 70.)

3.4 Ilmajohdosten suojalaitteet

Ilmajohdoverkkoon syntyy vikoja esimerkiksi salamaniskuista, katkenneista pyl- väistä, rikkoontuneista kojeista, irronneista johtimista ja muista luonnonilmiöistä. Tyypillisimpiä sähköverkon vikoja ovat erilaiset oiko- ja maasulut ja ylijännitteet. Oikosulku syntyy silloin, kun sähköverkon johtimet joutuvat keskenään kosketuk- siin muodostaen johtavan yhteyden. Oikosulku aiheuttaa sähköverkkoon nimelli- seen kuormitusvirtaan nähden moninkertaisen oikosulkuvirran. Oikosulkuvirran

suuruuteen vaikuttavat johtimen poikkipinta-ala, syöttävän muuntajan ominaisuudet sekä vikapaikan etäisyys sähköasemaan nähden. Oikosulku voi olla kaksi- tai kolmivaiheinen. (11. s. 51; 19, s. 340.)

Maasulku syntyy silloin, kun sähköverkon johdin joutuu johtavaan yhteyteen maan tai maahan johtavan osan kanssa. Maasulku aiheuttaa maahan johtavan maasulkuvirran. Maasulkuvirran suuruuteen vaikuttaa vikaresistanssin lisäksi sähköverkon maadoituksen rakenne. Maadoitetussa sähköverkossa suuri maasulkuvirta aiheuttaa erilaisten vaarajännitteiden vuoksi vikapaikkaan ja sen ympäristöön hengenvaaran. Ilmajohdoverkossa maasulkuvirtaa voidaan pienentää yhdistämällä sähköverkon tähtipiste maahan sammutuskuristimella (sammutettu verkko) tai eristämällä tähtipiste kokonaan maasta (eristetty verkko). Sammutetussa verkossa kuristin kumoaa maasulkuvirtaa, jolloin maasulussa syntynyt valokaari sammuu yleensä itsestään. Eristetyssä verkossa kaksivaiheinen maasulku käyttäytyy oikosulun tavoin. Yksivaiheista maasulkua on vaikeampi havaita, koska yksivaiheinen maasulkuvirta on pienempi oikosulkuvirtaan nähden. Maasulussa aiheutunut valokaari voi aiheuttaa oikosulun. 20 kV:n ilmajohdoverkon oiko- ja maasulkusuojina käytetään sähköasemilla sijaitsevia katkaisijoita, joita ohjataan erilaisilla releillä esimerkiksi ylivirtareleillä, differentiaalireleillä, etäisyys- ja suuntareleillä. (11. s. 51 - 52; 19, s. 340 - 341.)

Salaman iskiessä ilmajohdtoon tai sen läheisyyteen, ilmajohdtoon indusoituu ylijännite, joka sytyttää valokaaren. Ylijännitteen suuruus on suurin piirtein sama kaikissa ilmajohdon vaiheissa. Maan ja vaiheen välinen ylijännite voi olla jopa useiden satojen kilovolttien suuruinen. Salaman iskeytyminen suoraan ilmajohdtoon on harvinaista. Ylijännite purkautuu lähimmällä pylväällä 125 kV:n jännitelujuuden ylittyessä samalla sytyttäen valokaaren johtimen ja orren välille. Purkautumisen jälkeen sähköverkko syöttää valokaaresta aiheutuvaan oikosulkuun yleensä usean kiloampeerin suuruisen käyttötaajuisen oikosulkuvirran. Valokaari pyrkii etenemään sähkönsyöttösuuntaan päin. (11, s. 198.)

Sähköasemilla sijaitsevat sähköverkon suojalaitteet havaitsevat valokaarivian ja katkaisevat syötön johtojen suojaamiseksi yhtä nopeasti sekä paljalla avojoh-

doilla että PAS-johdoilla. Tavallisesti paljailla avojohdoilla ylijännitteen aiheuttama valokaari pääsee etenemään vapaasti, jolloin sähköasemilla sijaitsevat suojalaitteet toimivat nopeasti ja poistavat vian. Avojojohdoilla nopeasti etenevä valokaari ei ehdi kuumentaa johdinmateriaalia paikallisesti niin kuumaksi, että johdin palaisi poikki ennen kuin suojalaitteet katkaisevat syötön. PAS-johdoilla johtimien eristävä päällyste estää ylijännitteestä syttyvän valokaaren vapaan etenemisen. Ilman valokaarisuojausta valokaari palaisi paikallaan johtimen eristeen läpi vaurioittaen johdinsäikeitä. Ilmiö tapahtuu niin nopeasti, että se aiheuttaisi pahimmillaan johtimen poikkipalamisen ennen kuin sähköasemien suojalaitteet kerkeävät toimimaan suojatakseen johdinta. (11, s. 198.)

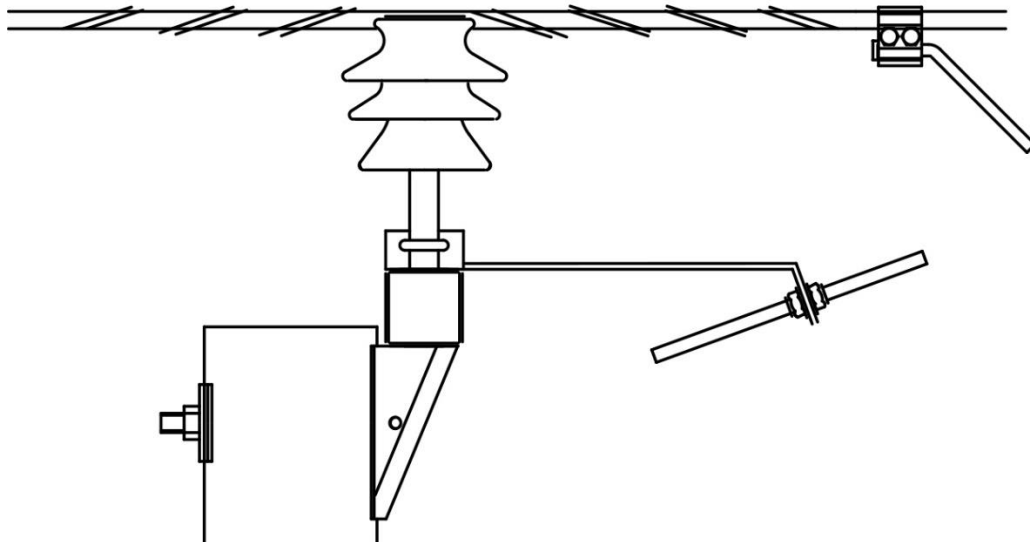
PAS-johtimet suojataan valokaarien aiheuttamilta vaurioilta asentamalla ilmajohtoverkkoon erillisiä valokaarisuojia. Suojien tehtävänä on toimia valokaarelle turvallisena purkautumisreittinä. Valokaarisuojat estävät PAS-johtimien vaurioitumisen samalla toimien myös suojana muille sähköverkon osille. Valokaarisuojat asennetaan ilmajohtoon paikkoihin, joissa ylijännitteen riski on todennäköisintä. Ylijännitteelle alttiita paikkoja ovat esimerkiksi pellot ja korkeat maastokohdat. Suojat on myös asennettava paikkoihin, joissa ihmiset oleskelevat ja liikkuvat. Näitä ovat esimerkiksi liikenneväylät, rakennukset, tontit sekä niiden välittömässä läheisyydessä olevat alueet. (11, s. 198.)

Valokaarisuojaus voidaan toteuttaa valokaarisuojalla, kipinävälisuojalla, virtaa rajoittavalla suojalla tai ylijännitesuojalla. Käytetyn suojan valinnassa joudutaan huomioimaan ilmajohtoverkon oikosulkuvirran arvon lisäksi suojauksen toiminnasta aiheutuva sähkönjakelun keskeytys, lintusuojaus, suojan vioittuminen sekä suojauksen hinta. Nykyisin suositellaan käytettäväksi joko kipinävälisuoja tai virtaa rajoittavaa suojaa. (11, s. 198.)

Yksinkertainen valokaarisuoja koostuu valokaarisuojaliittimestä, suojarvesta ja alumiinisidelangasta. Eristeen läpäisevän liittimen avulla suojararvi ja sidelangangan toinen pää kiinnitetään johtimeen suojararvi alaspäin sähkön syöttösuunnan puolelle. Sidelanka pyöritetään johtimen ympärille orren suuntaan ja päätetään kiertämällä eristimen kaulalle. Valokaarisuojat asennetaan jokaiselle johtimelle samaan suuntaan. Oikein asennettu valokaarisuoja ohjaa syttyvän valokaaren

etäälle itse johtimesta ja eristimestä. Valokaari syttyy orresta eristimen yli, jonka jälkeen se ohjautuu eristimen kaulalle kierretyn sidelangan kautta suojarveen. Suojarvellä valokaari ionisoi ympärillään olevan ilman ja syttyy uudelleen viereisen johtimen suojarvelle. Tämä aiheuttaa oikosulun ilmajohdon vaiheiden välillä, jolloin sähköasemalla sijaitsevat suojalaitteet toimivat ja sammuttavat valokaaret. Kipinävälisuoja käytetään yleensä kannatusorsilla. (11, s. 198 - 200.)

Pienillä oikosulkuvirroilla eristimen yli syttyvä valokaari liikkuu hitaasti rasittaen eristintä pitkään. Eristimen vaurioiden välttämiseksi valokaarisuojauksessa käytetään kipinävälisuoja. Kipinävälisuojaassa alumiinisidelangan sijasta orrelle asennetaan kipinäsarvi suojarven alapuolelle. Kipinävälisuojaat suositellaan asennettavan pois päin toisistaan viereiseen suojaan nähden. Oikein asennettu kipinävälisuoja ohjaa valokaaren kipinävälin yli sarvien välille. Tällöin oikosulku tapahtuu orren läpi ja sähköasemalla sijaitsevat suojalaitteet toimivat ja sammuttavat valokaaret. Kipinävälisuoja voidaan käyttää kannatusorsien lisäksi kulma-, pääte- ja kiristysorsilla. Esimerkki kipinävälisuojauksen rakenteesta on esitetty kuvassa 4. (11, s. 199.)

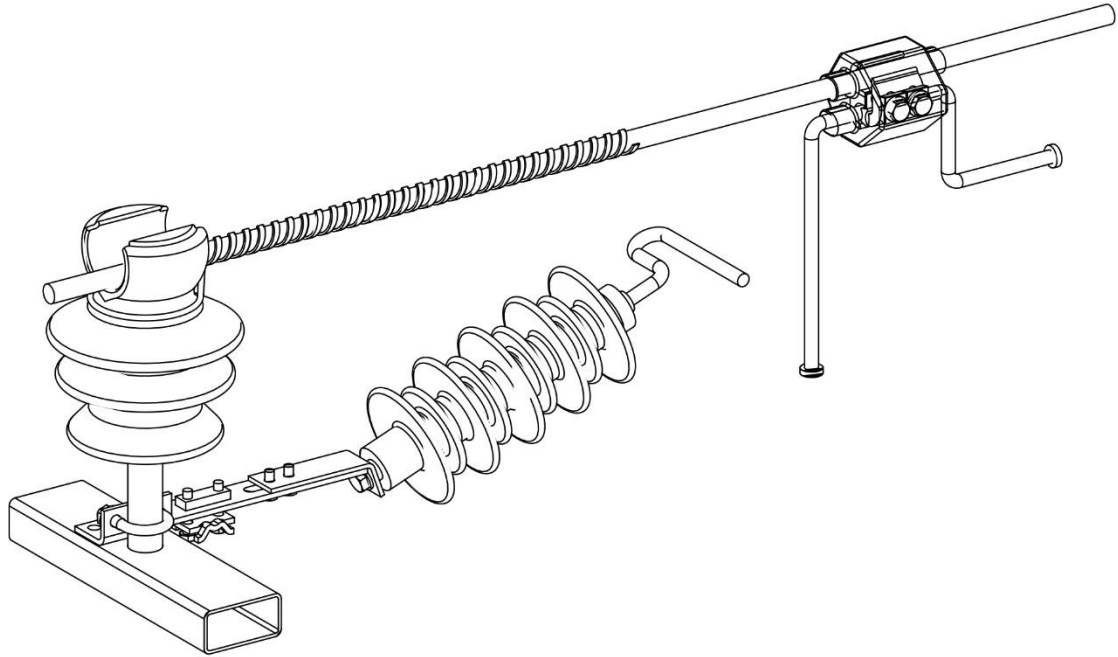


KUVA 4. Kipinävälisuoja tasokannatusorrella (muokattu 25, s. 18)

Ilmajohdon valokaarisuojaus voidaan toteuttaa vaihtoehtoisesti käyttämällä ylijännitesuojia. Ylijännitesuojien käytöllä päästään sähkönkuluttajien kannalta häiriöttömään sähkönjakeluun, sillä suojaus ei vaadi ylijännitteen purkamiseen

sähköasemien suojalaitteilta toimintaa. Suojan kanssa kosketuksiin tulevat linnut ja muut eläimet sekä oksat eivät laukaise suojausta. Suojilla ylijännite voidaan ohjata suojan kautta päästämättä käyttöjännitettä läpi. Ylijännitesuojalliset rakenteet täytyy aina maadoittaa. Ylijännitesuojia voidaan käyttää yksinään tai virtaa rajoittavan suojauksen yhteydessä. Pelkkien ylijännitesuojien käytöllä voidaan estää valokaarien syttyminen, joka nostattaa huomattavasti sähköverkon rakennuskustannuksia. Tätä ratkaisua käytetäänkin pääosin vain pylväsmuuntamoilla ja kaapelipäätepylväillä, jolloin paikallisten PAS-johtimien valokaarisuojaukselle ei tarvita muuta menetelmää. (11, s. 199.)

On edullisempaa käyttää ylijännitesuojaa virtaa rajoittavan suojauksen yhteydessä kuin pelkkää ylijännitesuojaa. Virtaa rajoittavassa suojauksessa ylijännitesuojan toinen pää jää ilmaan, jolloin sähköverkon käyttöjännite ei vaikuta sen ylitse. Tämä mahdollistaa pienemmän ja siten halvemmän ylijännitesuojan käytön. Virtaa rajoittava suojaus koostuu ylijännitesuojan lisäksi sen kiinnitystelineestä, valokaarisuojaliittimestä sekä suojarvesta. Suojarvi asennetaan johtimeen eristeen läpäisevällä liittimellä ja ylijännitesuoja orrelle telineen avulla. Suojat voidaan asentaa orren molemmille puolille sähköön syöttösuunnasta riippumatta. Orsi maadoitetaan kiinnitystelineen maadoitusliittimen avulla. Tämän lisäksi pylväällä pitää olla maadoituselektrodi, johon orren maadoitus yhdistetään. PAS-johtoon salaman iskusta syntynyt purkaus ohjautuu suojan kautta kipinäsarvelle, mutta käyttöjännite ei enää pääse takaisin suojan läpi. Valokaari syttyy alhaisemmalla tasolla verrattuna eristimen mahdolliseen ylilyöntitasoon, joten purkaus kulkeutuu suojauksen kautta. Esimerkki virtaa rajoittavan suojauksen rakenteesta on esitetty kuvassa 5. (11, s. 199 - 201.)



KUVA 5. Virtaa rajoittava suojaus tasokannatusorrella (muokattu 25, s. 22)

3.5 Ilmajohdojen merkinnät

Varoituskilpien tehtävä on varoittaa mahdollisista vaaroista, joita voi ilmaantua sähkölaitteistojen rakenteiden asentamisesta ja käytöstä. Ilmajohtoverkossa rakennuksien ja liikenneväylien lähetyville sijoitetut pylväät pitää varustaa standardien mukaisilla varoituskilvillä. Yhteiskäyttöpylväät varustetaan keltaisella varoitusnauhalla, joka asennetaan ilmajohdon alapuolelle etäisyysvaatimuksien mukaisesti. Ilmajohdon vaihejärjestys on tarpeellista merkitä, jos vaihejärjestyksen sekaantumisen vaara kohteessa on mahdollista, esimerkiksi sähköverkkoyhtiöiden välisissä varasyöttökohdissa ja maakaapelipäätepylväissä. Ilmajohtoon rakennetut työmaadoituskohdat merkitään pylvääseen maadoitusmerkeillä. (5, s. 51 - 52; 11, s. 190; 20, s. 28 - 29.)

3.6 Orsirakenteet

Kaikki uudet ja uudistettavat ilmajohdot rakennetaan nykyään orsirakenteina. Orsirakenteiden käyttö nopeuttaa asennustyötä sekä mahdollistaa matalampien pylväspituuksien ja pitempien jänneväliden käytön. Orret valmistetaan nykyisin kuumasinkitystä teräksestä tehdastyönä. Teräsorsia käytetään yleisesti 20 kV:n

ilmajohtoilla, mutta vanhoissa rakenteissa voi olla käytössä alumiiniorsia. Alumii-
niorsia ei enää valmisteta sen raaka-aineen kalleuden vuoksi. (11, s. 165.)

Orsien valmistajat laskevat ja ilmoittavat kullekin orsityypille sallitut käytönrajat. Käytönrajoihin vaikuttavat käytettävä johdintyyppi, jännevälin pituus, seuraavan pylvään orsityyppi sekä johtokulma. (11, s. 165.)

3.6.1 Orsien asennus- ja lisätarvikkeet

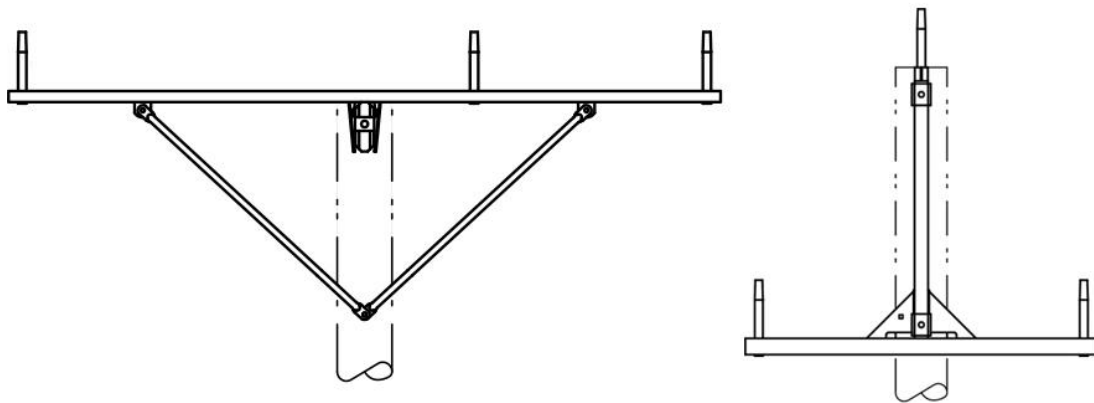
Orret kiinnitetään pylväisiin siihen tarkoitettuja kiinnityssankoja, pylvään läpi tule-
via kiinnityspultteja sekä vinositeitä käyttäen. Orsien asentamisessa noudatetaan
standardien mukaisia ilmajohtojen korkeus- ja etäisyysvaatimuksia. Orsimallista
riippuen kiinnitys voidaan tehdä yhdelle tai kahdelle pylväälle. (11, s. 165 - 169.)

Johtimet kiinnitetään orsiin eristimien välityksellä. 20 kV:n ilmajohtoverkossa
nykyisin yleisimmät käytetyt eristimet voidaan jakaa posliinisiin tappieristimiin,
kaksoiskomponenttisilikonisiin komposiittitukieristimiin sekä riippueristimiin eli
vetoeristimiin. Vetoeristiminä käytetään lasisia lautaseristinketjuja sekä siliko-
nimuovista ja lasikuidusta valmistettuja komposiittivetoeristimiä. Tappi- ja
tukieristimet valmistetaan nykyisin sähköteknillisestä lasitetusta posliinista tai
kaksoiskomponenttisilikonista. Tappi- ja tukieristimet kiinnitetään orrelle eristi-
men pohjasta orsitapilla. Vetoeristimien päissä on teräksiset päätykappaleet,
joista eristimet kiinnitetään orteen erillisellä riippu- tai vetoeristinhahlolla. (11, s.
170 - 171; 19, s. 273 - 275.)

Kulmaorsilla johtimet ripustetaan erillisille kulmakannatuspitimille tai vetopyörä-
kannattimelle. Johtimen kiristämisen jälkeen kannattimet lukitaan johtimen ympä-
rille. Käytetyn kannattimen valintaan vaikuttavat käytetty johdintyyppi, johtimen
poikkipinta-ala sekä johto-osuuden kulma. Pääte- ja kiristysorsilla johtimien päät
kiinnitetään erillisille päätepitimille. Käytetyn päätepitimen valintaan vaikuttavat
käytetty johdintyyppi ja johtimen poikkipinta-ala. Kannattimet ja päätepitimet ovat
kiinni vetoeristimen toisessa päässä. (11, s. 171 - 172.)

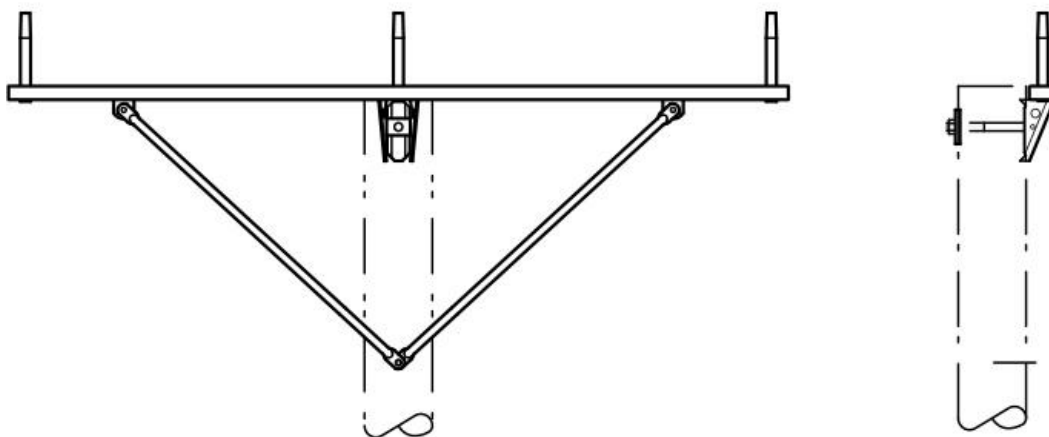
3.6.2 Erilaisia orsirakenteita

Orsia valmistetaan sekä symmetrisellä että epäsymmetrisellä vaakasuuntaisella vaihevälillä. Valmistetaan myös niin sanottuja kolmio-orsia, joissa keskimäinen johdin sijoitetaan laitimmaisista johtimista korkeammalle. (11, s. 165 - 169.) Esimerkit epäsymmetrisestä taso-orresta ja kolmio-orresta on esitetty kuvassa 6. Avojojohdoilla käytettävien orsien vaihevälit ovat suuremmat kuin PAS-johdoilla käytettävillä orsilla. Pääsääntöisesti orret on suunniteltu käytettäväksi yhdelle ilmajohdolle. Poikkeuksena mainittakoon PAS-johdon orsityypit, jotka mahdollistavat tuplajohdon käytön samalla pylväällä. (11, s. 194 -195.)



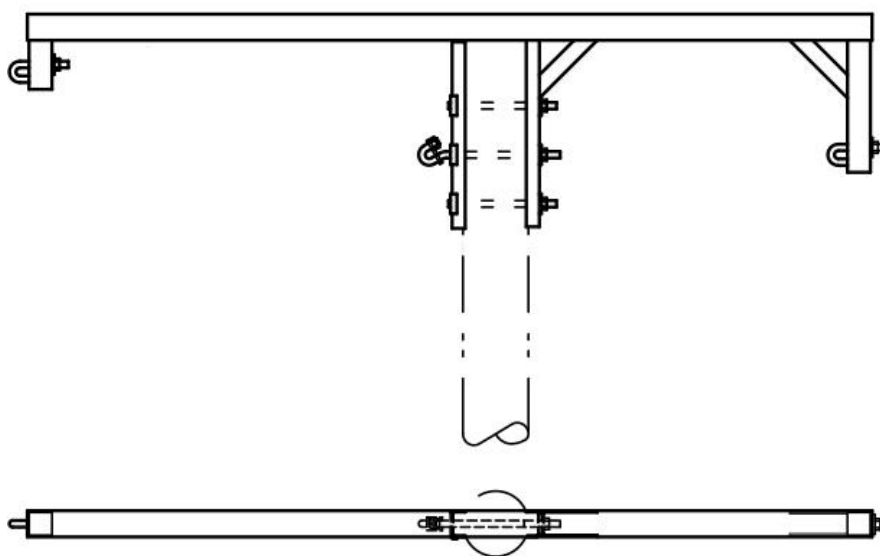
KUVA 6. Epäsymmetrinen taso-orsi SH68 ja kolmio-orsi SH60 (muokattu 25, s. 80)

Kannatusorsia käytetään pääsääntöisesti suorilla johto-osuuksilla, mutta niitä voidaan käyttää myös kulmapylväillä lievissä, noin 15 - 30°:n johtokulmissa. Kannatusorret varustetaan tappi- tai tukieristimillä, joihin johtimet sidotaan. (11, s. 165.) Esimerkki taso-orresta on esitetty kuvassa 7.



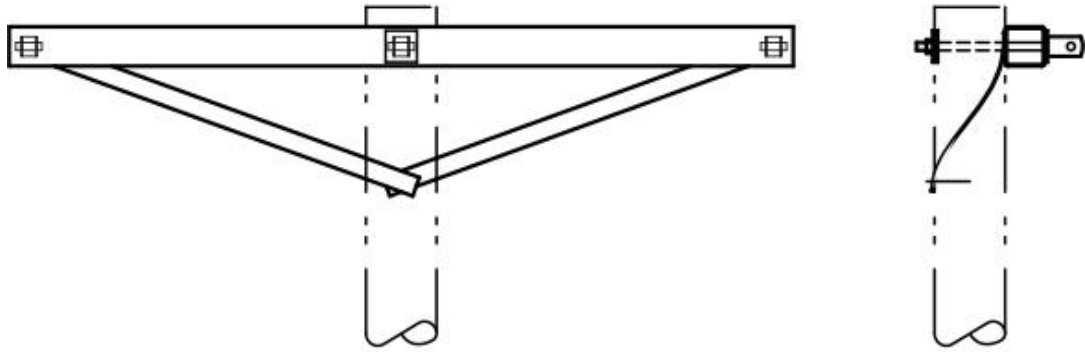
KUVA 7. Taso-orisi SH66 (muokattu 25, s. 80)

Kulmaorsia käytetään jyrkillä, yli 30°:n johtokulmissa. Kannatusorret varustetaan vetoeristimistä ja kulmakannatuspitimistä tai vetopyöräkannattimista muodostuvilla kannatusketjuilla, joihin johtimet ripustetaan. (11, s. 166 - 168.) Esimerkki kulmaorresta on esitetty kuvassa 8.



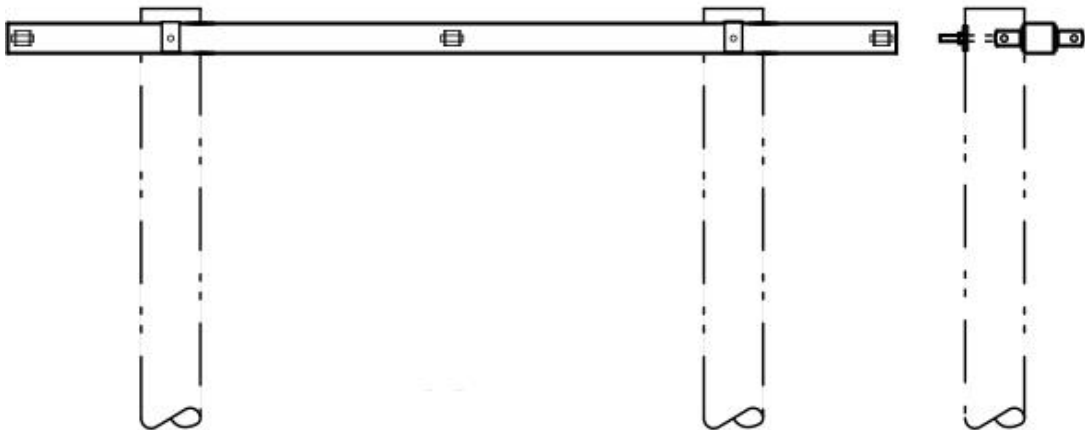
KUVA 8. Kulmaorsi SH207 (muokattu 25, s. 81)

Pääteorsia käytetään ilmajohdon päättämiseen päte- ja haaroituspylväillä. Pääteorret varustetaan vetoeristimistä ja päätepitimistä muodostuvilla kiristysketjuilla, joihin johtimien päät kiinnitetään. (11, s. 169.) Esimerkki pääteorresta on esitetty kuvassa 9.



KUVA 9. Pääteorsi SH70 + tarvikesarja SH71 (muokattu 25, s. 83)

Kiristysorsia käytetään kahden peräkkäisen ilmajohton kiristysvälin rajakohdassa. Kiristysorret varustetaan vetoeristimistä ja päätepitimistä muodostuvilla kiristysketjuilla, joihin johtimien päät kiinnitetään. (11, s. 34.) Esimerkki kiristysorresta on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Kiristysorsi SH178 (muokattu 25, s. 83)

3.7 Pylväsrakenteet

Ilmajohtoverkossa pylväitä tarvitaan johtimien ripustamiseen ilmaan. Pylväitä voidaan valmistaa monista erilaisista materiaaleista ja pylväsrakenteita on olemassa muodoltaan monia erilaisia tyyppejä. Käyttötarkoituksesta riippuen pylväsrakenteet voivat muodostua yhden pylvään lisäksi useammasta pylväästä. Pylväsrakenteiden tukemiseen on olemassa monia erilaisia tapoja. (19, s. 264 - 265; 22, s. 242.)

3.7.1 Pylväsmateriaalit

Suomessa ilmajohtoverkossa käytetään yleensä pylväsaineena puuta 110 kV:n jännitetasoon asti. Teräspylviäitä käytetään suuremmilla jännitetasoilla sekä tilanteissa, joissa puupylväiden pituus ja kestävyys eivät riitä, kuten esimerkiksi vesistöalueilla. (11, s. 32.)

Suomessa pylväspuuna käytetään mäntyä. Pylvääät valmistetaan mielellään puun tyviosasta. Pylväspuut kuoritaan ja sorvataan puhtaaksi ennen kyllästystä mahdollisimman vähän puuainetta poistaen. Pylvääät painekyllästetään käyttäen nykyisin suolakyllästystä (kuparikyllästys) tai kreosoottikyllästystä. Kreosoottipylväiden käyttö on vähäistä sen myrkyllisyyden ja terveysthaittojen takia. Puupylvääät jaetaan eri luokkiin niiden latva- ja tyvihalkaisijan sekä pituuden perusteella. Pylväisiin tehdään merkinnät niiden kyllästyksestä, pylväsluokasta sekä pituudesta. (26, s. 3 - 5).

3.7.2 Pylväsrakenteiden asentaminen

Ilmajohtoverkossa käytetyt pylvääät valitaan vaaditun pylväsluokan ja pituuden perusteella. Tähän vaikuttavat käytetty pylväsrakenne, johdintyyppi, jännevälit, johtokulma sekä maaston korkeuserot. (11, s. 34.)

Pylvääät pystytetään nykyisin koneellisesti käyttämällä kaivinkoneita, jotka on varustettu pylväskouralla. Normaalisti pylväälle saadaan riittävä tuenta upottamalla se maahan. Pylvään minimi upotussyvyteen vaikuttaa maaperän laatu ja kovuus sekä upotettavan pylvään pituus. (11, s. 113 - 116.)

Pehmeässä maaperässä joudutaan käyttämään erilaisia lisäperustuksia pylvään riittävän tuennan takaamiseksi. Lisätukina käytetään pylväspuusta valmistettuja vaakatuksia ja ristikoita sekä teräksestä valmistettuja perustustuksia. Lisätuet kiinnitetään pylvään tyvestä sekä tuetaan pylvääseen haruksin tai vinotuvin. Joskus pylviäitä ei saada kaivettua riittävään syvyyteen vastaantulevan kallion vuoksi. Pylväskuopan syvyydestä ja upotettavan pylvään pituudesta riippuen pelkkien tyvitukien käyttö voi riittää. Tyvituet kiinnitetään kallioon ennen pylvään pystytystä,

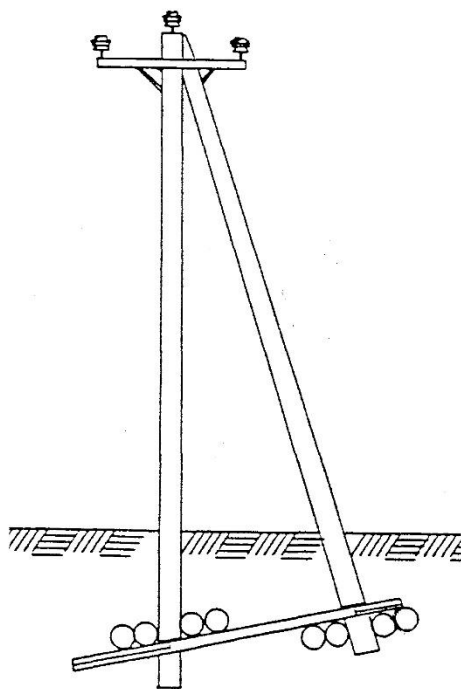
jonka jälkeen ne kiinnitetään pylvään tyveen. Jos pylväskuoppa jää liian matalaksi pylvään pituuteen nähden tai kallio on heti maan tasassa, pylvää tuetaan tyvitukien lisäksi haruksin tai vinotuvin kallioon. (11, s. 128 - 129.)

3.7.3 Erilaisia pylväsrakenteita

Suomen 20 kV:n ilmajohtoverkossa käytetyt pylväsrakenteet ovat valtaosin niin sanottuja I-pylviäitä. Tilanteesta riippuen I-pylväisiin voidaan asentaa sivutukia ja haruksia. Kovaan rasitukseen joutuvat pylväsrakenteet rakennetaan II-pylväinä. II-pylväiden lisätuentaan käytetään tarvittaessa haruksia. (19, s. 265; 22, s. 242; 27, s. 4; 28, s. 41 - 42.)

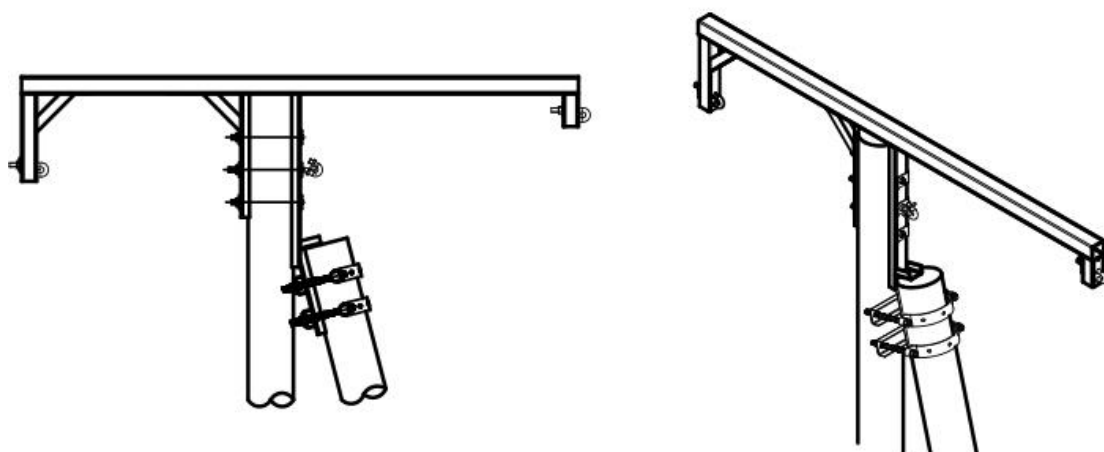
Kannatuspylväät ovat kannatusorrella varustettuja pylviäitä, jotka sijoitetaan suorille johto-osuuksille. Kannatuspylväisiin ei kohdistu suuria johdon suuntaisia eikä sivuttaissuuntaisia voimia, joten ne eivät vaadi harusta tai tukipylvästä. (11, s. 34.) Kulmapylväät ovat kulmaorrella varustettuja pylviäitä, jotka sijoitetaan jyrkille yli 30°:n johto-osuuksille. Kulmapylväisiin vaikuttavien johdon suuntaisten sekä sivuttaissuuntaisten voimien vuoksi ne tuetaan yleensä haruksin tai tukipylväin. (11, s. 166 - 168.) Päätepylväät ovat pääteorrella varustettuja pylviäitä, joihin johto-osuudet päättyvät. Päätepylväisiin vaikuttavat johdonsuuntaiset voimat kumotaan yleensä haruksin. Kiristyspylväät ovat kiristysorrella varustettuja pylviäitä, jotka sijoitetaan suorilla johto-osuuksilla kahden peräkkäisen ilmajohdon kiristyskohdan rajalle. Kiristyspylväisiin vaikuttavien suurien johdonsuuntaisten voimien vuoksi pylvääät harustetaan johdonsuuntaisesti pylvään molemmin puolin. (11, s. 34 - 35.)

A-pylviäitä käytetään lisätuentaa vaativissa kohteissa, joissa ei ole tilaa haruksille tai niitä ei haluta käyttää esimerkiksi tien sisäkaarteissa. A-pylväissä pysty- ja tukipuun latvat leikataan muotoon ja kiinnitetään toisiinsa kierretangoilla läpipulttaamalla. Pysty- ja tukipuiden tyvien väliin kiinnitetään sidepuut pylvään molemmin puolin. (11, s. 127.) Kuvassa 11 on esitetty A-pylvään rakenne.



KUVA 11. A-pylvään rakenne (muokattu 28, s. 50)

Lisätuentaa vaativilla pylväillä voidaan pylvästä kallistava voima kumota vaihtoehtoisesti niveltukipylväsrakenteella. Tukipuu asennetaan pystypuuhun kulman sisäpuolelle A-pylvään tavoin, mutta tukipuu kiinnitetään erillisellä siihen tarkoitetulla metallinivelellä. Niveltukipylvään latva muodostuu yksinomaan pystypuun latvasta. Pysty- ja tukipuiden tyvien väliin kiinnitetään sidepuut A-pylvään tavoin. (11, s. 128.) Niveltukipylvään latvan rakenne on esitetty kuvassa 12.



KUVA 12. Niveltukipylvään latvarakenne (muokattu 25, s. 81)

3.8 Harusrakenteet

Pylväisiin kiinnitetyt johdot aiheuttavat pylvästä kallistavia voimia, jotka kumotaan haruksilla. Tällöin pylvästä kallistavat voimat muuttuvat pylvästä puristaviksi ja haruksia vetäviksi voimiksi. Harukset sijoitetaan siten, että niillä saavutetaan tehokas tilankäyttö mahdollisimman pienellä rasituksella. Jyrkän haruskaltevouden käyttö nostaa sekä pylvään että haruksen rasitusta. Pääte- ja kiristyspylväillä harukset suunnataan suoraan johdon suuntaisesti. Kulmapylväillä haruksien suunta määräytyy johtokulmien ja johtopoikkipinta-alojen mukaan. Erotinasemilla ja pylväsmuuntamoilla harusten asennus tehdään ilmajohtoja koskevien standardien ja määräysten mukaisesti. (11, s. 117; 29, s. 4; 30, s. 60.)

3.8.1 Harusköysi

20 kV:n ilmajohtoverkossa harusköytenä käytetään kuumasinkittyä teräsköyttä, jonka käytetyin poikkipinta-ala on 25 mm². Tarvittaessa voidaan käyttää suurempia poikkipinta-aloja. Suurin sallittu kuormitettavuus yksittäiselle 25 mm² harusköydelle on 17,5 kN. Vektorasituksen ollessa suurempi käytetään yleensä yhtäaikaaisesti kahta harusköyttä. (11, s. 120.)

3.8.2 Harusankkurirakenteet

Harusankkureina käytetään pääsääntöisesti maa- (haruslaatta), puu- tai kalliokankureita. Luotettavan maa-ankkuroinnin saavuttamiseksi on huomioitava maan ominaisuudet, kaivettavan kuopan muoto sekä kuopan huolellinen täyttäminen. Normaalisti maa-ankkuroinnissa käytetään haruslaattoja, joihin harus kiinnitetään laattasilmuksia käyttäen. Pehmeässä maassa ja tarvittaessa muulloinkin voidaan käyttää pylväspuuankkureita. Haruskuoppa kaivetaan niin, että pylvään puoleinen reuna sortuu mahdollisimman vähän. Harusankkuri asetetaan kuoppaan haruksen suuntaisesti siten, että silmuksen pää ja haruskiristin jäävät maan pinnalle. Haruskuoppa täytetään kuopasta kaivetulla maalla. Jos pelkällä maatäytöllä ei saavuteta riittävää lujuutta, sitä voidaan parantaa louhoskivitäytöllä. Kiviä käytettäessä haruskuoppa on kaivettava siten, että tarpeellinen määrä kiviä sopii harusankkurin ja pylvään puoleisen seinämän väliin. (11, s. 120 - 121.)

Haruksia kallioankkuroitaessa käytetään kalliosilmuksia. Kallioon tai kiveen porataan reikä, johon kalliosilmus kiilataan. Kalliosilmus asennetaan 15 - 45°:n kulmaan harukseen nähden. Kalliosilmuksen joutuessa maan alle tulee varmistua siitä, että haruskiristin jää maan yläpuolelle. Tämä voidaan toteuttaa käyttämällä riittävän pitkää jatkosilmusta. (11, s. 121 - 122.)

3.8.3 Haruksen suojamaadoitus ja eristys

Yleisperiaatteena on, että harus ei saa olla jännitteelle altis. Harus ei myöskään sen löystyttyä tai irrottua saa tulla jännitteelle alttiiksi tai koskettaa jännitteisiä osia. Tämän toteuttamiseksi haruksille on laadittu vähimmäisetäisyydet jännitteisiin osiin. Jos etäisyysvaatimukset eivät toteudu, harukset pitää suojamaadoittaa tai varustaa haruseristimellä. (20, s. 24.)

Harus pitää suojamaadoittaa siitä päästä, joka ei voi tulla jännitteiseksi haruksen pään irrottua. Jos haruksen molemmat päät ovat irtoamisen jälkeen vaarassa tulla jännitteiseksi, harus maadoitetaan molemmista päistä. Harus maadoitetaan maadoituselektrodin avulla käyttäen siihen tarkoitukseen hyväksytyjä liittimiä. Harus voidaan suojamaadoittaa myös toisen haruksen välityksellä. Harus todeetaan maadoitetuksi silloin, kun se on yhteyksissä toiseen suojamaadoitettuun osaan. (20, s. 24; 31, s. 90.)

Jos harusta ei suojamaadoiteta, harus pitää varustaa haruseristimellä. Haruseristiminä käytetään posliinisia eristimiä, joiden mekaaninen lujuus on 35 kN. Tämä mahdollistaa kahden 25 mm² harusköyden käyttämisen. Harusköydet pujotetaan eristimen läpi siten, että köysien silmukat tulevat toistensa läpi. Tällä estetään haruksen katkeaminen eristimen rikkoontuessa. Haruseristin pitää asentaa tarpeeksi korkealle maanpinnan tasosta. Eristimille on laadittu eri vähimmäisetäisyydet maan pinnasta haruksen normaalille asennolle sekä löystyneelle tai irronneelle harukselle. (11, s. 124 - 125; 20, s. 25.)

3.8.4 Haruksen kiinnittäminen

Harus pyritään kiinnittämään pylvääseen sellaiseen kohtaan, jossa pylvästä taivuttava voima jää mahdollisimman pieneksi. Haruksen yläpää kiinnitetään pylvään latvaan käyttämällä haruslukkoa, -rautaa tai -kiinnikettä. Haruslukollisessa

kiinnityksessä harusköysi kierretään kaksi kertaa pylvään ympäri ja se lukitaan haruslukolla silmukaksi. Haruksen ja puun väliin asennetaan harussinkilöitä estämään harusköyden painumista puuhun. Harusköysi voidaan kiinnittää pylvääseen myös suoralla tai taivutetulla harusraudalla. Harusrauta kiinnitetään pylvääseen sopivan pylvään läpi menevän tai muun pultin alle. Haruskiinnikettä käytetään vetorasituksen ollessa suurempi kuin 17,5 kN, jolloin käytetään kahta harusköyttä. Haruskiinnikkeen on oltava mekaanisesti kestävä 35 kN:n asti. (11, s. 123.)

Viimeisenä työvaiheena harusköysi kiinnitetään harusankkuriin haruskiristimellä. Kiristimen avulla harusköyttä kiristetään siten, että pylvääseen kohdistuvat veto-voimat tasaantuvat. Pylväs kiristetään kallistumaan hieman haruksen suuntaisesti ilman, että se jää silmin nähtävästi takakenoon. (11, s. 123.)

3.8.5 Haruksen merkintä

Haruksen näkyvyyden parantamiseksi harusköyden alapäähän asennetaan huomiota herättäviä harusmerkkejä. Harukseen asennetaan keltaisia sekä mustia säänkestäviä muoviputkia värejä vuorotellen. Harusköyttä merkitään pituudeltaan vähintään 2,5 m ja merkinnän tulee ulottua maan pinnasta vähintään 2 m:n korkeuteen. (11, s. 124; 20, s. 29.)

3.8.6 Harusvirta

Hyvin johtavalla maaperällä harusankkurin ja pylvääseen asennetun maadoitus-elektrodin välille muodostuu virtapiiri. Teräksisen ankkurin ja kuparisen maadoitusköyden välille syntyy jännite-erosta johtuva harusvirta, joka ajan kuluessa voi syövyttää ankkurin terästangon poikki. Tämän estämiseksi harukseen asennetaan eristetty haruskiristin tai vaihtoehtoisesti harus varustetaan haruseristimellä. (11, s. 124.)

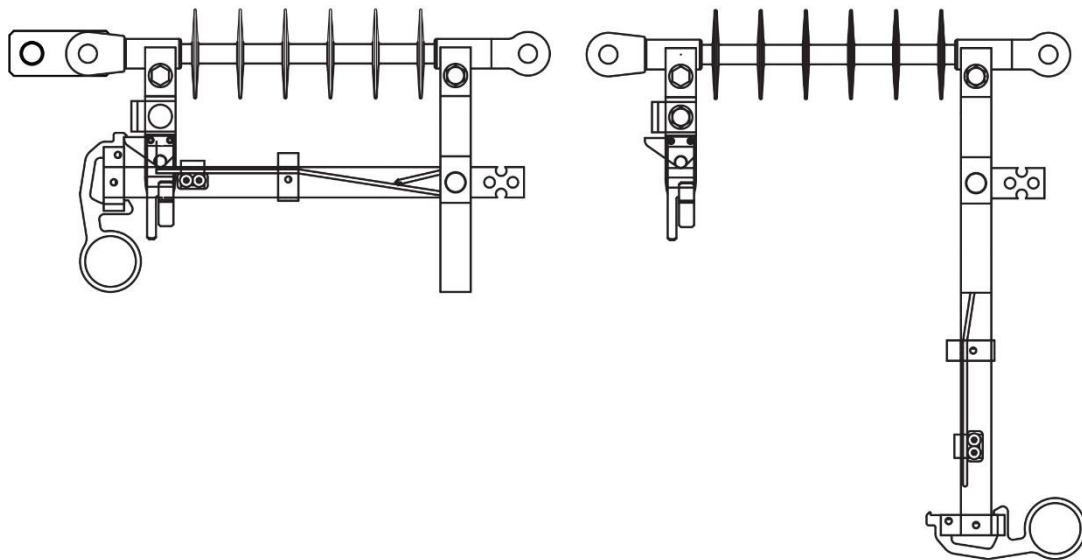
3.9 Erotinrakenteet

Erotinrakenteet ovat tärkeä osa 20 kV:n ilmajohtoverkon kokonaisuutta. Erottimilla johtolähdöt jaetaan sopivan kokosiin osuuksiin sähkönjakelun sekä käytön

perusteella. Erottimilla voidaan huolto- ja vikatilanteissa muuttaa sähkönsiirtoreit-
tejä tai rajata vika-alueita pienemmäksi muuttamalla sähköverkon kytkentätilaa.
Erottimien pääsääntöinen tehtävä on muodostaa lukittavissa oleva turvallinen ja
selkeä avausväli virtapiiriin huollon ja korjauksien ajaksi. Erottimia ei ole tarkoi-
tettu kuormitettujen virtapiirien avaamiseen tai sulkemiseen, mutta käytännössä
ilmajohtoverkossa käytetyillä johtoerotimilla voidaan kuitenkin katkaista ja kytkeä
pieniä kuormitusvirtoja. 20 kV:n ilmajohtoverkossa käytetyt erotinrakenteet voi-
daan jakaa JT-erotuskohtiin, käsiohjattuihin pylväserottimiin ja kauko-ohjattuihin
pylväserottimiin. (11, s. 225; 19, s. 190.)

3.9.1 JT-erotuskohdat

Jännitetyönä ohjattavat erotuspaikat eli JT-erotuskohdat muodostuvat yksinapai-
sista JT-erottimista, jotka asennetaan orren läheisyyteen suoraan ilmajohtoon.
JT-erotuskohdat voidaan tehdä kokonaan jännitetyönä, mutta niiden asentami-
nen sekä käyttäminen vaativat henkilöiltä JT-koulutuksen lisäksi tarvittavat
erikoistyökalut. JT-erotuskohtien käyttö on mahdollista jännitteisenä ilman kuor-
mavirtaa. Esimerkki yksinapaisesta JT-erottimesta on esitetty kuvassa 13. (11, s.
225.)



KUVA 11. Yksivaiheinen erotin SZ24 (muokattu 32)

3.9.2 Käsiohjatut pylväserottimet

Käsiohjatut pylväserotinasemat muodostuvat kolminapaisista johtoerottimista, jotka asennetaan kiinni pylvään latvaan. Johtoerottimet voivat sijaita missä tahansa johtoreitin varrella erilaisilla I- ja II-pylväsrakenteilla. Johtoerottimia ohjataan maasta käsin ilman erillisiä ohjaustyökaluja. Johtoerotin asennetaan pylvään yleensä ennen pylvään pystytystä. Pystyttämisen helpottamiseksi erottimen ohjain asennetaan pystytyksen jälkeen. (11, s. 225 - 228.)

Johtoerottimet jaetaan katkaisukyvyyn mukaan katkaisupiiskallisiin ja katkaisukammioillisiin erottimiin. Katkaisupiiskalliset erottimet on varustettu piiskan muotoisilla apukoskettimilla, jotka avautuvat veitsien muotoisten pääkoskettimien avautumisen jälkeen. Apukoskettimien jousitoiminen nopea avausliike sammuttaa syntyneen valokaaren. Tämä mahdollistaa erottimelle 15 - 25 A:n kuormavirrarakatkaisukyvyyn tavallisen erottimen 1 - 2 A:n sijasta. Vieläkin suurempi kuormavirrarakatkaisukyky saavutetaan, kun apukoskettimien avauksesta johtuva valokaari sammutetaan siihen tarkoitetun katkaisukammion sisällä. Tällöin erottimen katkaisukyky saadaan jopa sen mitoitusvirran eli 400 – 630 A:n suuruiseksi. Liitteen 1 sivulla 5 on esitetty esimerkki käsiohjatusta erottimesta. (19, s. 193 - 194.)

3.9.3 Kauko-ohjatut pylväserottimet

Nykyään teknologian kehityttyä on mahdollista rakentaa ilmajohtoverkkoon kauko-ohjattavia pylväserotinasemia. Kauko-ohjaus mahdollistaa tehokkaamman sähköverkon hallinnan ja ohjaamisen esimerkiksi huolto- ja vikatilanteissa. Kauko-ohjatut erotinasemat ovat yleensä sähköverkon solmupisteisiin rakennettuja kolmen tai neljän pylvään erotinasemia, jotka sisältävät tyypillisesti 2 - 4 johtoerotinta. Johtoerottimia ohjataan käsiohjaimen sijasta kaukokäyttöjärjestelmään liitetyillä moottoriohjaimilla. Ohjaamiseen vaadittu pienjännitteinen sähköenergia tuotetaan joko erotinaseman yhteyteen rakennetulla omakäyttömuuntajalla tai se tuodaan muualta toisesta muuntopiiristä. Suurien pylväserotinasemien rakentaminen aloitetaan yleensä pylväiden pystyttämällä. Pystyttämisen jälkeen asennetaan johtoerottimet, ohjauslaitteet sekä maadoitukset. (11, s. 232 - 233.)

3.9.4 Pylväserottimien maadoitukset

Kaikki pylväisiin asennettavat kytkinlaitteet on Suomessa maadoitettava. Tämän lisäksi kytkinlaitteiden ohjausmekanismi on varustettava kosketusetäisyyden ulkopuolelle sijoitettavalla eristimellä. Puupylväisiin asennettujen kytkinlaitteiden maadoitusjärjestelmä muodostetaan vähintään pylvään perustukseen sijoitetulla elektrodilla ja potentiaalinhojausrankaalla. Potentiaalinhojausringas asennetaan maahan pylvään ympärille 0,5 m:n syvyyteen ja 1,0 m:n etäisyydelle pylväästä muodostamalla halkaisijaltaan 2,0 m:n kokoinen rengas. Potentiaalinhojauksen tehtävä on rajoittaa pylvään luona maasulusta saatavien askel- ja kosketusjännitteiden arvoa turvalliseksi ihmiselle. Potentiaalinhojausta ei tarvitse tehdä, käyttöpaikan ympäristö voidaan luokitella kokonaan eristetyksi esimerkiksi kalliolla. Pylvään juurella maadoitusjohtimet tulee suojata kosketuksilta ja mekaanisilta vaurioilta. Maadoitus suojataan eristävällä suojalla vähintään 2,3 m:n korkeudelta maan päällä ja 0,2 m:n syvyydeltä maan alla. (19, s. 435; 24, s. 143 - 144.)

Käsiohjatun erotinaseman maadoitus luokitellaan normaalisti erilliseksi maadoitusjärjestelmäksi. Erillisessä maadoitusjärjestelmässä suur- ja pienjännitejärjestelmien maadoitukset on erotettu toisistaan. Tämä on otettava huomioon, jos käyttökohteen maaperässä on pienjännitejärjestelmään kuuluvia osia. Erillistä maadoitusta käytettäessä maadoitusresistanssin arvolle ei ole asetettu vaatimuksia. Jos erotinasema sijaitsee alueella, jossa oleskelee tai liikkuu paljon ihmisiä tai kotieläimiä, maadoitusjärjestelmään on lisättävä toinen potentiaalintasausringas. Toinen potentiaalinhojausringas asennetaan pylvään ympärille enintään 0,7 m:n syvyyteen maahan ja 1,0 m:n etäisyydelle ensimmäisestä renkaasta. (24, s. 144.)

Kauko-ohjattavilla pylväserotinasemilla suur- ja pienjännitejärjestelmien maadoitukset pyritään aina yhdistämään. Yhteistä maadoitusta käytettäessä maadoitusresistanssille on asetettu tapauskohtaiset vaatimukset. Jos erotinaseman ohjaukselle tuodaan sähköenergia toiselta muuntopiiriltä, yleensä riittävä maadoitusresistanssi saavutetaan toisen muuntopiirin maadoituksien avulla. Omakäyttömuuntajalla varustetuille erotinasemille rakennetaan oma maadoitusjärjestelmä.

Maadoitusjärjestelmä rakennetaan ottaen huomioon pylväsmuuntamoiden maadoituksille asetetut vaatimukset. (11, s. 233 - 235, 24, s. 144.)

3.9.5 Pylväserottimien merkinnät

Varoituskilpien ja -merkkien lisäksi erotinasemat ja erotuspaikat tulee merkitä yksilöllisesti jakeluverkon hallinnan ja käytön takia. Merkinnät tehdään jakeluverkko-yhtiöiden ohjeiden ja vaatimuksien mukaan. Koko erotinaseman tunnus merkitään lähestymissuuntaan päin. Erottimen ja erotuskohdan yksilöivä tunnus, varoitusmerkki sekä tarvittaessa työskentelyetäisyyksistä kertova varoitusnauha asennetaan lähimmälle pylvälle. Jos erottimen ohjaimesta puuttuu selkeät asennon osoittavat merkit, ne tulee asentaa pylvääseen ohjaimen välittömään läheisyyteen. JT-erotuskohdille pätevät samat ohjeet ja säännöt. Kauko-ohjattujen pylväserottimien tunnuksia merkitään ohjauskotelon ulkopintaan. Ohjauskaapin sisälle tehdään merkinnät erottimen kauko- ja paikalliskäytön ja erottimen asennon osoituksista. (11, s. 236; 24, s. 78 - 79.)

3.10 Pylväsmuuntamot

Jakelumuuntamoissa 10 - 20 kV:n keskijännite muunnetaan sähkökuluttajille sopivaksi 400/230 V:n pienjännitteeksi. Pienjännitteellä sähkötehoa ei voida siirtää kauaksi ilman jännitteenalennusta, joten jakelumuuntamot pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle loppukuluttajia. Erilaisilla muuntamorakenteilla mahdollistetaan sähköenergian tuonti luotettavasti eri sähkökäyttöpaikoissa. (30, s. 10.)

Pylväsmuuntamot ovat yleisin 20 kV:n ilmajohtoverkossa käytetty muuntamoraakenne maaseudulla ja kaupunkien haja-asutusalueilla. Niiden yleisyys perustuu muuntamon nopeaan rakentamiseen, alhaisempiin rakennus- ja käyttökustannuksiin esimerkiksi puistomuuntamoihin verrattuna. Keveytensä vuoksi pylväsmuuntamot voidaan rakentaa lähes minkälaiseen maastoon tahansa. Pylväsmuuntamot voidaan liittää ilmajohtoverkkoon jännitetyönä ja ne voidaan tarvittaessa purkaa helposti. (30, s. 11.)

3.10.1 Pylväsmuuntamoiden rakenne

Pylväsmuuntamot pyritään rakentamaan tiheään käyttämällä pienikokoisia muuntajia. Pylväsmuuntamoissa yleisemmin käytetyt muuntajakoot ovat 16 - 315 kVA, mutta joskus käytetään jopa 500 - 800 kVA:n muuntajia. Muuntajakoosta riippuen pylväsmuuntamot rakennetaan normaalisti I- tai II-pylväsrakenteina. Pylväsmuuntamot voivat sijaita johto-osuuksien väleissä tai johtoreitin päädyissä. II-pylväsmuuntamot rakennetaan joko johdon suuntaiseksi tai poikittain johdon suuntaan nähden. (30, s. 11.)

Muuntamoiden pylväsrakenteiden mitoituksessa huomioidaan muuntajan lisäksi pylväisiin vaikuttavat rasitukset esimerkiksi asentajat, ilmajohdot, kytkinlaitteet sekä muut pylväisiin kohdistuvat rasitukset. Muuntajat kiinnitetään pylväisiin erillisillä kannatusrakenteilla, jotka mitoitetaan I-pylväsrakenteilla vähintään 100 kVA:n muuntajan painon mukaan ja II-pylväsrakenteilla vähintään 500 kVA:n muuntajan painon mukaan. Kannatusrakenteina käytetään yleensä teräksestä valmistettuja muuntajatelineitä. Muuntajat on pystyttävä erottamaan sähköverkosta vaatimuksien mukaisilla laitteilla. Jokaisella pylväsmuuntajalla on oltava oma erotin tätä varten. Erotin voi tietyin edellytyksin sijaita kauempana muuntajaa syöttävässä johdossa, mutta siitä on oltava selkeä tieto muuntamolla. Erotin ja sen ohjain sijoitetaan siten, että erotinta voidaan ohjata luotettavasti ja turvallisesti. Erotin on oltava lukittavissa kumpaankin ääriasentoon. (24, s. 144; 30, s. 50 - 53.)

Erottimen kiinteä puoli liitetään 20 kV:n ilmajohtoverkkoon käyttämällä samaa johdintyyppiä. Erottimen avautuva puoli liitetään muuntajan ensiöpuolelle yleensä käyttämällä eristepäälysteisiä johtimia. Liitäntäjohtimien pituuden pitää olla riittävä erottimen luotettavan toiminnan kannalta. Muuntajan toisiopuoli liitetään käyttötarkoituksesta riippuen pylvääseen kiinnitettyyn jonovarokeytkimeen, pienjännitekeskukseen tai maahan kaivettuun jakokaappiin. Liitäntään käytetään yleensä eristettyä riippukierre-, maa- tai voimakaapelia. Liitäntäkaapeli kiinnitetään pylvääseen kohokiinnikkeillä. Liitteen 1 sivulla 5 on esitetty esimerkki erottimella varustetusta pylväsmuuntamosta. (30, s. 64 - 67.)

3.10.2 Pylväsmuuntamoiden maadoitukset

Kaikki pylväisiin asennettavat muuntajat on maadoitettava riippumatta siitä, onko muuntajien yhteydessä kytkinlaitteita. Pylväsmuuntamoiden maadoituksiin sovelletaan samoja ohjeita ja vaatimuksia kuin pylväisiin asennettuihin kytkinlaitteisiin. (24, s. 144; 30, s. 67.)

Pylväsmuuntamoilla suur- ja pienjännitejärjestelmien maadoitukset pyritään aina yhdistämään. Yhteistä maadoitusta käytettäessä maadoitusresistanssille on asetettu tapauskohtaiset vaatimukset. Pylväsmuuntamoiden maadoitusjärjestelmä muodostuu vähintään pylvään tyvimaadoituksesta tai 2,0 m pituisesta pysty-maadoituselektrodista ja pylvään ympärille asennetusta potentiaalinhjausrenkaasta. Jos pylväsmuuntamolle ei voida rakentaa maadoitusta tai potentiaalintasausta esimerkiksi kallion vuoksi, maadoitusjärjestelmä rakennetaan toiselle mahdollisimman lähellä olevalle pylväälle ja maadoitusjohto vietään ilmajohtona. Muita menetelmiä voidaan käyttää, jos askel- ja kosketusjännitteet voidaan todeta riittävän pieniksi. (24, s. 146; 30, s. 67 - 68.)

Pylväsmuuntamoille asennetaan työmaadoituspisteet muuntajan ensiöpuolelle kytkentäjohtimiin käyttämällä maadoituslenkkejä tai -liittimiä. Työmaadoituspisteet sijoitetaan siten, että käytettävät työmaadoitusvälineet sopivat paikoilleen ja työmaadoitus voidaan tehdä turvallisesti. (30, s. 69.)

3.10.3 Pylväsmuuntamoiden suojaukset

Pylväsmuuntamoita suojataan sähköasemilla sijaitsevien suojauslaitteiden lisäksi ylijännitesuojilla ja pieneläinsuojilla. Ylijännitesuojat toimivat samalla periaatteella kuin ilmajohtojen valokaarisuojat. Ylijännitesuojina käytetään kipinävälisuoja, virtaa rajoittavia suoja sekä ylijännitesuojia. Korkeintaan 200 kVA:n kokoisilla muuntajilla käytetään kaksoiskipinävälisuoja. Kipinävälisuoja voidaan asentaa muuntajan erottimelle tai ilmajohtojen vetoeristimeen. Virtaa rajoittavia suoja suositellaan käytettävän, jos sähköasemilla sijaitsevien suojauslaitteiden toiminnasta aiheutuu haittaa. Yli 200 kVA:n kokoisilla muuntajilla käytetään muuntajan kanteen asennettavia ylijännitesuojia. Virtaa rajoittavat suojat ja ylijännite-

suojat maadoitetaan yleensä muuntajien maadoitusten kanssa. Ylijännitesuojien lisäksi muuntajan ylijännitepuolen eristimiin asennetaan erilliset suojahatut pieneläinsuojiksi. Pieneläinsuojien tarkoitus on estää eläinten joutumisen kosketuksiin muuntajan napojen kanssa ja vähentää siitä aiheutuvia maa- ja oikosulkuja muuntajan kannella. (30, s. 64 - 65.)

3.10.4 Pylväsmuuntamoiden merkinnät

Pylväsmuuntamolle on sijoitettava sähkölaitteen vaarallisuudesta ilmoittava varoituskilpi näkyvälle paikalle. Jos muuntamolla on vaarana tulla takajännite, muuntamolle on asennettava siitä varoittava kilpi. Tarvittaessa harkitaan myös mahdollisista varavoimakoneista varoittavien kilpien käyttöä. Pylväsmuuntamolle asennetaan keltaisella varoitusnauhalla työskentelyalueet. Työskentelyalueen merkkejä ei saa ylittää ylä- ja alajännitepuolien erottamisenkaan jälkeen. Erotinasemien tapaan muuntamot täytyy yksilöidä jakeluverkon hallinnan vuoksi. Muuntamolle asennetaan sen nimestä, numerosta ja tarvittaessa osoitteesta kertova kilpi. Pylväsmuuntamoiden erottimien merkinnät tehdään niille tehtyjen ohjeiden ja asetettujen vaatimusten mukaan. Pylväsmuuntamoiden toisiopuolen lähtöjen numerot ja ylivirtasuojien koot merkitään niiden omien vaatimusten mukaan. (24, 78 - 79; 30, s. 78.)

3.11 Ilmajohtoverkon käyttöönotto- ja varmennustarkastus

Rakennustöiden valmistuttua rakentajan on tehtävä ilmajohtoverkolle käyttöönottotarkastus ennen sen käyttöönottoa. Sähkölaitteisto katsotaan käyttöön otetuksi, kun laitteistoon kytketään jännite sen lopullista käyttötarkoitusta ja toimintaansa varten. Valvottuja koekäyttöjä ja käyttöönottotarkastuksia ei luokitella käyttöön otetuksi. Sähkölaitteisto otetaan käyttöön vasta, kun laitteistolle on tehty riittävän laajuinen käyttöönottotarkastus. Käyttöönottotarkastuksessa selvitetään, ettei laitteistosta aiheudu kenenkään hengelle, terveydelle tai omaisuudelle vaaraa. Tämän lisäksi laitteistosta ei saa aiheutua sähköisesti tai sähkömagneettisesti kohtuutonta häiriötä. Vastaavasti laitteiston toiminta ei saa helposti häiriintyä sähköisesti tai sähkömagneettisesti. Jos sähkölaitteisto ei täytä näitä vaatimuksia, sitä ei saa ottaa käyttöön. (11, s. 191; 33; 34.)

Asennuksille tehtävillä tarkastuksilla ja testeillä varmistetaan, että ne vaatimuk-
sien mukaiset. Vaatimusten mukaisuus voidaan todentaa silmämääräisesti, käyt-
tökokein ja mittauksin. Sähkölaitteiston tarkastukset ja testit voidaan tehdä lait-
teiston toimituksen tai asennuksen jälkeen. Laitteistolle tehtävän tarkastuksen
laajuus riippuu laitteiston tyypistä ja suuruudesta. Tarkastuksessa tyypillisesti
suoritettavia tehtäviä ovat esimerkiksi erilaisten ominaisuuksien, etäisyyksien,
korkeuksien, merkintöjen ja luokituksien tarkistaminen. Näiden lisäksi tehdään
erilaisia jännite- ja resistanssimittauksia ja käyttökokeita. (24, s. 102.)

Käyttöönottotarkastuksesta tulee laatia sähkölaitteiston haltijalle tarkastuspöytä-
kirja. Tarkastuspöytäkirjaan merkitään kohteen yksilöintitiedot, sovelletut stan-
dardit, käytetyt tarkastusmenetelmät ja saadut tulokset. Lopuksi tarkastuspöytä-
kirja allekirjoitetaan tietojen oikeellisuuden takaamiseksi. (33; 34.)

Ilmajohtoverkolle on tehtävä käyttöönottotarkastuksen lisäksi varmennustarkas-
tus. Varmennustarkastus tehdään ennen sähkölaitteiston käyttöönottoa tai sen
jälkeen tietyn ajan kuluessa. Varmennustarkastuksessa varmistetaan pistoko-
kein tai muulla hyväksyttävällä tavalla, että sähkölaitteisto täyttää sähköturvalli-
suudelle ja sähkömagneettiselle yhteensopivuudelle asetetut vaatimukset ja lait-
teistolle on tehty käyttöönottotarkastus. Varmennustarkastuksen tekee valtuu-
tettu laitos tai tarkastaja. Varmennustarkastuksesta laaditaan sähkölaitteiston
haltijalle tarkastustodistus ja tarkastettuun laitteistoon kiinnitetään tarkastustarra.
(33; 34.)

4 20 KV:N ILMAJOHTOVERKON RAKENTAMISOHJE

Toimeksiantaja tilasi 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamisesta ohjeen ajankäytön tehostamiseksi. Valmiin ohjeen tarkoitus on nopeuttaa työnjohtajien projektien työsuunnitteluprosessia ja toimia sähköverkoasentajille asennusohjeena. HeadPower Oy antoi luvan julkaista opinnäytetyön yhteydessä tietyin ehdoin malliversion rakentamisohjeesta. (35.) Rakentamisohjeen malliversio löytyy opinnäytetyön lopusta liitteenä 1.

4.1 Ohjeen sisältö

Toimeksiantaja rakentaa jakeluverkkoa maakaapeliverkkona asiakkaiden vaatimuksien mukaisesti. Lisäksi toteutetaan satunnaisesti ilmajohtoverkon uudisrakentamista, huolto- ja kunnossapitotoimia sekä vikakorjauksia. Ilmajohtoverkoon liittyvien töiden satunnaisuuden vuoksi toimeksiantajalle tehokaan ajankäytön tärkeys korostuu. Toimeksiantaja käyttää jakeluverkon rakentamiseen HeadPower Oy:n käyttöoikeuslisenssillä sähköisiä työohjaukseen liittyviä palveluita. Rakentamisohjeessa haluttiin käytettävän HeadPower Oy:n rakennekuvia, tarvikeluetteloita ja laatuohjeita, koska ne ovat toimeksiantajalle sisällöltään tuttuja ja käyttöoikeuslisenssi on valmiiksi olemassa.

Toimeksiantajan kanssa käytiin keskustelu koskien ohjeen sisältöä. Keskustelussa päätettiin, että ohje räätälöidään toimeksiantajan organisaation työtehtävien mukaan. Samalla päätettiin ohjeen jännitealueen keskittyvän 20 kV:n jännitteeseen sen yleisyyden vuoksi. Tiiviin kokonaisuuden aikaan saamiseksi muut 20 kV:n ilmajohtoverkon yhteyteen rakennettavat verkon osat rajattiin ohjeen ulkopuolelle.

4.2 Ohjeen rakenne

Toimeksiantajan toiveesta HeadPower Oy:n materiaalit koottiin yhteen isoon ohjeeseen. Tällä varmistetaan rakentamisen kannalta tärkeimpien tietojen löytymisen helposti navigoitavasta yhdestä kokonaisuudesta. Ohjeen piti olla jaettavissa sähköisesti ja tarvittaessa tulostettavissa paperille. Paperisen version tärkeys korostuu, jos sähköistä versiota ei pystytä käyttämään. Valmiin ohjeen lopulliseksi

muodoksi päätettiin PDF-tiedostomuoto sen universaalisuuden ja ohjeen kannalta sopivien ominaisuuksien vuoksi. HeadPower Oy:n rakennekuvat ovat valmiiksi PDF-tiedostomuodossa eli ne on helppo lisätä ohjeen lopulliseen muotoon. Ohjeessa päädyttiin navigoimaan pääsääntöisesti käyttämällä sisällysluetteloita ja PDF-tiedostomuodon tukemia hyperlinkkejä. Ohjeen ulkoasulle toimeksiantaja antoi vapaat kädet selkeyden ja yksiselitteisyyden rajoissa.

4.3 Ohjeen laadinta

Ohjeen laadinnan ensimmäisenä työvaiheena HeadPower Oy:ltä kysyttiin lupa käyttää heidän materiaalejaan ohjeessa. HeadPower Oy myönsi luvan käyttää materiaaleja toimeksiantajan ostaman käyttöoikeuslisenssin mukaisesti.

Luvan myöntämisen jälkeen aloitettiin HeadPower Oy:n laajaan materiaalikirjastoon tutustuminen. HeadPower Oy on valmiiksi numeroinut ja järjestänyt materiaalinsa aakkosjärjestykseen heidän omien tunnuksiensa mukaan. Tämä helpotti ohjeeseen tarvittavien materiaalien etsintää ja järjestelyä. Materiaaleista etsittiin kaikki toimeksiantajan kannalta tärkeimmät 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamiseen liittyvät rakennekuvat. Lopulliseen ohjeeseen valittiin noin 170 rakennekuvaa eli pieni osa koko HeadPower Oy:n materiaalikirjastosta.

HeadPower Oy:n materiaalikirjaston lisäksi ohjeen tekemiseen käytettiin Microsoft Office -ohjelmistopakettien Excel ja Word -ohjelmia. Ohjeen lopullinen muokkaus tehtiin Adobe Acrobat X Pro -ohjelmalla.

Valittujen rakennekuvien pohjalta aloitettiin tarvikeluetteloiden laatiminen Excel -ohjelmaan. HeadPower Oy:ltä löytyi valmiita tarvikeluetteloita suurimmalle osalle rakennekuvista. Valmiiden tarvikeluetteloiden sisältö käytiin läpi vertailemalla niitä rakennekuviin. Luetteloihin tehtiin korjauksia, jos niistä löytyi puutteita tai valmistajakohtaisia nimikkeitä. Muutamalle rakennekuvalle tehtiin puuttuvat tarvikeluettelot. Lopulliseen ohjeeseen tehtiin noin 130 tarvikeluetteloita, joiden laajuus vaihtelee.

Varsinainen ohje tehtiin käyttämällä Word -ohjelmaa. Valituista rakennekuvista ja tehdyistä tarvikeluetteloista muodostettiin omia yksilöllisiä rakenteita. Valmiit

rakenteet jaettiin niiden laiteryhmiin ja asennuskohteiden mukaan omiin kokonaisuuksiin. Rakennekokonaisuudet jaettiin pylväsmuuntamoihin, orsirakenteisiin, erotinrakenteisiin, pylväs- ja tukirakenteisiin sekä suojausrakenteisiin, maadoitusrakenteisiin, lisärakenteisiin ja merkintöihin. Ohjeeseen tehtiin omat sivut jokaiselle rakenteelle niiden tunnuksien perusteella noudattaen HeadPower Oy:n valmiiksi luomaa järjestystä. Jokaiselle rakenteelle jätettiin tyhjät sivut, jotka myöhemmin korvattiin rakennekuvilla. Ennen rakenteita koskevaa osiota ohjeen alkuun lisättiin HeadPower Oy:n omat laatuohjeet ilmajohtoverkon etäisyysvaatimuksista ja käyttöönottomittauksista.

Valmiille rakennekokonaisuuksille tehtyjen jaotteluiden ja laatuohjeiden mukaan ohjeeseen tehtiin sisällysluettelot. Jos rakenteet, tarvikeluettelot tai rakennekuvat liittyivät yhteen tai useampaan eri sivulla sijaitsevaan rakenteeseen, niistä tehtiin asianmukaiset viittaukset ohjeen eri sivuille. Sisällysluetteloihin ja viittauksiin tehtiin sisällön mukaisiin kohteisiin vievät hyperlinkit lukuun ottamatta rakennekuvien viittauksia. Rakennekuviin vievät hyperlinkit tehtiin työn myöhemmässä vaiheessa. Asentamisen kannalta tärkeät teoriat lisättiin sisällysluetteloiden ja rakenteiden yhteyteen. Ohjeen alkuun tehtiin kansilehti ja sen perään yhteenveto ohjeen sisällöstä, sisältöä tarkentavista lähteistä ja julkaisuun liittyvistä tekijänoikeudellista rajoituksista. Lopuksi melkein valmis yli 300-sivuinen ohje muunnettiin PDF-tiedostomuotoon.

Ohjeeseen aikaisemmin tehdyt tyhjät sivut korvattiin niitä vastaavilla rakennekuvilla käyttäen Adobe Acrobat X Pro -ohjelmaa. Rakennekuvien lisäyksen jälkeen ohjeeseen tehtiin loput hyperlinkit rakennekuvien viittauksiin, joita ei voinut tehdä työn aikaisemmassa vaiheessa. Ohjeelle tehtiin kirjanmerkeillä yksi kaiken sisällön kattava sisällysluettelo navigoinnin helpottamiseksi. Valmis ohje tarkistettiin kirjoitusvirheiden varalta ja hyperlinkkien ja kirjanmerkkien toimivuus todennettiin. Lopuksi ohjeen käytön parantamiseksi asetuksia säätämällä ohje laitettiin aukeamaan aina kansilehdeltä ja sivukoko pysyy samana hyperlinkkejä käyttäessä.

5 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tehdä Oulun Energia Urakointi Oy:n infrarakentamisen yksikölle 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamisohje työnjohtajille ja sähköverkkoasentajille. Ohje sisältää 20 kV:n ilmajohtoverkon yleisimpien rakenteiden rakentamisen kannalta tärkeimmät asiat. Ohje myös rajattiin toimeksiantajan organisaation työtehtäviin sopivaksi.

Työn lopputuloksena saatiin tiivis 20 kV:n ilmajohtoverkon rakentamista käsittelevä ohje. Rakentamisohjeen tarkoitus on nopeuttaa työnjohtajien projektien työsuunnitteluprosessia ja toimia samalla sähköverkkoasentajille asennusohjeena. Rakentamisohje soveltuu käytettäväksi myös 20 kV:n ilmajohtoverkkoon liittyvissä maanrakennustöissä. Rakentamisohje on muodostettu käyttäen toimeksiantajalle ennestään tuttuja materiaaleja. Rakentamisohje kattaa nykypäivänä yleisimmin käytettävät 20 kV:n ilmajohtot, orsirakenteet, pylväsrakenteet, harusrakenteet, erotinrakenteet, pylväsmuuntamot sekä ilmajohtoverkon suojausrakenteet, maadoitusrakenteet ja lisärakenteet rakennekuvineen sekä tarvikeluetteloineen. Tarvikeluetteloiden laadinnan yhteydessä varmistettiin, etteivät tarvikeluettelot ole sidottu minkään tietyn valmistajan tuotteisiin. Rakennekuvien ja tarvikeluetteloiden lisäksi ohje sisältää 20 kV:n ilmajohtojen yleisimmät etäisyysvaatimukset, ilmajohtoverkon käyttöönottomittauksien perusteet ja merkinnät. Rakentamisohjeen sisältö on suunniteltu siten, että sitä voidaan soveltaa eri verkkoyhtiöiden lisävaatimuksien täyttämiseksi.

Henkilökohtaista työkokemusta opinnäytetyön tekohetkellä minulla oli pääsääntöisesti maakaapeliverkon asennus- ja työnjohtotehtävistä, mikä lisäsi mielenkiintoa ilmajohtoverkkojen rakentamista kohtaan. Aiheena ilmajohtoverkko oli minulle jokseenkin tuttu, mutta oma tietämykseni sen rakentamisesta oli vähäistä. Jotta saavuttaisin opinnäytetyölle asetetut tavoitteet, päätin tutustua ilmajohtoverkon rakentamisen taustoihin ja perusteisiin tarkemmin.

Aiheeseen tutustumisen pääpaino oli oma-aloitteisessa tiedon etsinnässä ja itseopiskelussa. HeadPower Oy:n materiaalien ja SFS-standardien lisäksi käytin

suunnittelijoiden ehdottamaa kirjallisuutta apuna opiskeluissani. Sain myös työnjohtajilta ja asentajilta tärkeää käytännön tietoa ilmajohtoverkon eri rakenteista sekä asennustavoista. Kaiken ilmajohtoverkon rakentamiseen liittyvän oppimani tiedon avulla pystyin paremmin sisäistämään aiheen kokonaisuudessaan. Ilmajohtoverkon rakentamisesta enemmän opiskeltuani pystyin rajaamaan opinnäytetyön aihetta ohjeen kannalta olennaisimpiin asioihin.

Opinnäytetyölle asetetut tavoitteet olivat positiivisessa mielessä haasteelliset, koska en ole ollut aikaisemmin tekemisissä ilmajohtoverkkojen rakentamisen kanssa. Sähkövoimatekniikan opinnoissani käytiin läpi enimmäkseen ilmajohtoverkon mitoituksen perusteita ja aikaisempi työkokemukseni on kohdistunut valtaosin maakaapeliverkkoon. Opinnäytetyön lopputuloksista voidaan kuitenkin päätellä, että työlle asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Toimeksiantaja sai käyttöönsä työntekoa helpottavan rakentamisohjeen ja minä insinööriopiskelijana sain tärkeää tietotaitoa ilmajohtoverkkojen rakentamisesta niin asentajien kuin työnjohtajien näkökulmasta. Opinnäytetyön aihe oli minusta erittäin mielenkiintoinen sekä hyvä lisä insinöörikoulutuksen sähkövoimatekniikkaan erikoistuviin opintoihin.

LÄHTEET

1. Tytäryhtiöt ja osakkuudet. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia-konserni/konsernin-esittely/tytaryhtiot-ja-osakkuudet> Hakupäivä: 25.3.2018.
2. Konsernin esittely. 2018. Oulun Energia Oy. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia-konserni/konsernin-esittely> Hakupäivä: 25.3.2018.
3. Korpinen, Leena 2007. 3 Sähkön siirto- ja jakeluverkot. Saatavissa: http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf Hakupäivä: 19.2.2018.
4. Suomen sähköjärjestelmä. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/> Hakupäivä 19.2.2018.
5. SFS 6002. 2015. Sähkötyöturvallisuus. 3.p. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS.
6. Sähköverkkojen rakenne. 2015. Energiateollisuus Ry. Saatavissa: https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkoverkot Hakupäivä 20.2.2018.
7. Fingridin sähkönsiirtoverkko. 2017. Fingrid Oyj. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/fingridin-sahkonsiirtoverkko/> Hakupäivä 19.2.2018.
8. Naapurina voimajohto. 2016. Fingrid Oyj. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/naapurina_voimajohto_6-2016.pdf Hakupäivä 19.2.2018.
9. Sähköverkon haltijat. 2018. Energiavirasto. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat> Hakupäivä 19.2.2018.
10. Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2016. 2017. Energiavirasto. Saatavissa: <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkkotoiminnan-tunnusluvut-2016> Hakupäivä 20.2.2018.

11. Monni, Markku 2010. Ilmajohtoverkostotyöt. Helsinki: Adato Energia Oy.
12. Verkostosuositus YA 5:97. 2015. Sähkönjakeluverkon rakennustavan valinta kaavoitetuilla alueilla. Helsinki: Adato Energia Oy.
13. Sähkönjakeluverkon verkkokomponentit ja yksikköhinnat 2016 - 2023. 2016. Energiavirasto. Saatavissa: <http://www.energiavirasto.fi/verkkokomponentit-ja-yksikkohinnat-2016-2023> Hakupäivä: 22.2.2018.
14. Verkostosuositus RK 1:14. 2014. Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4 - 45 kV. Helsinki: Adato Energia Oy.
15. Verkostosuositus RJ 18:15. 2015. Pylväsmuuntamoiden perustaminen ja harusten määritys. Helsinki: Adato Energia Oy.
16. Elenia Säavarma - Kysymyksiä ja vastauksia. 2018. Elenia Oy. Saatavissa: http://www.elenia.fi/sahko/saavarma_ukk Hakupäivä: 22.2.2018.
17. Elenia Säavarman tarina. 2018. Elenia Oy. Saatavissa: http://www.elenia.fi/sahko/saavarma_tarina Hakupäivä: 22.2.2018.
18. Lakervi, Erkki - Partanen, Jarmo 2009. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.
19. Elovaara, Jarmo - Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot 2: Verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Helsinki: Otatieto.
20. SFS-EN 50341-2-7. 2015. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 2-7: Suomen kansalliset velvoittavat määrittelyt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
21. Verkostosuositus RJ 1:14. 2014. Ilmajohtotekniikan peruskäsitteitä. Helsinki: Adato Energia Oy.
22. SFS-EN 50341-1. 2014. Vaihtosähköilmajohdot yli 1 kV jännitteillä. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Yhteiset määrittelyt. 2.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.

23. Verkostosuositus RJ 8:94. 2015. Köysivoima- ja riippumataulukot. Helsinki: Adato Energia Oy.
24. SFS 6001. 2015. Suurjännitesähköasennukset. 4.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
25. Sähkönjakeluverkkojen ilmajohtoratkaisut. Tuotteet 0 - 45 kV. 2017. Ensto Oy. Saatavissa: <https://www.ensto.com/globalassets/brochures/overhead-lines/finnish/sahkonjakeluverkkojen-ilmajohtoratkaisut.pdf.pdf>
Hakupäivä: 8.4.2018.
26. SFS 2662. 2004. Ilmajohdot. Puupylväs. 3.p. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
27. Verkostosuositus RJ 11:14. 2014. Rakenteet. Puupylväiden käytönrajat. Helsinki: Adato Energia Oy.
28. Verkostosuositus RJ 3:95. 2015. 20 kV johtojen pylväsrakenteet 1: Piirrookset. Varmennettujen johtojen käytönrajat. Helsinki: Adato Energia Oy.
29. Verkostosuositus RJ 14:14. 2014. Harusten käytönrajat. Helsinki: Adato Energia Oy.
30. Monni, Markku 2003. Sähkölaitos asentajan ammattioppi 3: Jakelumuuntamotyöt, sähköasematyöt. Helsinki: Adato Energia Oy.
31. Sähkötarkastuskeskus. 1993. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ ja_hissit/Laitteiden%20aannehtivat%20maaraykset/A4%201993%20Vahvavirtailmajohdomaaraykset.pdf Hakupäivä: 17.3.2018.
32. Erotin 24 kV SZ24. 2018. Ensto Oy. Saatavissa: https://www.ensto.com/files/catalogs/images/mittakuvat/web/un/SZ24_M1.pdf Hakupäivä: 8.4.2018.
33. VNa 21.12.2016/1432. Valtioneuvoston asetus sähkölaitteistoista.
34. L 16.12.2016/1135. Sähköturvallisuuslaki.

35.Mutila, Timo 2018. VS: Headpowerin materiaalin käyttö opinnäytetyössä.
Sähköpostiviesti. Vastaanottaja: Suutari, Juho. 28.1.2018.

20 KV ILMAJOHTOVERKON RAKENTAMISOHJE

MALLI

SISÄLTÖ

KJ-ilmajohdot

KJ-ilmajohtoverkon sijoittaminen ja etäisyysvaatimukset

KJ-ilmajohtoverkon käyttöönottomittaukset

Pylväsmuuntamot

Orsirakenteet

Erotinrakenteet

Pylväs- ja tukirakenteet

Suojausrakenteet

Maadoitusrakenteet

Lisärakenteet

Merkinnät



II-pylväsmuuntamot muuntajaerottimella ja pylväsvarokeytkimellä

Maadoitukset

II-pylväsmuuntamoilla käytetään yleensä yhdistettyä maadoitusrakennetta:

8522/1 II-pylväsmuuntamon yhdistetty maadoitus

Tarvittaessa käytetään erillismaadoitusrakennetta:

8522/2 II-pylväsmuuntamon erillismaadoitus

Sopiva maadoituselektrodi valitaan tapauskohtaisesti maadoituselektrodirakenteista:

Maadoituselektrodirakenteet

8540 Maadoituselektrodijärjestelmä

Muuntajan PJ-syöttö

3131 PJ-syöttö pylväsvarokeytkimeen AMKA 70

3136 Pylväsvarokeytin 160 A

E21 P1P_V Päätyvä II-pylväsmuuntamo pääteorrella

E22 P1L_V Läpimenevä II-pylväsmuuntamo tasokannatusorrella

E23 P1K_V Läpimenevä II-pylväsmuuntamo kiristysorrella

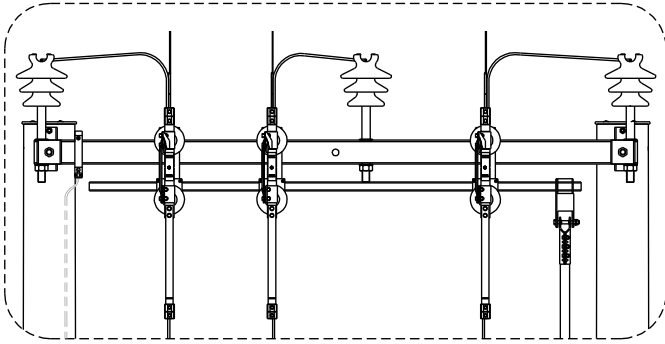
E24 P2K_V Läpimenevä II-pylväsmuuntamo tasokannatusorrella ja johtoerottimella

E22 P1L_V Lämpimenevä II-pylväsmuuntamo tasokannatusorrella

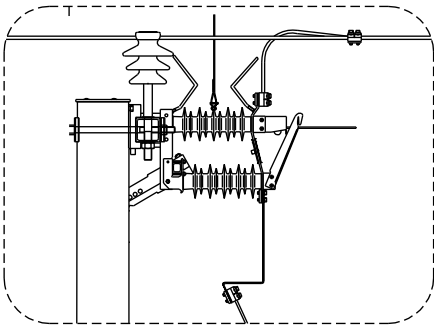
Rakenteen tarvikeluettelo ei sisällä kaikkia orren tarvikkeita. Orsi ja sen rakenteet valitaan tapauskohtaisesti orsirakenteista soveltamalla:

Orsirakenteet

NIMI	MÄÄRÄ
Ankkuripuu (min. D 130 mm)	1,0 kpl
C-liitin 25/25 mm ²	8,0 kpl
Eristeen läpäisevä liitin PAS35-157	6,0 kpl
Erotinorsi 100x100x2000x4	1,0 kpl
Erottimen jatkokiskosarja	1,0 kpl
Jomppiköysi Al 95 mm ² eristetty	15,0 m
Kampanaula 40 x 2,3 mm	32,0 kpl
Kierretanko M20	1,5 m
Kilpi "Hengenvaara" 120x300	2,0 kpl
Kiskoliitin AL 16-120 mm ² (AL 50-240 mm ²)	12,0 kpl
Kohokiinnike AMKA-naula	12,0 kpl
Kuusiomutteri M20	4,0 kpl
Liitinkisko Cu 400 A / 150 mm ²	12,0 kpl
Lintusuojasarja	1,0 kpl
Lyöntikiinnike 2-jalkainen 20/28 mm	6,0 kpl
Lyöntikiinnike 2-jalkainen 8/16 mm	15,0 kpl
Maadoituskupari Cu 25 mm ²	30,0 m
Maadoitusköyden suojaputki 3,2 m	1,0 kpl
Muuntaja- / päätepylväserotin tarvikkeineen, II-pylväs, katk.piiskat, käsiohj.	1,0 kpl
Muuntajan kannatinteline kiinnitystarvikkeineen	1,0 kpl
Muuntajan kiinnityssarja muuntajatelineeseen	1,0 kpl
Neliöaluslevy M20 60x60 mm	4,0 kpl
Orren vahvistettu kiinnityssarja II-pylväs	1,0 kpl
Puunsitojalevy 127x127 mm	2,0 kpl
Pylväsmuuntamon tunnus	1,0 kpl
Pylväsvarokekytkin	2,0 kpl
Riippukierrekaapeli AMKA	10,0 m
Riippulukko	1,0 kpl
Suojakotelo eristeen läpäisevään liittimeen	6,0 kpl
Työmaadoitussarvi "L"	3,0 kpl
Yhteiskäyttövaroitussauha (UV-kestoinen)	3,6 m



DET. 1
P1L_V EROTINRAKENNE EDESTÄ



DET. 2
P1L_V EROTINRAKENNE SIVULTA

