

Uuden verkostosuunnittelijan perehdytysohjelma

Maija Hakamäki

Opinnäytetyö

Joulukuu 2015

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Hakamäki, Maija	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 10.12.2015
	Sivumäärä 59	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: Kyllä
Työn nimi Uuden verkostosuunnittelijan perehdytysohjelma		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Puttonen, Pasi, Jyväskylän ammattikorkeakoulu JAMK		
Toimeksiantaja(t) Kukkonen, Aimo, TSS Group Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tavoitteena oli luoda uusien verkostosuunnittelijoiden perehdyttämisessä helpottava ohjeistus sähköjakeluverkkojen suunnitteluun TSS Group Oy:n käyttöön. Perehdytysohjelman haluttiin olevan laaja ohjeistus koko suunnitteluprosessista, jonka hyödyntäminen olisi mahdollista kaikissa suunnittelun vaiheissa. Tarkoituksena oli saada perehdytysohjelmasta kuitenkin sen verran yksinkertaistettu, että sen käyttö olisi mahdollista myös varsin erityyppisissä suunnitteluprojekteissa.</p> <p>Kokeneita verkostosuunnittelijoita sekä muita sähköjakeluverkon suunnittelussa mukana olevia henkilöitä haastateltiin, jotta pystyttiin luomaan selkeä kuva kaikista sähköjakeluverkon suunnittelun eri vaiheista, ja kokoamaan yhteen sähköjakeluverkon suunnittelun kannalta kaikki olennaiset seikat. Kaikki sähköverkkoihin liittyvät standardit käytiin läpi ja niistä kerättiin sähköjakeluverkon suunnittelun kannalta merkittävät määräykset ja säädökset.</p> <p>Tuloksena saatiin kattava sähköjakeluverkon suunnitteluun perehdyttävä ohjeistus, joka helpottaa ja nopeuttaa uuden verkostosuunnittelijan työhön perehdyttämisessä, sekä on suunnittelijan apuna läpi koko suunnitteluprojektin. Perehdytysohjelmaan saatiin kerättyä kaikki olennainen sähköjakeluverkon suunnittelun kannalta.</p> <p>Perehdytysohjelman avulla uusi verkostosuunnittelija pystyy suoriutumaan työtehtäviään itsenäisemmin, ja varsinaiseen perehdyttämiseen tarvittava aika lyhenee. Perehdytysohjelmaa voidaan käyttää apuna läpi koko suunnittelun, jolloin myös varmistutaan siitä, että mikään suunnittelun kannalta olennainen seikka ei jää huomiotta.</p>		
Avainsanat Sähköjakelu, sähköverkot, suunnittelu, perehdyttäminen		
Muut tiedot Liitteet 2 sivua		

Author(s) Hakamäki, Maija	Type of publication Bachelor's thesis	Date 10.12.2015 Language of publication: Finnish
	Number of pages 59	Permission for web publication: Yes
Title of publication Introduction program for new design engineer		
Degree programme Automation Engineering		
Supervisor(s) Puttonen, Pasi, JAMK University of Applied Sciences		
Assigned by Kukkonen, Aimo, TSS Group Oy		
Abstract <p>The purpose of the study was to develop an introduction program for a new distribution networks design engineer for TSS Group Oy. The introduction should be an extensive and thorough guide of the whole planning process, which could be helpful in all stages of planning distribution networks. The purpose was to make it simple enough to be handy at all stages of the process and in all kinds of design processes.</p> <p>Experienced design engineers and other people involved in the planning process were interviewed to gain a clear picture of every stage and to gather every relevant aspect. All standards concerning electrical networks were gone through and every essential regulation and enactments from the planning point of view was collected.</p> <p>The result was an extensive program of designing distribution networks which will be helpful in orientating new design engineers and helping them to learn faster. It will be their guideline throughout the whole planning process. All relevant information about planning of distribution networks was collected into this introduction program.</p> <p>With this introduction program new design engineers will be able to work more independently, and it will take them less time to orientate. With this orientation program a new design engineer can be certain that not a single important step relevant and essential for the design will be forgotten.</p>		
Keywords/tags Distribution, power grid, planning, orientation		
Miscellaneous Attachment includes 2 pages		

Sisältö

Lyhenteet.....	5
1 Johdanto.....	7
2 Sähköverkko Suomessa.....	8
2.1 Sähköverkon komponentit.....	8
2.2 Sähköverkon rakenne.....	10
2.2.1 Sähkönjakeluverkon toteutustavat.....	10
2.2.2 Sähkönjakelujärjestelmät.....	11
2.3 Sähköverkon ongelmat ja häiriötekijät.....	14
2.4 Tulevaisuuden näkymät.....	14
3 Sähköverkon vikatilanteet.....	16
3.1 Ylikuormitus.....	16
3.2 Oikosulku.....	17
3.3 Maasulku.....	19
4 Sähkönlaatu.....	21
4.1 Yleisimmät ongelmat sähkönlaadussa.....	21
4.2 Sähköverkon taajuus.....	22
4.3 Sähköverkon jännite ja jännitetason vaihtelut.....	23
4.4 Verkon epäsymmetria.....	24
4.5 Yliaallot.....	25
4.6 Transienttiylijännitteet ja käyttötaajuiset ylijännitteet.....	25
5 Sähkönjakeluverkon suunnittelun vaiheet.....	26
5.1 Suunnittelun lähtökohdat.....	26
5.2 Maastosuunnittelu.....	26
5.2.1 Alustava suunnittelu.....	27
5.2.2 Puistomuuntamoiden, erotinasemien ja maasulkuvirran kompensointilaitteistojen sijoituspaikkojen valinta.....	27
5.2.3 Maakaapelireitin valinta.....	28

5.2.4	Jakokaappien ja välivarokkeiden sijoittelu	30
5.2.5	Nykyisen verkon tarkastus.....	30
5.2.6	Kaukokäyttökohteiden huomioiminen maastosuunnittelussa	31
5.3	Verkon sähköinen mitoitus	31
5.3.1	Sähköisen mitoituksen periaatteita.....	31
5.3.2	Sähköverkon laskenta.....	32
5.3.3	Sähköverkon vaatimukset oikosulkuvirran osalta ja oikosulkusuojan valinta	33
5.3.4	Ylikuormitussuojan valinta	36
5.3.5	Suojien selektiivisyys	38
5.3.6	Kaapelin mitoitus ja valinta	39
5.3.7	Muuntajan mitoitus.....	40
5.3.8	Maasulkuvirran kompensointilaitteiston sijoittaminen	41
5.3.9	Sähköverkon maadoitukset	42
5.4	Dokumentointi	43
5.4.1	Dokumentoinnin vaiheet.....	43
5.4.2	Dokumentoitavat kohteet ja toimenpiteiden lisääminen.....	44
5.5	Sopimus- ja lupa-asiat	44
5.5.1	Maanomistajat.....	44
5.5.2	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus	45
5.5.3	Aluehallintovirasto.....	46
5.5.4	Kunnat.....	46
5.5.5	Muut tahot.....	46
6	Suunnittelun työvälineet.....	47
7	Perehdytysohjelman laadinta	48
8	Suunnitteluprojekti Lofsdal-Domarby.....	48
8.1	Projektin lähtökohdat.....	48

	3
8.2 Toteutus.....	49
8.3 Lopputulokset ja yhteenveto	51
9 Pohdinta	52
Lähteet.....	54
Liitteet	59
Liite 1. Oikosulkusuojan valintataulukko	59
Liite 2. Oikosulkusuojan valintataulukko, kun sulakkeen toiminta-aika on enintään 15 s pienimmällä mahdollisella poiskytkentäehtojen mukaisella oikosulkuvirralla	59

Kuviot

Kuvio 1. Sähköverkon rakenne Suomessa.....	8
Kuvio 2. Sähkön tuotantoon käytetyt energialähteet vuonna 2014.....	10
Kuvio 3. Erilaiset sähköverkon rakenneratkaisut.....	11
Kuvio 4. TN-C-järjestelmä.....	13
Kuvio 5. IT-järjestelmä.....	13
Kuvio 6. Verkon oikosulkutilanteet	17
Kuvio 7. Kosketusjännitteen syntyminen.....	20
Kuvio 8. Sähkönjakelun tyypillisimmät häiriöt ja niiden mahdolliset syyt	21
Kuvio 9. Alituksen profilointi kaapelireitillä	29
Kuvio 10. Sähköverkon laskenta verkkotietojärjestelmässä.....	33
Kuvio 11. Suojalaitteiden selektiivisyystarkastelu.	38
Kuvio 12. AHXAMK-WP – tyyppinen maakaapeli.....	40
Kuvio 13. Maasulkuvirran kulkureitti maasta erotetussa verkossa.....	41
Kuvio 14. Maaperäkartta.....	49

Taulukot

Taulukko 1. Sähkönjakelujärjestelmän tunnuksen muodostuminen.	12
Taulukko 2. Jännitekertoimen valinta oikosulkuvirran laskentaa varten.	18

Taulukko 3. Sallitut taajuuden muutokset sähköjakeluverkossa.....	22
Taulukko 4. Maakaapelin suojausmenetelmät	29
Taulukko 5. Jakeluverkon vikasuojaukseen käytetyn ylivirtasuojan mitoitus.	35

Lyhenteet

ΔU = jännitteen muutos [%]

c = jännitekerroin

$\cos\varphi$ = tehokerroin

I = virta [A]

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle
määritellyssä tavanomaisessa toiminta – ajassa [A]

I_B = piirin kuormitusvirta [A]

I_f = maasulkuvirta [A]

I'_k = oikosulkuvirta [A]

I_n = suojalaitteen mitoitusvirta [A]

I_z = johtimen jakuva kuormitettavuus [A]

l = verkon kaapeleiden ja/tai ilmajohtojen kokonaispituus [km]

P = kuorman teho [kW]

R = johdon tai kaapelin kokonaisresistanssi vaihetta kohden [Ω]

R_K = oikosulkupiirin resistanssi vikapaikasta katsottuna [Ω]

$\sin\varphi$ = loistehokerroin

U = jännite [kV]

\underline{U}_2 = kulutuspään jännite [V]

U_h = jänniteenalenema [V]

\underline{U}_N = nimellisjännite [V]

U_n = vikapaikan käyttöjännite vikahetkellä [V]

X = johdon tai kaapelin kokonaisreaktanssi vaihetta kohden [Ω]

X_K = oikosulkupiirin reaktanssi vikapaikasta katsottuna [Ω]

$Z_K =$ oikosulkupiirin impedanssi vikapaikasta katsottuna [Ω]

1 Johdanto

Sähkönlaatuun liittyvien vaatimusten koventuessa, sekä sähkönjakelun varmuuteen liittyvien määräysten muuttuessa joudutaan sähköverkkoa kaapeloimaan koko ajan enemmän. Jotta sähköverkkoa pystyttäisiin uudistamaan halutulla nopeudella, joudutaan uusia verkostosuunnittelijoita kouluttamaan jatkuvasti lisää. Suunnitteluprojektit myös kasvavat jatkuvasti, jolloin suunnittelutyö käy entistä haastavammaksi.

Opinnäytetyön aiheeksi muodostui koota uuden verkostosuunnittelijan perehdyttämisessä helpottava ohjelma, jotta uudet suunnittelijat saataisiin perehdytettyä työhönsä mahdollisimman jouhevasti ja nopeasti. Tavoitteena oli luoda mahdollisimman yleispätevä suunnitteluohje uusien verkostosuunnittelijoiden käyttöön, jotta suunnittelutyö alueella toimivan verkkoyhtiön omistuksessa olevassa sähkönjakeluverkossa sujuisi hyvin, eikä mitään oleellisia seikkoja jäisi huomiotta. Suunnitteluohjeen pääasialliseksi käyttötarkoitukseksi muodostui toimia suunnittelun apuvälineenä läpi koko suunnitteluprojektin.

Perehdytysohjelma toteutettiin haastattelemalla useaa suunnittelutoimiston työntekijää, jotta ohjeesta saataisiin mahdollisimman laaja ja toimiva kokonaisuus. Näin myös pystyttiin välttämään mahdolliset väärinymmärrykset. Haastatteluiden lisäksi apuna käytettiin alan standardeja, määräyksiä sekä muuta kirjallista sekä sähköistä materiaalia.

Lisäksi perehdytysohjelmaa sovellettiin erääseen suunnitteluprojektiin, jotta sen toimivuutta pystyttiin kokeilemaan käytännössä. Suunnitteluprojektin aikana myös kerättiin talteen sellaisia vastaan tulleita seikkoja, joiden katsottiin olevan oleellisia suunnittelun kannalta. Myös nämä seikat lisättiin perehdytysohjelmaan.

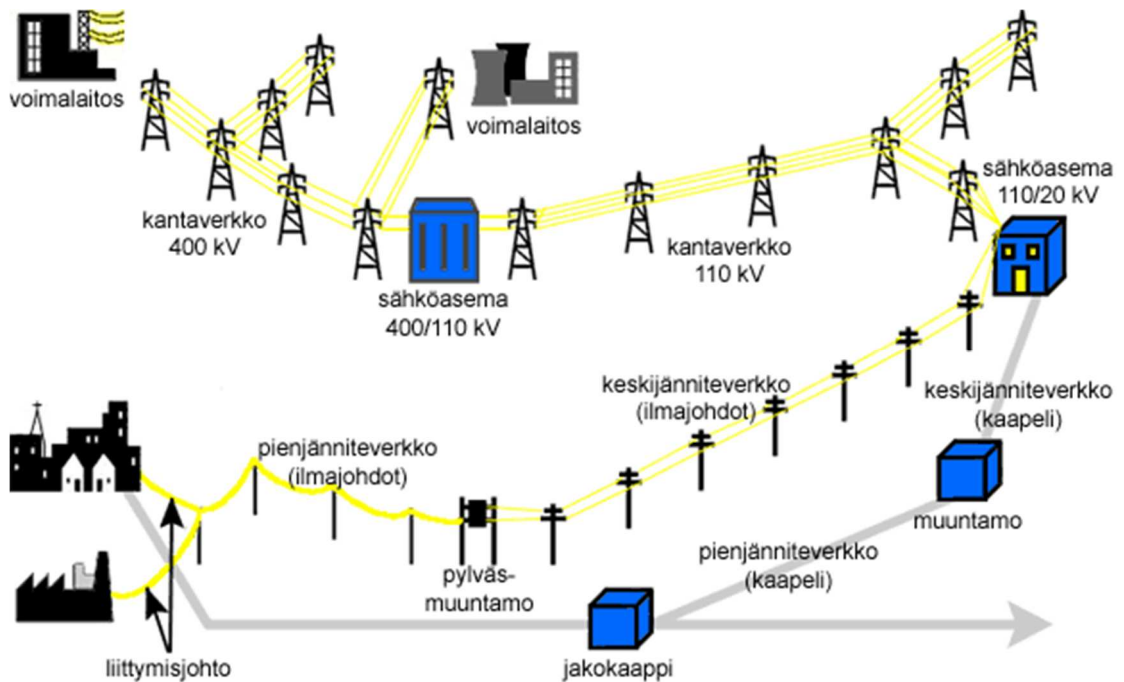
Opinnäytetyö tehtiin TSS Group Oy:lle, joka on yksi Suomalaisen ALTE Groupin tytäryhtiöistä. TSS Group Oy on vuonna 1985 perustettu sähkö-, tele-, turva- ja automaatio suunnitteluun keskittynyt insinööritoimisto, ja sillä on toimipisteitä ympäri Suomen useilla merkittävillä teollisuuspaikkakunnilla. TSS Group Oy:n Paimion yksikössä on keskitytty erityisesti sähkönjakeluverkon suunnitteluun. Suunnittelu pitää sisäl-

lään maastosuunnittelun, dokumentoinnin, verkostosuunnittelun, kunnossapitotar-
kustukset ja lupa-asioiden hoidon. (ALTE Group 2015; Nyt koko paketti sähkönjakelun
kokonaissuunnitteluun 2015.)

2 Sähköverkko Suomessa

2.1 Sähköverkon komponentit

Suomen sähköverkko koostuu suurjännitteisestä kantaverkosta, sekä keski- ja pien-
jännitteisestä jakeluverkosta. Käytössä olevat jännitetasot ovat kantaverkossa 400
kV, 220 kV sekä 110 kV ja jakeluverkossa 20 kV, 10 kV, 1 kV ja 0,4 kV. Suurien jännit-
teiden käyttö etenkin kantaverkossa perustuu siirtohäviöiden minimointiin, sillä ver-
kossa kulkevan virran kasvaessa sähköjohdoissa syntyvät kuormitushäviöt suurentu-
vat. Sähköverkon rakenne, sekä siihen kuuluvat komponentit ovat kuviossa 1 (Verkon
rakenne 2015; Korpinen 2015).



Kuvio 1. Sähköverkon rakenne Suomessa (Sähkönsiirto 2013).

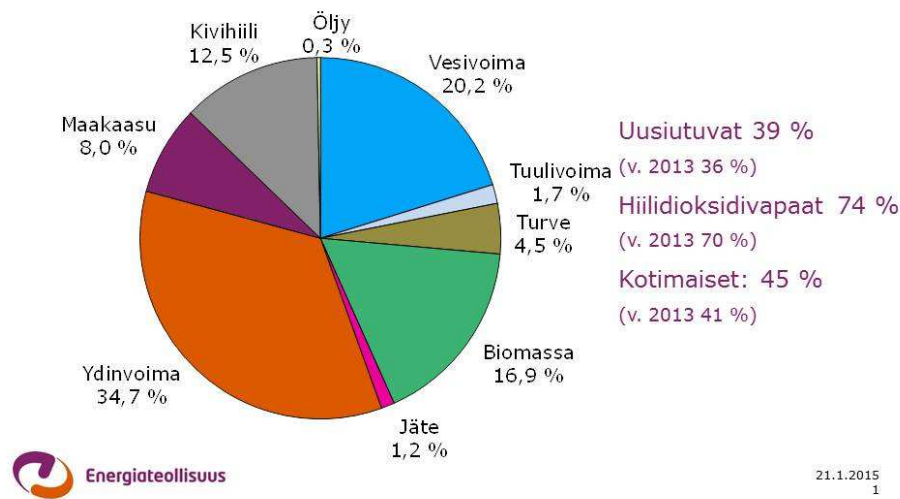
Sähköverkon solmupisteinä toimivat sähköasemat, joissa yhdistyvät jännitetasoltaan erilaiset voimajohdot. Sähköasemat voidaan jakaa kytkinasemiin ja muuntolaitoksiin, sen mukaan mihin asemaa käytetään. Kytkinaseman tarkoituksena on yhdistää keskenään samaa jännitetasoa olevia johtoja katkaisijoiden ja erottimien avulla, kun taas muuntolaitoksella yhdistyvät eri jännitetasojen johdot siellä olevien muuntajien kautta. Sähköasemilla voidaan siis jännitetasoa muuttaa halutun laiseksi sekä keskitää ja jakaa sähkönsiirtoa. (Verkon rakenne 2015; Sähköasemat ja sen tärkeimmät laitteet 2004.)

Jakeluverkossa jännitetasoa muunnetaan kuluttajille sopivaksi jakelumuuntajien avulla. Suurin osa käytössä olevista jakelumuuntajista on vielä pylväsmuuntajia, mutta sähköverkon maakaapeloinnin seurauksena puistomuuntamoiden osuus tulee tulevaisuudessa kasvamaan. (Verkon rakenne 2015.)

Sähköverkkoon kuuluvat myös muutamat ulkomaanyhteydet. Suurin osa Suomen tuontisähköstä tulee Ruotsista, Virosta, Norjasta ja Venäjältä. Vuonna 2013 tuontisähkön osuus oli 19 % sähkön kokonaiskulutuksesta. (Verkon rakenne 2015.)

Sähköverkkoon on liittyneenä myös generaattoreita, joilla voidaan tuottaa energiaa sähköverkkoon (Verkon rakenne 2015). Suomessa sähköä voidaan tuottaa varsin monipuolisesti usealla energialähteellä. Esimerkiksi vuonna 2014 sähköntuotantoon käytettiin yhdeksää eri energialähdettä, jotka ovat näkyvillä kuviossa 2. (Sähköntuotanto 2015.)

Sähköntuotanto energialähteittäin 2014 (65,4 TWh)



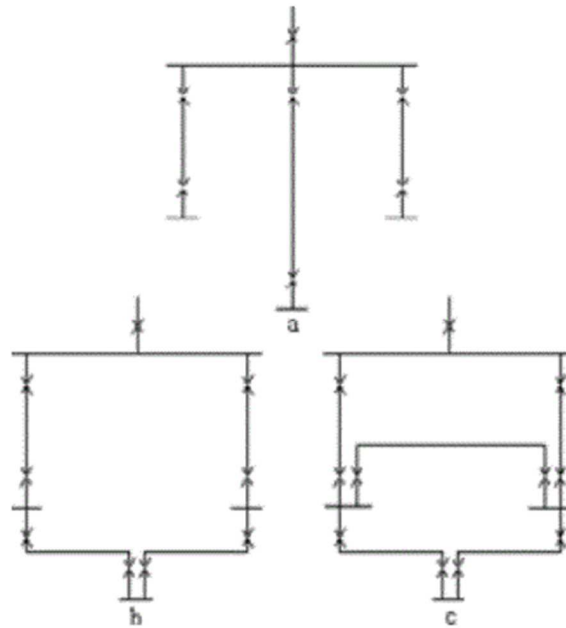
Kuvio 2. Sähköntuotantoon käytetyt energialähteet vuonna 2014 (Sähköntuotanto 2015).

Sähköä tuotetaan Suomessa 400 voimalaitoksen ja myydään 120 yrityksen voimin. Voimalaitoksista yli puolet on vesivoimalaitoksia, sillä vesivoima on tuotantomuotona helposti säädettävä sekä hyötysuhteeltaan hyvä. Lisäksi vesivoima on uusiutuvaa energian tuotantoa. Muita voimalaitostyyppejä ovat esimerkiksi lämpövoimalaitokset, kaasuturpiinivoimalat, tuulivoimalat ja aurinkosähkölaitteistot. (Verkon rakenne 2015; Sähköntuotanto 2015.)

2.2 Sähköverkon rakenne

2.2.1 Sähkönjakeluverkon toteutustavat

Sähkönjakeluverkko voi rakenteeltaan tyypillisesti olla kahden lainen, joko säteittäisverkko tai silmukkaverkko. Säteittäisessä verkossa kuormituksia on mahdollista syöttää vain yhtä reittiä, kun taas silmukoidussa verkossa syöttö voidaan tarvittaessa ottaa toisestakin suunnasta. (Korpinen 2015.) Verkon rakenneratkaisut on esitetty kuviossa 3, jossa verkko a) on tyypiltään säteittäisverkko ja b) ja c) silmukkaverkkoja.



Kuvio 3. Erilaiset sähköverkon rakenneratkaisut (Korpinen 2015).

Säteittäisverkkoa käytetään pääasiassa pienjännitteisen jakeluverkon toteutuksessa maaseudulla, jossa se on kustannustehokkain vaihtoehto. Silmukkaverkkoa käytetään yleisesti keskijännitteisen jakeluverkon toteutuksessa, kun on tärkeää, että verkolla on hyvä käyttövarmuus eikä vikaantuminen aiheuta pitkää katkoa sähkönjakelussa. Silmukkaverkkoa käytettäessä myös jännitteenalenema ja tehohäviöt ovat pienempiä säteittäisverkkoon verrattaessa. Toisaalta taas oikosulkuvirrat ovat silmukkaverkossa suurempia ja suojausten toteuttaminen monimutkaisempaa. (Korpinen 2015.)

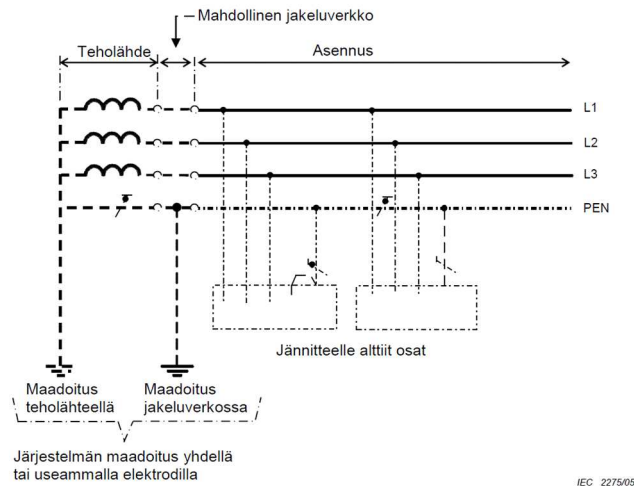
2.2.2 Sähkönjakelujärjestelmät

Suomen sähköverkossa on käytössä useita eri jakelujärjestelmiä, jotka jaotellaan pääasiassa järjestelmän maadoitustavan sekä siinä käytettävien johtimien mukaan taulukossa 1 näkyvällä tavalla. Vaihtosähköjärjestelmät ovat yksi-, kaksi- tai kolmivaihejärjestelmiä ja ne sisältävät tyypillisesti myös paluu- eli nollajohtimen. Suojausten vuoksi joissain jakelujärjestelmissä käytetään myös suoja- eli PE-johdinta tai yhdistettyä PE- ja nollajohdinta eli PEN-johdinta. (Harsia 2008.)

Taulukko 1. Sähkönjakelujärjestelmän tunnuksen muodostuminen (Harsia 2008).

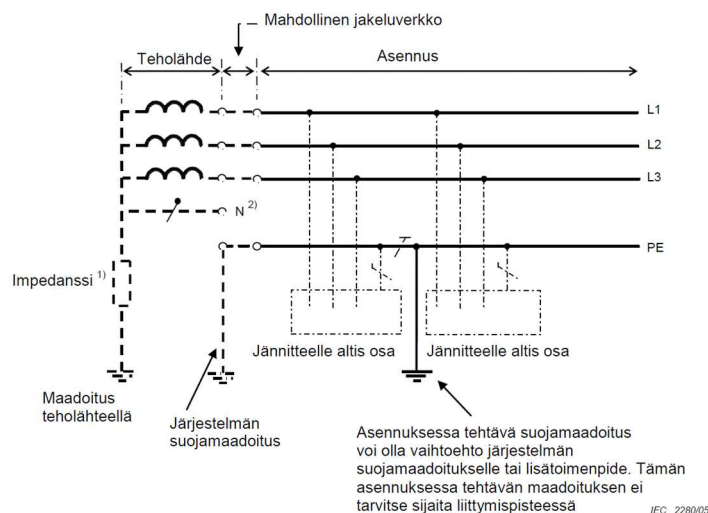
Sähkönjakelujärjestelmät	
1. Kirjain: Jakelujärjestelmän maadoitustapa	T = Yksi piste on yhdistetty suoraan maahan I = Kaikki jännitteiset osat on eristetty maasta, tai yksi piste on yhdistetty maahan impedanssin kautta
2. Kirjain: Sähkölaitteiston jännitteelle alltiiden osien maadoitustapa	T = Jännitteelle alltiit osat on yhdistetty galvaanisesti suoraan maahan riippumatta jakelujärjestelmän maadoitustavasta N = Jännitteelle alltiit osat on yhdistetty jakelujärjestelmän maadoitettuun pisteeseen
3. Mahdolliset lisäkirjaimet	S = Erilliset nolla- ja suojamaadoitusjohtimet C = Nolla- ja suojamaadoitusjohtimet on yhdistetty yhteen johtimeen

Pienjännitteisessä eli 0,4 kV:n sähkönjakelussa käytetään tyypillisesti kuvion 4 mukaista TN-C-järjestelmää, jossa on kolmen vaihejohtimen lisäksi myös yhdistetty PEN-johdin. TN-C-järjestelmää käytettiin aiemmin myös kiinteistöjen sähköverkoissa aina 80-luvulle saakka, mutta nykyään sen käyttö on käytännössä mahdotonta, sillä TN-C-järjestelmän käyttö on sallittua ainoastaan sellaisissa tilanteissa, joissa järjestelmän kaapelit ovat poikkipinnaltaan varsin suuria, vähintään 10 mm² kuparikaapeleita tai 16 mm² alumiinikaapeleita. (Kaipia 2013; Harsia 2008.)



Kuvio 4. TN-C-järjestelmä (SFS 6000-1).

Kuvion 5 mukaista IT-järjestelmää käytetään yleisesti 20 kV:n sähkönjakeluverkossa. IT-järjestelmä voi olla kokonaan erotettu maasta, tai sen yksi piste voidaan kytkeä maahan suuren impedanssin välityksellä, jolloin esimerkiksi mahdollisen maasulun (ks. luku 3.3) valvonta on mahdollista. IT-järjestelmän käytön suosio sähkönjakelussa perustuu siihen, että mahdollinen maasulku ei aiheuta siinä välitöntä käyttökäytystä, mikäli maasulkuvirta jää riittävän pieneksi. (Kaipia 2013; Harsia 2008.)



Kuvio 5. IT-järjestelmä (SFS 6000-1).

2.3 Sähköverkon ongelmat ja häiriötekijät

Sähköverkon haavoittuvin osa on tällä hetkellä 20 kV:n keskijänniteverkko. Keskijänniteverkkoa on Suomessa yhteensä 140 000 km, ja siitä valtaosa on vielä ilmajohtoverkkoa. Ilmajohtoverkko on erittäin herkkää säästä johtuville häiriöille, kuten ukkosille ja myrskyille. Laajat tuhot saattavat johtaa erittäin pitkiin sähkönjakelun keskeytyksiin tai suurhäiriöihin. Myös ilmastonmuutoksen on arveltu vaikuttavan välillisesti sähköverkon vikaantumistaajuuden kasvuun. Tulevaisuudessa maisema-arvojen korostuminen tulee vaikeuttamaan lupien saantia ilmajohtojen tarvitsemia johtokatuja varten. (Kumpulainen, Laaksonen, Komulainen, Martikainen, Lehtonen, Heine, Silvast, Imris, Partanen, Lassila, Kaipia, Viljainen, Verho, Järventausta, Kivikko, Kauhaniemi, Lågland & Saaristo 2006, 77–78.)

Haja-asutusalueella on sähköverkolla nähtävissä selvästi kaksi keskeistä ongelmaa. Sen lisäksi, että jakeluverkon avojohtoina toteutetut 20 kV:n keskijännitelinjat ovat varsin vikaherkkiä, myös haja-asutusalueen jakeluverkon pylväät ovat ikääntymässä. (Mts. 11.)

Taajamaverkoissa ongelmiksi ovat puolestaan nousseet kuormitushuippujen muodostuminen, tilankäytön haasteet, ympäristövaikutukset sekä jäähdytyskuormien kasvu. Taajama-verkoissa verkon ikääntyminen ei ole yhtä suuri ongelma kuin haja-asutusalueella, sillä verkko uudistuu luonnollisesti jo alueiden kasvun takia, jolloin rakennetaan samalla myös uutta sähköverkkoa. (Mts. 11–12.)

2.4 Tulevaisuuden näkymät

Pyrkimys vähentää sähköverkon alttiutta suurhäiriöille on lisännyt kiinnostusta sähköverkon maakaapelointia kohtaan. Viime aikoina mm. kaapelointitekniikoiden kehittyminen ja kustannusten lasku ovat mahdollistaneet sähköverkkojen maakaapeloinnin kasvun. Etenkin haja-asutusalueilla on asennustapana yleistymässä maakaapeleiden auraaminen, joka on osoittautunut perinteisen ilmajohtoverkon rakentamista edullisemmaksi verkonrakennusvaihtoehdoksi. Toisaalta auraaminen ei ole mahdollista kaikilla alueilla esimerkiksi kallioisesta tai kivikkoisesta maaperästä johtuen. (Kumpulainen ym. 2006, 78, 38–39.)

Toisaalta maakaapeloinnin kasvu keskijänniteverkoissa aiheuttaa myös maasulkuvirtojen kasvua, mikä puolestaan aiheuttaa vikatilanteessa vaarallisen maadoitusjännitteen vikapaikkaan. Tämän vuoksi verkossa on oltava myös maasulkuvirran kompensointilaitteistoja. Vaihtoehtoina ovat keskitetty kompensointi, joka toteutetaan sähköasemille asennettavilla kompensointilaitteilla, tai hajautettu kompensointi, jossa kompensointilaitteistoja sijoitellaan hajautetusti 20 kV:n jakeluverkon johtolähdöille. Maasulkuvirran sammutuksen avulla voidaan vähentää jälleenkytkentöjen määrää sähköverkossa, mikä parantaa sähkönjakelun varmuutta. (Mts. 48–49.)

Kaapeloinnin haasteita ovat myös pitkät korjausajat mahdollisissa vikatilanteissa. Maakaapeloinnin lisääntyessä luontevaksi verkon rakenneratkaisuksi nousee luvussa 2.2.1 esitelty silmukoitu jakeluverkko. Silmukkaverkko mahdollistaisi kulutuspisteiden syötön useasta eri suunnasta, jolloin katkosajat sähkönjakelussa saataisiin lyhemiksi. (Mts. 78.)

Taajamien sähköverkkoja uudistaessa tulisi ottaa huomioon etenkin kuormituksen kasvu tietyillä alueilla. Kustannustehokkuuden parantamiseksi olisi suositeltavaa toteuttaa sähköverkko yhteisrakentamisella muun infrastruktuurin kanssa. (Mts. 82–83.)

Sähköverkkojen uudistamiseksi luodaan paineita myös vuonna 2013 voimaan tulevassa sähkömarkkinalaissa, jossa jakeluverkosta todetaan seuraavaa (L 588/2013, 51 §):

Jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava, ja sitä on ylläpidettävä siten, että:

- 1) verkko täyttää järjestelmävastaavan kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset
- 2) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta asemakaava-alueella verkon käyttäjälle yli 6 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä
- 3) jakeluverkon vioittuminen myrskyn tai lumikuorman seurauksena ei aiheuta muualla kuin kohdassa 2 tarkoitetulla alueella verkon käyttäjälle yli 36 tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä.

Jakeluverkonhaltija voi määrittää käyttöpaikkaan sovellettavan tavoitetason 1 momentin 3 kohdasta poiketen paikallisten olosuhteiden mukaisesti, jos:

- 1) käyttöpaikka sijaitsee saarella, johon ei ole siltaa tai vastaavaa muuta kiinteää yhteyttä taikka säännöllisesti liikennöivää maantielauttayhteyttä; tai

- 2) käyttöpaikan vuotuinen sähkönkulutus on ollut kolmen edellisen kalenterivuoden aikana enintään 2 500 kilowattituntia ja 1 momentin 3 kohdan vaatimusten täyttämisen edellyttämien investointien kustannukset olisivat käyttöpaikan osalta poikkeuksellisen suuret sen muista käyttöpaikoista etäisen sijainnin vuoksi.

3 Sähköverkon vikatilanteet

Seuraavissa luvuissa esitellään tyypillisimpiä sähköverkossa syntyviä vika- ja häiriötilanteita, jotka tulee ottaa huomioon sähköverkon suunnittelun yhteydessä.

3.1 Ylikuormitus

Ylikuormituksella tarkoitetaan sellaista tilannetta, jossa kaapeli on kytketty syöttämään sille liian suuritehoista kuormaa. Ylikuormitussuojan tehtävänä on suojata kaapeleita ylikuormitustilanteesta aiheutuvan liian suuren virran aiheuttamalta lämpenemiseltä. (Harsia 2013.)

Kun tiedetään syötettävän kuorman teho, voidaan kuorman virta laskea kaavalla 1 (Harsia 2007). Kaapelia ylikuormitukselta suojaavan suojalaitteen valinnan ehdot on esitetty luvussa 5.3.4.

$$I_B = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} \quad (1)$$

jossa

I_B = kuormitusvirta [A]

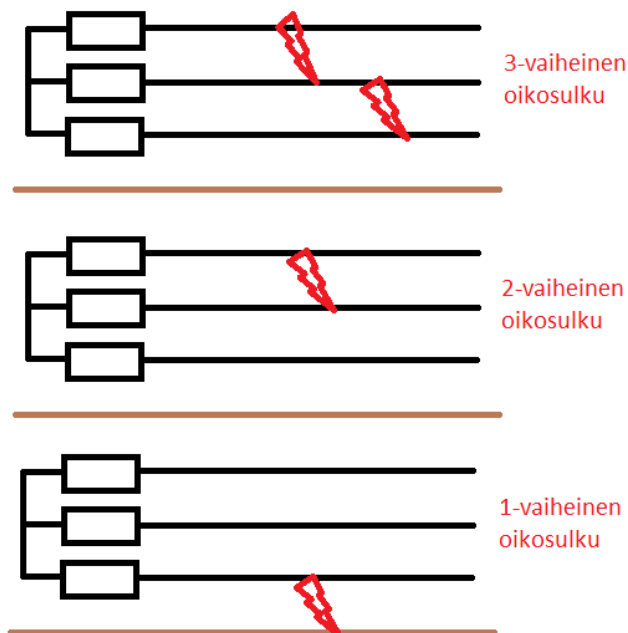
U = jännite [kV]

$\cos\varphi$ = tehokerroin

P = kuorman teho [kW]

3.2 Oikosulku

Oikosulkutilanteessa kahden tai useamman virtajohtimen välille syntyy pieni-impedanssinen eristysvika kuvion 6 mukaisesti. Mikäli oikosulku syntyy yhden ääri- eli vaihejohtimen ja nollajohtimen välille, on kyseessä yksivaiheinen oikosulku. Jos oikosulku syntyy kahden tai useamman äärijohtimen välille, on oikosulku silloin monivaiheinen. (Oikosulku 2015.)



Kuvio 6. Verkon oikosulkutilanteet

Oikosulku aiheuttaa verkkoon sekä dynaamisia että termisiä vaikutuksia, kuten esimerkiksi laitteiden lämpenemistä, valokaari-ilmiöitä, vaarajänniteitä ja paineiskuja. Jotta verkko ja sen laitteet toimisivat turvallisesti ja luotettavasti, on oikosulun vaikutukset otettava huomioon suunnittelun ja mitoituksen aikana. Oleellista on, että oikosulku saadaan kytkettyä pois riittävän nopeasti, ettei suurempia vaurioita tai vaaratilanteita pääsisi syntymään. (Oikosulkusuojaus 2015; Tiainen 2015.)

Oikosulkuvirran suuruus voidaan laskea kaavalla 2. Laskennassa tarvittava kerroin c valitaan taulukon 2 mukaisesti. (Hietalahti 2013, 267–268.)

$$I''_K = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (2)$$

jossa

I''_k = oikosulkuvirta [A]

c = jännitekerroin

U_n = vikapaikan käyttöjännite vikahetkellä [V]

R_k = oikosulkupiirin resistanssi vikapaikasta katsottuna [Ω]

X_k = oikosulkupiirin reaktanssi vikapaikasta katsottuna [Ω]

Z_k = oikosulkupiirin impedanssi vikapaikasta katsottuna [Ω]

Taulukko 2. Jännitekertoimen valinta oikosulkuvirran laskentaa varten (Hietalahti 2013, 268).

Jännite U_n	Maksimioikosulkuvirta C_{\max}	Minimioikosulkuvirta C_{\min}
< 1000 V		
230/400 V	1.0	0.95
muut jännitteet	1.05	1.00
1 - 35 kV	1.10	1.00
35 - 230 kV	1.10	1.00

3.3 Maasulku

Maasulku on tilanne, jossa vaihejohtimen ja maan välille syntyy eristysvika. Oikosulun tapaan myös maasulku voi olla monivaiheinen, eli se voi sattua useamman vaihejohtimen ja maan välille. Mikäli maasulku tapahtuu siten, että useamman vaihejohtimen ja maan välinen eristysvika syntyy samassa kohtaa järjestelmää, on kyseessä maaosulku. Mikäli eristysviat vaihejohtimen ja maan välillä sattuvat yhtä aikaa järjestelmän monessa kohdassa, on silloin kyseessä kaksois- tai kolmoismaasulku. Käytännössä maasulun saattaa aiheuttaa esimerkiksi sähkölinjalle kaatunut puu tai maakaapelin vaurioituminen kaivutöiden yhteydessä (Maasulku 2015; Åkerberg 2015.)

Suorassa maasulussa syntyvän maasulkuvirran likiarvoinen suuruus voidaan laskea kaavojen 3 ja 4 avulla. Kaavaa 3 käytetään maasulkuvirran laskentaan ilmajohtoverkossa ja kaavaa 4 maakaapeliverkossa. Todellisuudessa maasulkuvirran suuruuteen sähköverkossa vaikuttavat myös käytettävät kaapeli –ja ilmajohtotyypit, niiden poikkipinnat sekä maasulkupaikan vikaresistanssi. (Partanen 2011; Åkerberg 2015.)

$$I_f \approx \frac{U \cdot l}{300 \cdot \text{kV} \cdot \text{km}} \quad (3)$$

$$I_f \approx \frac{U \cdot l}{5 \cdot \text{kV} \cdot \text{km}} \quad (4)$$

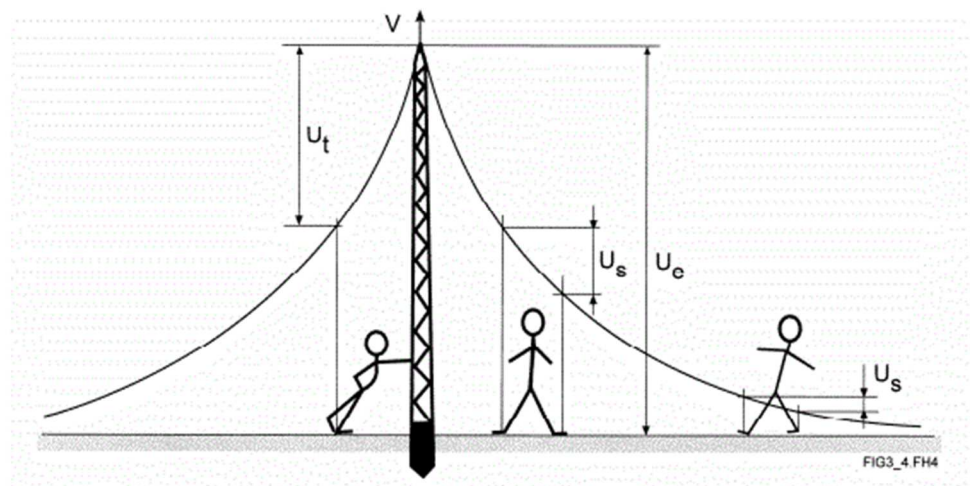
joissa

I_f = maasulkuvirta [A]

U = jännite [kV]

l = verkon kaapeleiden tai ilmajohtojen kokonaispituus [km]

Maasulun aiheuttama pieni vikavirta synnyttää vikapaikkaan maadoitusjännitteen, U_e , jonka suuruus riippuu vikapaikan maadoitusresistanssin arvosta. Mikäli jokin henkilö tai eläin joutuu vikapaikan läheisyyteen, kokee se puolestaan maadoitusjännitteen suuruudesta riippuvan kosketusjännitteen, U_t , tai askeljännitteen, U_s , kuvion 6 mukaisesti. Henkilön tai eläimen kokeman jännitteen suuruus riippuu siis myös siitä, kuinka lähellä vikapaikkaa ollaan. (Partanen 2011)



Kuvio 7. Kosketusjännitteen syntyminen (Partanen 2011).

Maasulun aikana myös vaiheiden ja järjestelmän tähtipisteen jännitteet muuttuvat. Viallisen vaiheen jännite pienenee vikaresistanssin suuruudesta riippuen, jolloin puolestaan terveiden vaiheiden jännitteet nousevat. (Mt. 2011)






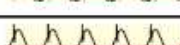
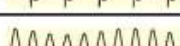
Koska maasulkuvirta on verkon ominaisuuksista johtuen lähes puhdasta kapasitiivista vikavirtaa, voidaan se kompensoida pois käyttämällä sähköisiltä ominaisuuksiltaan induktiivisia keloja. Yksinkertaistettuna voidaan ajatella, että induktiivinen ja kapasitiivinen komponentti kumoavat toisensa, jolloin maasulkuvirta saadaan poistettua.

(Åkerberg 2015.) Maasulkuvirran kompensointilaitteistoista ja niiden sijoittamisesta sähköjakeluverkkoon kerrotaan lisää luvuissa 5.2.2 ja 5.3.8.

4 Sähkönlaatu

4.1 Yleisimmät ongelmat sähkönlaadussa

Suurimmat ongelmat sähkönlaadun osalta liittyvät ylijännitteeseen, transientteihin, harmonisiin aaltoihin, jännite-epätasapainoon ja jännitteen vaihteluun. Mahdollisia syitä häiriöille sähköjakelussa voi löytyä useita, ja tyypillisimmät niistä löytyvät kuvista 8. (Alanen & Hätönen 2006, 11.)

Häiriötyyppi	Kuvaus	Mahdolliset syyt
Sähkön jakelun katkos (> 1min)		Huoltotoimet, linjaviat, onnettomuudet, sää, tuuli, salamät, jää
Pitkäaikainen ylijännite		Pieni kuormitus, huono säätö
Pitkäaikainen alijännite		Raskas kuorma, voimakkaat kuormitushuiput, ei loistehonsäätöä, huono tehokerroin
Hetkelliset katkokset		Katkasijoiden laukeaminen, vian selvitystilanne, syötön vaihto
Jännitekuopat		Suurien kuormien kytkentä, hetkelliset viat, katkaisijoiden toiminta, induktiiviset kuormat
Hetkelliset ylijännitteet		Piirin kapasitanssi, suurten kuormien poiskytkentä, vaihevika
Transienttijännitteet		Valaistus, kapasitiivien kytkentä, virtasuojan laukeaminen, epälineaariset kuormat, häiriöt
Harmoniset virran yliaallot		Epälineaariset komponentit, korkeataajuiset kytkennät, TV, tietokoneet, valaistus, huono tehokerroin, laitteiden aiheuttama signaalihäiriö
Jaksolliset häiriöt (t < 0,5 sykliä)		Tehoelektroniikkalaitteet
Välkyntä		Eritaajuinen jännitteen vaihtelu, valaistus, loistehon vaihtelu
Jännite-epätasapaino		Epätasainen kuormitus, kompensointikondensaattorit, moottorit

Kuvio 8. Sähköjakelun tyypillisimmät häiriöt ja niiden mahdolliset syyt (Alanen & Hätönen 2006, 12).

Sähkönlaatuun liittyen todetaan sähkömarkkina-alueissa seuraavaa (L 588/2013, 98 §):

Jollei toisin ole sovittu, sähkönjakelussa ja muussa verkkopalvelussa sekä sähköntoimituksessa on virhe, jos sähkö ei laadultaan vastaa Suomessa noudatettavia standardeja taikka jos sähkönjakelu tai sähköntoimitus on yhtäjaksoisesti tai toistuvasti keskeytynyt eikä keskeytystä voida pitää keskeytyksen syy ja olosuhteet huomioon ottaen vähäisenä.

Virhe voi puolestaan oikeuttaa loppukäyttäjän virhettä vastaavaan hinnanalennukseen tai korvaukseen vahingosta, mikäli loppukäyttäjä kärsii virheen vuoksi (L 588/2013, 98 §, 99 §).

4.2 Sähköverkon taajuus

Suomessa jakeluverkolle on nimellistaajuudeksi määritelty 50 Hz. Taajuus saattaa vaihdella esimerkiksi sellaisessa tilanteessa, jossa jokin sähköä tuottava voimalaitos jää syöttämään sellaista osaa verkosta, joka on erotettu muusta sähköverkosta jotenkin virheellisesti. (Sähköntoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 13.)

Taulukko 3. Sallitut taajuuden muutokset sähkönjakeluverkossa (Sähköntoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 13).

Yhteiskäyttöverkoissa	Erillisverkoissa (esim. erilliset jakelujärjestelmät joillain saarilla)
50 Hz ± 1 %, 99,5 % vuodesta	50 Hz ± 2 %, 95 % viikosta
50 Hz – 6 % / +4 %, kokoajasta	50 Hz ± 15 %, 100 % kokoajasta

Nimellisestä taajuudesta sallitaan myös taajuuspoikkeamia normaaleissa verkon käyttöolosuhteissa. Taulukossa 3 on esitetty raja-arvot perustaajuuden keskiarvolle

10 sekunnin aikaväliltä mitattuna. Määrittelyssä ei oteta kantaa tilapäisille varavoimakonekäyttöille, mutta näihin on mahdollista soveltaa erillisverkoille tarkoitettuja raja-arvoja. (Mts. 13–14.)

4.3 Sähköverkon jännite ja jännitetason vaihtelut

Pienjänniteverkossa on nimellisjännitteeksi määritelty 230 V. Jännitetaso saattaa vaihdella esimerkiksi kuormituksen muutoksien johdosta. Pienjänniteverkoissa yleinen jännitetason muutoksen aiheuttaja vikatilanteissa on nollavika. (Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 14.)

Jakelujännitteen suuruuteen vaikuttavat liittymispisteen sijainti verkossa, verkon mitoitus ja sen kuormitustilanne. Jännitetasoa seurataan sähköasemilta saatavan mitausdatan avulla, jonka perusteella voidaan myös laskea liittymiskohdan jännite. Jännitetasoa voidaan tarkkailla myös liittymiskohdissa etäluettavien mittareiden avulla. (Mts. 14.)

Jakeluverkoissa on tyypillistä että jännite alenee kulutus pisteiden aiheuttaman kuormitusvirran vuoksi. Jänniteenalenema voidaan laskea kaavalla 5, ja se ilmoitetaan yleensä prosenttisuhteena jännitteen nimellisarvoon nähden kaavan 6 mukaisesti. (Hietalahti 2013; Korpinen 2015.)

$$U_h = I * R * \cos\varphi + I * X * \sin\varphi \quad (5)$$

jossa

U_h = jänniteenalenema [V]

I = virta [A]

R = johdon tai kaapelin kokonaisresistanssi vaihetta kohden [Ω]

X = johdon tai kaapelin kokonaisreaktanssi vaihetta kohden [Ω]

$\cos\varphi$ = tehokerroin

$\sin\varphi$ = loistehokerroin

$$\Delta U = \frac{|\underline{U}_N| - |\underline{U}_2|}{|\underline{U}_N|} * 100\% \quad (6)$$

jossa

ΔU = jännitteen muutos [%]

\underline{U}_N = nimellisjännite [V]

\underline{U}_2 = kulutuspään jännite [V]

Jännitteen muutoksille on pienjänniteverkon osalta asetettu standardeissa raja-arvot, joissa jännitteen on normaaliolosuhteissa pysyttävä (Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 14):

- Jännitteen tehollisarvojen 10 minuutin keskiarvoista 95 % on oltava välillä $\underline{U}_N \pm 10\%$.
- Jännitteen kaikkien 10 minuutin keskiarvojen on oltava välillä $\underline{U}_N + 10\% / - 15\%$.
 - Jännitteen tulisi erittäin syrjäisillä seuduilla pysyä välillä $\underline{U}_N + 10\% / - 15\%$.

4.4 Verkon epäsymmetria

Epäsymmetrialla tarkoitetaan sellaista tilannetta, jossa verkon vaihejännitteiden tehollisarvot ja jännitteenosoittimien kulmat eivät ole keskenään yhtä suuria. Pienjänniteverkossa epäsymmetriaa esiintyy lähes poikkeuksetta aina jonkin verran, sillä vaiheet eivät kuormitu tasaisesti johtuen verkkoon kytketyistä yksivaiheisista sähkölaitteista. Toisaalta epäsymmetria saattaa johtua myös esimerkiksi maasulusta tai yhden vaiheen pois putoamisesta. (Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 16)

4.5 Yliaallot

Yliaallot ovat sellaisia jakeluverkon jännitteitä tai virtoja, joiden taajuus ylittää normaalin verkkotaajuuden. Yliaaltoja sähköverkkoon aiheuttavat virran tai jännitteen suhteen epälineaariset virtapiirin osat. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi erilaiset suuntaajat. (Ruppa 2001; Korpinen ym. 2015.)

Yksinkertaistettuna voidaan ajatella, että normaalitilanteessa vaihtovirtaverkko on symmetrinen, ja sen jännite on puhtaasti sinimuotoista. Yliaaltoa aiheuttava laite syöttää verkkoon virtayliaaltoja, jotka puolestaan synnyttävät verkon impedansseissa jännitteen yliaaltoja jotka summautuessaan perusaaltoon aiheuttavat jännitteen käyrämuodon vääristymistä eli säröytymistä. (Mt. 2015.)

Yliaallot aiheuttavat sähköverkossa esimerkiksi ylimääräistä lämpenemistä, eristeiden vanhenemista ja häviöitä. Haitallisin yliaaltojen aiheuttama ilmiö on kuitenkin resonanssi. Resonanssilla tarkoitetaan ilmiötä jossa yliaallon taajuus on lähellä verkon resonanssitaajuutta. Tällöin yliaaltovirrat tai jännitteet moninkertaistuvat. (Mt. 2015.)

4.6 Transienttiylijännitteet ja käyttötaajuiset ylijännitteet

Transienttiylijännite on esimerkiksi salaman iskusta johtuva lyhytkestoinen itsestään poistuva ylijännite. Ylijännitteen nousuaika on alle mikrosekunnista muutamisiin millisekunteihin ja tavallisesti se vaimenee nopeasti ja kestää enimmillään vain muutamia millisekunteja. Transienttiylijännitteet aiheuttavat verkossa tavallisesti sulakkeen palamisen tai katkaisijan toiminnan. (Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 18–19.)

Käyttötaajuiset ylijännitteet ovat suhteellisen pitkäkestoisia ylijännitteitä. Ylijännitteet saattavat johtua kytkentätoimenpiteistä tai verkon vikatilanteista, kuten kuorman yllättävästä alenemisestä, yksivaiheisesta viasta, tai epälineaarisuudesta. Tilanne korjaantuu, kun ylijännitteen aiheuttaja saadaan selvitettyä. (Mts. 18.)

5 Sähkönjakeluverkon suunnittelun vaiheet

5.1 Suunnittelun lähtökohdat

Sähkönjakeluverkon suunnitteluprojekti lähtee liikkeelle sähköverkkoyhtiön tekemästä alustavasta suunnitelmasta. Alustavan suunnitelman yksityiskohtaisuus saattaa vaihdella paljonkin projektista riippuen. (Åkerberg 2015.)

Alustavasta suunnitelmasta yleensä selviää mitä verkon osia suunnitelma käsittää, mutta luvussa 2.3 esitetyistä syistä johtuen on tyypillistä, että sähköverkon uudistukset rajoittuvat pääasiassa keskijännitteisen jakeluverkon osalle. Toisaalta joissain tilanteissa voidaan nähdä järkeväksi myös pienjännitteisen jakeluverkon maakaapelointi, etenkin jos verkko on erittäin huonokuntoista ja edellyttäisi joka tapauksessa laajoja parannustoimenpiteitä. Pienjännitteistä jakeluverkkoa saatetaan myös kaapeloida sellaisissa tilanteissa, joissa pienjännitekaapeli voidaan asentaa keskijännitekaapelin kanssa samaan kaapeliojaan. Tämä on kuitenkin aina tapauskohtaista. (Mt. 2015.)

On myös tyypillistä, että verkonhaltija on etukäteen määrittänyt, minkälaisia kaapeleita ja muuntamotyyppisiä se haluaa suunnittelutyössä käytettävän. Mikäli suunnitelma käsittää myös erotinasemia tai maasulkuvirran kompensointilaitteistoja, on myös ne määritelty alustavassa suunnitelmassa. (Mt. 2015.)

5.2 Maastosuunnittelu

Seuraavissa luvuissa perehdytään maastosuunnitteluun, joka on yksi sähköverkon suunnittelun tärkeimmistä työvaiheista. Maastosuunnittelun tavoitteena on löytää parhaat mahdolliset kaapelointireitit sekä sijoituspaikat erilaisille sähköverkon komponenteille, kuten muuntamoille ja jakokaapeille. (Kukkonen 2015.)

Maastosuunnittelu voidaan aloittaa heti kun alustava suunnitelma on saatu valmiiksi, ja sitä jatketaan läpi koko projektin (Mt. 2015).

5.2.1 Alustava suunnittelu

Ennen varsinaista maastossa tapahtuvan suunnittelutyön aloittamista olisi suunnitellaan ja sen tavoitteisiin hyvä tutustua mahdollisimman hyvin. Alustavaan suunnitteluun kuuluu esimerkiksi mahdollisten kaapelireittien ja muuntamopaikkojen kartoitus erilaisten kartta- ja tietopalveluiden avulla. (Kukkonen 2015.)

Alustavan suunnittelun aikana on hyvä myös kartoittaa alueen muita mahdollisia toimijoita, kuten tele-yhtiöitä. Tietoa kannattaa kerätä myös mahdollisista suunnittelun kannalta haastavista alueista ja kohteista, kuten luonnonsuojelualueista tai museovieraston suojelemista kohteista. Suunnitelma-alueella saattaa olla myös esimerkiksi maakaasuputkia tai suurjännitelinjoja, jotka myös oleellisesti vaikuttavat suunnitteluun. (Mt. 2015.)

Alustavan suunnittelun aikana kerätyt tiedot kootaan suunnittelussa käytettävään suunnitelmakarttaan, jota käytetään apuvälineenä koko suunnitteluprojektin ajan. Suunnittelun valmistuttua valmiista suunnitelmakartasta myös jalostetaan erilaisia palautettavia karttadokumentteja tilaajan vaatimusten mukaisesti erilaisiin käyttötarkeoituksiin. (Mt. 2015.)

5.2.2 Puistomuuntamoiden, erotinasemien ja maasulkuvirran kompensointilaitteistojen sijoituspaikkojen valinta

Varsinainen maastosuunnittelu aloitetaan tyypillisesti muuntamoiden sekä mahdollisten erotinasemien ja maasulkuvirran kompensointilaitteistojen sijoituspaikkojen kartoituksesta ja valinnasta, sillä sijoituspaikat vaikuttavat oleellisesti koko verkon rakenteeseen ja alustavan suunnitelman toteutuskelpoisuuteen. Puistomuuntamoiden sijoituspaikkojen valinnassa on tärkeää, että muuntamo pystyttäisiin sijoittamaan mahdollisimman lähelle vanhaa pylväsmuuntajaa, jolloin verkkoyhtiön vaatimiin sähköisiin raja-arvoihin on helpompi päästä (ks. luku 5.3). Toisaalta puistomuuntamoiden olisi hyvä sijaita verkon keskikohdassa kulutuspisteisiin nähden, jolloin muuntamo pystyy syöttämään tasapuolisesti koko verkkoa. (Åkerberg 2015.)

Sijoituspaikkojen valinnassa tulee kiinnittää huomiota myös alueen maaperään ja valitseviin ympäristöolosuhteisiin. Esimerkiksi kallioinen maasto aiheuttaa haasteita rakennettavan kohteen perustusten toteuttamisen ja puistomuuntamoille vaadittujen

maadoitusarvojen saavuttamisen osalta. Rakennettavan muuntamon, erotinaseman tai maasulkuvirran kompensointilaitteiston sijoituspaikan tulisi myös sijaita mahdollisimman tasaisella maaperällä, jotta mahdollisen sortuman vaaraa ei ole. (Mt. 2015.)

Muita huomioitavia seikkoja rakennettavien kohteiden sijoituspaikkojen valinnassa ovat esimerkiksi vaatimukset liittyen kohteiden sijoittamiseen muiden rakennusten tai teiden läheisyyteen. Muuntamo, erotinasemaa tai maasulkuvirran kompensointilaitteistoa ei paloturvallisuussyistä saa sijoittaa viittä metriä lähemmän rakennuksia, mutta tämän lisäksi myös kunnat saattavat asettaa omia lisävaatimuksia etäisyyksille. Rakennettavan kohteen sijoittamiseksi tien läheisyyteen saatetaan puolestaan vaatia poikkeuslupa tai tiekunnan suostumus riippuen siitä, onko kyseessä maantie, kunnan ylläpitämä tie vai yksityistie. (Mt. 2015.)

5.2.3 Maakaapelireitin valinta

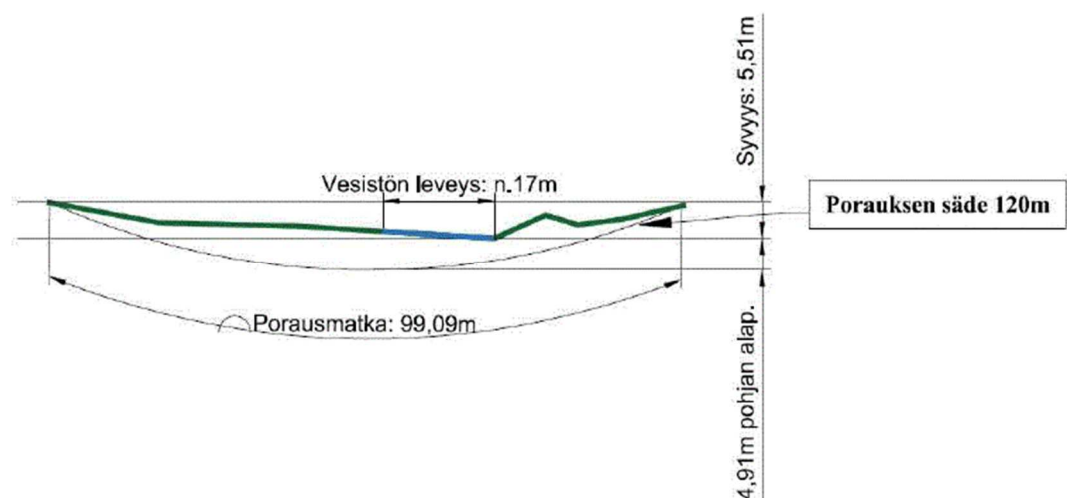
Kun muuntamoiden sijoituspaikat on saatu alustavasti kartoitettua, voidaan siirtyä suunnittelemaan kaapelireittejä. Ensimmäisenä tulee kartoittaa reitti sähköverkon runkona toimivalle keskijännitteisen jakeluverkon kaapelille. Mikäli todetaan, että pienjänniteverkon kaapelointi samalla on järkevää tai jopa suotavaa esimerkiksi verkon huonosta kunnosta johtuen, voidaan nämä kaapelit suunnitella kaivettavaksi samaan kaapeliojaan keskijännitteisen jakeluverkon maakaapelin kanssa. Mikäli jotkin verkon osat kaapeloidaan vain osittain, on otettava huomioon että ilmaan jäävät verkon osat on tuettava ja rakenteet muutettava asianmukaisiksi. (Åkerberg 2015.)

Kaapelireitin valinnassa tulee ottaa huomioon vallitsevat olosuhteet, kuten alueen maaperä ja maaston luonne. Maakaapeli tulisi asentaa vähintään 0,7 m syvyyteen, mutta tähän vaatimukseen ei aina ole mahdollista päästä. Silloin kaapelin suojaamiseksi mekaanisesti on käytettävä taulukon 4 mukaisia menetelmiä. Tämän vaatimuksen vuoksi kaapelireitillä tulisi aina pyrkiä välttämään kallioista ja kivikkoista maaperää. (Mt. 2015)

Taulukko 4. Maakaapelin suojausmenetelmät

Maakaapelin suojaukseen käytettävät menetelmät	
Saavutettu kaapelin asennussyvyys	Käytettävä suojausmenetelmä
≥ 70 cm	Ei suojausta
50–70 cm	Suojaputki- tai kouru
< 50 cm	Betonointi

Hyviä sijoituspaikkoja maakaapelille ovat esimerkiksi peltojen reunat, jolloin kaapeli pystytään asentamaan helposti ja kustannustehokkaasti esimerkiksi auraamalla. Toisaalta kaapeleiden asentamista peltojen reunoille saattavat vaikeuttaa esimerkiksi pelloille asennetut salaojaputket. Muita hyviä sijoituspaikkoja kaapelille ovat asentamisen kannalta myös teiden reunat. Suunnittelussa on kuitenkin otettava huomioon, että kaapelin asentamiseksi teiden reunoihin vaaditaan joissain tapauksissa erikoislupia. Kaapelireitit tulisi myös pyrkiä valitsemaan siten, että ne kulkevat kiinteistörajoja myöden, jotta kaapeleista aiheutuisi mahdollisimman vähän rasitetta alueiden maanomistajille. (Mt. 2015.)



Kuvio 9. Alituksen profilointi kaapelireitillä

Kaapelireittien suunnittelussa tulee huomioida myös mahdolliset teiden, vesistöjen, rautateiden sekä muiden vastaavien kohteiden alitukset kaapelireitillä. Alitusten toteuttamiseen voidaan käyttää useita eri menetelmiä, kuten tunkkaamista ja suunta-porausta. Alitusmenetelmän valinta tapahtuu yleisesti alituskohteen ja siellä vallitsevien olosuhteiden perusteella, mutta valintaan vaikuttaa myös mitä laitteita työmaanrakennusurakoitsijalla on käytettävissä. Vaikeammat alitukset on hyvä profiloida kuvion 9 mukaisesti, jotta voidaan kartoittaa, kuinka alitus voidaan toteuttaa tai onko alituksen toteutus ylipäättään mahdollista. Alituksia suunniteltaessa on myös huomioitava, että useimmat alitukset vaativat jonkin erikoisluvan hakemista. (Mt. 2015.)

5.2.4 Jakokaappien ja välivarokkeiden sijoittelu

Jakokaappien sijoituspaikkojen valinnassa voidaan käyttää samoja periaatteita kuin muuntamoidenkin sijoituspaikkojen valinnassa. Tyypillisesti jakokaapit sijoitetaan verkon risteämäkohtiin, jolloin niiltä voidaan viedä liittymiskaapeli mahdollisimman monelle kulutuspiisteelle. Jakokaappeja voidaan käyttää myös sähköverkon maadoituspisteinä, joten sijoituspaikkojen valinnassa on huomioitava myös sähköverkon vaatimukset maadoitusten osalta. (Åkerberg 2015.)

Verkon suojausvaatimusten saavuttamiseen käytettävät jakokaappien jonovaro-kekytkimet voidaan korvata myös pylväisiin asennettavilla varokkeilla. Välivarokkeita käytetään tyypillisesti sellaisissa tilanteissa joissa vanha ilmajohtoverkko aiotaan jättää ennalleen, mutta se ei täytä vaadittavia sähköisiä vaatimuksia. (Mt. 2015.)

5.2.5 Nykyisen verkon tarkastus

Verkkotietojärjestelmässä olevassa sähköverkossa saattaa toisinaan olla varsin karkeitakin virheitä, joten järjestelmästä saadun tiedon oikeellisuus tulee tarkastaa suunnittelutyön edetessä. Näin varmennetaan, ettei suunnitelmaan tule verkkotietojärjestelmästä johtuen karkeitakin virheitä, esimerkiksi uusien maakaapeleiden pituuksien määrittämisen osalta. Oikeellisuus tulee tarkistaa ainakin niiltä osin verkkoa, minne on suunniteltu tulevan muutoksia. (Kukkonen 2015.)

Oikeellisuuden tarkastamisen lisäksi tulee ennalleen jääville ilmajohtoverkonosille suorittaa kuntotarkastus. Kuntotarkastus kohdistuu pääasiassa pienjännitteisen ilmajohtoverkon tarkastukseen. Kuntotarkastuksessa kiinnitetään huomiota esimerkiksi pylväiden ja harusvajereiden kuntoon. Mikäli kuntotarkastuksen yhteydessä paljastuu yksittäisiä huonokuntoisia pylväitä, voidaan ne suunnitella vaihdettaviksi uusiin. Jos tarkastuksessa löytyy ilmalinjoja, joissa on useampia huonokuntoisia pylväitä, voidaan pohtia olisiko linja järkevä maakaapeloida. (Rannelma 2015.)

5.2.6 Kaukokäyttökohteiden huomioiminen maastosuunnittelussa

Suunnittelussa on myös otettava huomioon, että osalle rakennettavista kohteista, kuten muuntamoista on saatava kaukokäyttömahdollisuus. Käytännössä tämä tarkoittaa, että rakennettava kohde saattaa vaatia huonoista kuuluvuusolosuhteista johtuen toimiakseen myös antennimaston. Tämä seikka saattaa vaikuttaa etenkin maanomistajaluvan hankintaan kaukokäyttökohteelle. Kaikissa tapauksissa erillistä antennimastoa ei hyvistä olosuhteista johtuen vaadita, mutta projektien tiukoista aikatauluista johtuen antennimaston tarpeellisuuden on hyvä varautua. Kohteen kuuluvuus tulee mittaattaa verkkoyhtiön ohjeiden mukaisesti erillisen antennimaston tarpeellisuuden selvittämiseksi. (Åkerberg 2015.)

5.3 Verkon sähköinen mitoitus

Seuraavissa kappaleissa käsitellään verkon sähköistä mitoitusta. Mitoitus toteutetaan käyttäen standardien mukaisia sähköisiä raja-arvoja, mutta myös verkkoyhtiön sähköverkolle asettamia vaatimuksia. (Åkerberg 2015.)

5.3.1 Sähköisen mitoituksen periaatteita

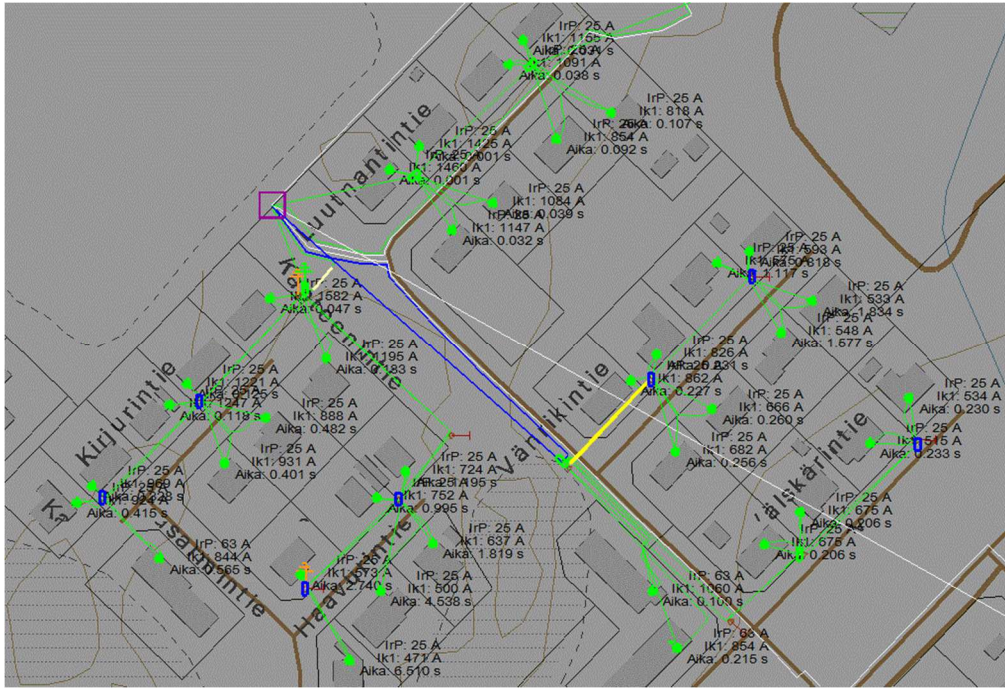
Verkon sähköiseen mitoitukseen vaikuttaa oleellisesti ollaanko rakentamassa kokonaan uutta sähköverkkoa vaiko kunnostamassa vanhaa. Mikäli ollaan rakentamassa kokonaan uutta verkkoa, tulee huomioida että sähköverkon on täytettävä voimassa olevat sähköiset vaatimukset. Uuden sähköverkon on aina täytettävä voimassa olevat alan standardeissa esitetyt sähköiset vaatimukset, mutta verkkoyhtiön vaatimukset ovat tyyppillisesti vielä hieman tiukempia standardeihin nähden. (Kukkonen 2015.)

Kun tehdään olemassa olevaan verkkoon vain pieniä muutostöitä, on joissain tilanteissa hyväksyttävää käyttää aiemmin, alkuperäisen verkon rakennushetkellä voimassa olleita sähköisiä vaatimuksia. Yksi määräävä tekijä pohdittaessa onko kyseessä uuden verkon rakentaminen vai pieni muutostyö, on se kuinka kaukana uusi muuntaja on vanhaan nähden. Mikäli muuntajan sijainti ei juuri muutu, eikä pienjännitteiseen jakeluverkkoon tehdä muutoksia, on mahdollista käyttää aiemmin voimassa olleita verkon sähköisiä vaatimuksia. (Mt. 2015.)

5.3.2 Sähköverkon laskenta

Alustava laskenta toteutetaan mallintamalla alustavan suunnitelman mukainen sähköverkko verkkotietojärjestelmään niiltä osin, kuin laskenta edellyttää. Verkkotietojärjestelmään on laskentaa varten mallinnettava ainakin keskijännitteisen jakeluverkon kaapelit sekä muuntamot sisältäen alustavassa suunnitelmassa mahdollisesti määritetyt muuntajakoneet. Pienjännitteinen jakeluverkko jätetään tyyppillisesi tässä vaiheessa vielä ennalleen. (Åkerberg 2015.)

Kuvion 10 mukainen alustava laskenta on hyvä toteuttaa sähköverkolle jo varsin aikaisessa vaiheessa, jotta saadaan selville kuinka hyvin alustava suunnitelma voidaan toteuttaa. Samalla voidaan kartoittaa mitä sähköverkon osia on uudistettava sähköisten raja-arvojen puitteissa, esimerkiksi pienen oikosulkuvirran, suuren jännitteen aleneman tai sulakkeen pitkän paloajan vuoksi. Toisinaan olemassa olevassa sähköverkossa saattaa olla suuriakin suojauspuutteita esimerkiksi kappaleessa 5.3.5 esitellyn selektiivisyyden osalta. Näissä tilanteissa tulisi verkko aina pyrkiä saamaan toimivaksi kokonaisuudeksi. (Mt. 2015.)



Kuvio 10. Sähköverkon laskenta verkkotietojärjestelmässä (Verkkotietojärjestelmä Trimble NIS, 2015)

5.3.3 Sähköverkon vaatimukset oikosulkuvirran osalta ja oikosulkusuojan valinta

Verkkoyhtiö on asettanut suunniteltavalle jakeluverkolle vaatimuksia oikosulkuvirran suuruuden, sekä oikosulkusuojan paloajan osalta. Kokonaan uutta verkkoa suunniteltaessa on toivottavaa, että liittymillä saavutetaan standardiarvoakin hieman suurempi, 260 A oikosulkuvirta. Joissain tilanteissa, kuten vanhan sähköverkon osittaisissa kunnostustöissä, on tavoitteena 190 A oikosulkuvirta. (Åkerberg 2015.)

Vaatimukset oikosulkuvirran osalta perustuvat osittain standardiin SFS 6000-8-801:

Vaatimus vähintään 250 A pienimmästä oikosulkuvirrasta on annettu sitä varten, että jos ryhmäjohtojen suojana käytetään standardin EN 60898-1 mukaisia 16 A mitoitusvirtaisia C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoita, ne toimisivat riittävän nopeasti, kun otetaan huomioon kohtuulliset pääjohdon ja ryhmäjohtojen pituudet. Jos pääkeskuksella on 180 A oikosulkuvirran arvo, turvallisuustaso voidaan saavuttaa esim. B-tyyppin

johdonsuojakatkaisijoiden, standardin SFS-EN 60269 mukaisten gG sulakkeiden tai vikavirtasuojien käytöllä (SFS 6000-8-801, 801.411.3.2)

Jakeluverkon liittymisjohtojen suojauksessa voidaan standardin SFS 6000-8-801 mukaisesti käyttää myös seuraavaksi esitettyjä keinoja. Standardin tulkinnan apuna käytettävä taulukko 801.1 on esillä taulukossa 5 ja taulukko 801.2 löytyy liitteestä 1.

- 1) *Kun liittymisjohto on varustettu johdon alkupäähän sijoitetulla ylivirtasuojalla siten, että oikosulku kytketään pois alle 5 sekunnissa, noudatetaan normaa- leja SFS 6000-4-43 mukaisia vaatimuksia*
- 2) *Kun liittymisjohdon alkupäässä ei ole ylivirtasuojaa, jolla oikosulku kytketään pois alle 5 sekunnissa, liittymisjohto asennetaan koko matkaltaan palokestä- västi, esim. maahan asennettuna kaapelina, kivirakenteen sisään tai palamat- tomalle alustalle asennettuun SFS-EN 61386 mukaiseen lujuusluokan 4 metal- liputkeen. Kaapelin lähellä ei saa olla muita kaapeleita tai mitään palavaa ma- teriaalia. Liittymiskaapeli ylikuormitussuojataan loppupäästään ja vikasu- ojaus toteutetaan taulukon 801.1 ja taulukon 801.2 sarakkeen 4 mukaisesti*
- 3) *Mikäli ei voida noudattaa kohdan 1 tai 2 vaatimuksia, pitää liittymisjohdon asennuksessa ja suojauksessa noudattaa seuraavia kokemusperäisiä vaati- muksia:*
 - a) *Liittymiskaapelin poikkipinta on vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia ja johdon loppupäässä on liittymisjohtoa ylikuormitukselta suojaavat laitteet, esim. pääsulakkeet*
 - b) *Liittymiskaapelin pituus rakennuksen sisäpuolella ja ulkoseinällä rajoi- tetaan mahdollisimman lyhyeksi*
 - c) *Liittymisjohdon läpivienti rakennukseen tehdään vähintään SFS-EN 61386 mukaisella lujuusluokan 4 asennusputkella, ellei seinän tai pe- rusmuurin rakenne sinänsä täytä paloturvallisuudelle ja mekaaniselle lujuudelle asetettuja vaatimuksia (esim. tiili tai betoni). Liittymiskaa- pelin läpivienti sijoitetaan siten, että se on tarkastettavissa kiinteitä rakenteita purkamatta. Läpiviennin saa seinäpinnalla kuitenkin peit- tää jakokeskuksella. Liittymiskaapeli suojataan mekaaniselta rasituk- selta esim. suojaamalla se vähintään lujuusluokan 4 putkella tai vas- taavalla tavalla, tai sijoittamalla kaapeli lukittuun jakokeskukseen tai -komeroon*
 - d) *Liittymiskaapelin asennus rakennuksessa tehdään siten, ettei siitä ai- heudu palovaaraa tai oikosulkuvaaraa. Sopiva asennustapa on asen- nus betoniin tai vastaavan kivirakenteen sisään tai asentaminen vas- taavan palamattoman materiaalin pinnalle siten, että lähellä ei ole muita kaapeleita tai muuta palavaa ainetta. Liittymiskaapeli asenne- taan siten, ettei se missään kohdassa kosketa muita kaapeleita. Jos asennuspinta ei ole palamaton, kaapelin asennusalusta on suojattava palamattomalla materiaalilla, kuten mineraalilevyllä*
 - e) *Suunnittelijan ja rakentajan harkinnan mukaan voidaan taulukon 801.1 mukaan määräytyneenä liittymisjohdon suurimpana mahdalli- sena oikosulkusuojasulakkeena käyttää johdon alkupäässä olevaa taulukossa 801.2 sarakkeessa 3 määriteltyä sulaketta.*

Jos tavoilla 2 tai 3 suojaussa liittymisjohdossa tapahtuu oikosulku, on liittymisjohdon kunto (vaurioituminen) tarkastettava silmämääräisesti sekä maakaapelin osalta mitaamalla eristysresistanssi ennen kuin se otetaan uudelleen käyttöön. Liittymisjohto on vaihdettava, mikäli sen havaitaan vaurioituneen. (SFS 6000-8-801, 801.434.)

Taulukko 5. Jakeluverkon vikasuojaukseen käytetyn ylivirtasuojan mitoitus (SFS 6000-8-801, 801.1).

Ylivirtasuoja	Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa
gG tyyppin sulake $I_N \leq 63$ A	$2,5 \times I_N$
gG tyyppin sulake $I_N > 63$ A	$3,0 \times I_N$

Mikäli uusi liittymä liitetään aikaisemmin rakennettuun sähkönjakeluverkkoon, ja ylikuormitus on toteutettu liittymän pääsulakkeilla sekä oikosulkusuojaus johdon alkupäässä tai jakeluverkon varrella olevalla siihen sopivalla sulakkeella, voidaan oikosulkusuojauksessa harkinnan mukaan käyttää myös liitteessä 2 näkyviä sulakkeiden mitoitusvirtoja. (SFS 6000-8-801, Liite 801A.)

Vaaditun oikosulkuvirta-arvon saavuttamiseksi voidaan pienjännitteistä sähkönjakeluverkkoa joutua uudistamaan paljonkin. Oikosulkuvirtaa liittymällä voidaan kasvattaa maakaapeloimalla nykyistä ilmajohtoina toteutettua pienjännitteistä jakeluverkkoa tai korvaamalla olemassa olevat kaapelit poikkipinnaltaan suuremmilla maakaapeleilla. Joissain tapauksissa kun tiedetään että pienjännitteistä jakeluverkkoa tullaan tulevaisuudessa uudistamaan, voidaan sähköisistä vaatimuksista oikosulkuvirran osalta poiketa verkkoyhtiön harkinnan mukaan. (Åkerberg 2015.)

Uutta sähköverkkoa rakennettaessa ja etenkin, jos pienjännitteinen jakeluverkko on toteutettu maakaapeloimalla, eikä verkkoon olla todennäköisesti ollen tekemässä enää suuria muutoksia, edellytetään oikosulkusuojina toimivilta sulakkeilta korkein-

taan 5 sekunnin paloaikaa. Mikäli vanhaan sähkönjakeluverkkoon tehdään vain pieniä muutoksia, voidaan sallia harkinnan mukaan myös pidempiä paloajoja. (Mt. 2015.)

5.3.4 Ylikuormitussuojan valinta

Kaapelille valitun ylikuormitussuojana toimivan suojalaitteen on täytettävä kaksi ehtoa, jotka on esitetty kaavoissa 2 ja 3 (Harsia 2013).

$$I_B \leq I_n \leq I_z \quad (2)$$

$$I_2 \leq 1,45 * I_z \quad (3)$$

jossa

I_B = piirin kuormitusvirta [A]

I_z = johtimen jakuva kuormitettavuus [A]

I_n = suojalaitteen mitoitusvirta [A]

I_2 = virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen suojalaitteelle

määritellyssä tavanomaisessa toiminta – ajassa [A]

Kaavalla 2 tarkistetaan, että suojalaitteen mitoitusvirta on suurempi kuin piirin mitoitusvirta. Johtimen jatkuvan kuormitettavuuden, eli sen virta-arvon jonka johdin vielä kestää asennusolosuhteissaan lämpenemättä liikaa tulee puolestaan olla suojalaitteen mitoitusvirtaa suurempi. Piirin mitoitusvirran suuruus riippuu kuorman suuruudesta, jota kaapelilla syötetään. (Mt. 2013.)

Kaavan 3 mukaan suojalaitteen toiminnan tavanomaisessa ajassa aiheuttavan virran tulee olla pienempi kuin 1,45* johtimen jatkuva kuormitettavuus. Suojalaitteen toimintavirta riippuu käytetyn suojalaitteen tyyppistä. (Mt. 2013.)

Ylikuormitussuojien sijoittamisesta sanotaan standardissa SFS 6000-4-43 seuraavaa (SFS 6000-4-43, 433.2):

Ylikuormitussuojat on sijoitettava sellaiseen kohtaan, jossa muutos esim. johtimen poikkipinnassa, johdinlajissa, asennustavassa tai muussa rakenteessa pienentää johtimen kuormitettavuutta.

Johdon ylikuormitussuojan saa sijoittaa mihin tahansa kohtaan johtoa, ellei (johtimen poikkipinnan, johdinlajin, asennustavan tai muun rakenteen) muutoskohdan ja ylikuormitussuojan sijoituspaikan välillä johtoa haaroiteta eikä välillä ole pistorasioita. Lisäksi vähintään toisen seuraavista ehdoista pitää täytyä:

- a) Johto on oikosulkusuojattu vaatimusten mukaisesti*
- b) Johto on enintään 3m pitkä ja se on tehty siten, että oikosulun vaara on mahdollisimman pieni, eikä johtoa ole sijoitettu lähelle palavaa ainetta*

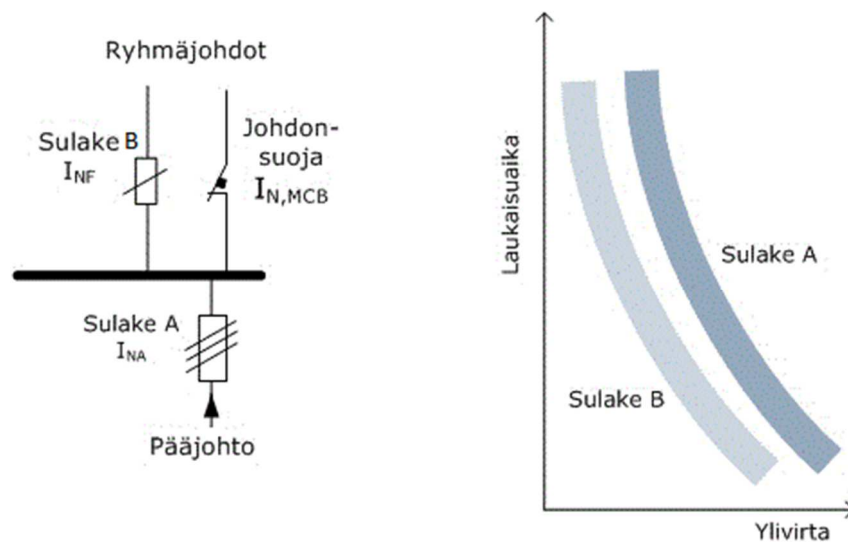
Pienjännitteisessä jakeluverkossa kaapeleiden ylikuormitussuojat mitoitetaan tyyppillisesti sen mukaan, mitä verkon osaa suojattavat kaapelit ovat. Rakennuksien liittymisjohtojen – ja kaapeleiden ylikuormitussuojina toimivat yleensä liittymän pääsulakkeet, ja koska niitä ei sähköjakeluverkon suunnittelutyön yhteydessä muuteta, on liittymiskaapeli mitoitettava siten, että se kestää ylikuormituksesta aiheutuvan virran kunnes suojalaitteina toimivat liittymän pääsulakkeet kytkvät ylikuormituksen pois. (Åkerberg 2015.)

Runkojohtojen – ja kaapeleiden ylikuormitussuojat sijaitsevat tyyppillisesti jakokaapeissa tai muuntamoiden pienjännitekeskuksissa. Ilmajohtoverkon ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa myös pylväisiin asennettavilla pylväsvarokkeilla. Runkolinjojen ylikuormitussuojat valitaan useimmiten verkkoyhtiön laatimien ylikuormitussuojataulukoiden avulla, riippuen käytettävästä kaapelista tai johdosta. (Mt. 2015.)

5.3.5 Suojien selektiivisyys

Sähköverkon suojaus on silloin selektiivinen, kun siinä syntyvä vika erotetaan lähimpänä olevalla suojalaitteella, ilman että verkossa edellä olevat suojalaitteet toimivat. Näin verkossa syntyneen vian vaikutusalue pystytään rajaamaan mahdollisimman pieneksi. (Kaipia 2013, 86.)

Suojalaitteiden selektiivisyyttä voidaan tarkastella suojalaitteiden toimintakäyrien avulla. Suojalaitteet ovat silloin keskenään selektiivisiä, kun niiden toiminta-aikakäyrät eivät leikkaa toisiaan. Esimerkkinä voidaan tarkastella kuvion 11 mukaista tilannetta. Vian sattuessa vasemmanpuoleisella ryhmäjohdolla, tulisi sulakkeen B toimia ennen pääjohtoa suojaavaa sulaketta A. Tarkastelemalla viereistä sulakkeiden toiminta-aikakäyrää, voidaan todeta että sulake B toimii nopeammin kuin sulake A. Verkko toimii siis selektiivisesti. (Suojien selektiivisyys 2015.)



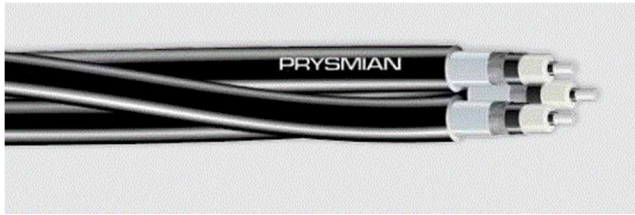
Kuvio 11. Suojalaitteiden selektiivisyydestä tarkastelu (alkup. kuvio ks. Suojien selektiivisyys 2015, muokattu).

Koska pienjännitteisessä jakeluverkossa käytettävät suojalaitteet ovat yleensä toimintakäyriltään keskenään samanlaisia, varmistetaan suojien selektiivinen toiminta valitsemalla suojalaitteet siten, että ne pienenevät nimellisvirraltaan aina muuntajalta liittymää kohti mentäessä. Selektiivisyys tarkistetaan vielä verkkotietojärjestelmän laskennan avulla. Suunnittelussa on kuitenkin aina huomioitava, että selektiivisyysvaatimuksista voidaan joustaa, mikäli verkkoa ei saada muuten toimimaan turvallisesti. (Åkerberg 2015.)

5.3.6 Kaapelin mitoitus ja valinta

Kaapelit on mitoittettava siten, että ne kestävät verkon kuormitusten aiheuttaman kuormitusvirran. Mitoituksessa on myös hyvä noudattaa luvuissa 3.1 ja 5.3.4 esitettyjä ehtoja, jotta voidaan varmistua verkon toimivuudesta ja turvallisuudesta. Kaapeleiden mitoituksessa tulee kiinnittää huomiota myös verkon vaatimukseen oikosulkuvirran osalta, sillä suurentamalla kaapeleiden poikkipintoja voidaan oikosulkuvirtaa liittymällä kasvattaa. (Åkerberg 2015.)

Keskijännitteisen jakeluverkon kaapeloinnissa käytetään pääasiassa verkkoyhtiön määrittelemiä kaapelityyppejä sekä kaapelipoikkipintoja. Yleisesti käytössä on kuvion 12 mukainen AHXAMK-WP – tyyppinen alumiinikaapeli, jonka poikkipinta riippuu verkon kuormituksista. On tyypillistä että sähköasemalta lähtevät keskijännitteisen jakeluverkon runkolinjat toteutetaan suuremmalla, esimerkiksi poikkipinnaltaan 240 mm²-kaapelilla, kun taas runkolinjasta esimerkiksi muuntamoille poikkeavat linjat voidaan toteuttaa poikkipinnaltaan 95 mm² tai 50 mm² -kaapelilla. Joissain kohteissa, kuten esimerkiksi saaristossa saatetaan käyttää kupariköydellä varustettua AHXAMK-W – tyyppistä maakaapelia. Kaapelilta saatetaan joissain tapauksissa edellyttää myös muita erityisominaisuuksia kuten armeerausta. (Mt. 2015.)



Kuvio 12. AHXAMK-WP – tyyppinen maakaapeli (alkup. kuvio ks. AHXAMK-WP 20kV 3-johtiminen 2015)

Pienjännitteisen jakeluverkon kaapeloinnissa käytetään tyypillisesti AXMK-tyyppistä alumiinijohdinkaapelia. Kaapeleiden poikkipintojen alustavassa mitoituksessa hyödynnetään yleisesti käytössä olevia mitoitusperiaatteita. Runkojohdoissa käytetään tyypillisesti poikkipinnaltaan 95-, 150 ja 240-neliöistä kaapelia, sekä tarpeen mukaan myös rinnakkaisia kaapeleita. Liittymisjohdot toteutetaan pääasiassa poikkipinnaltaan 25-neliöisillä kaapeleilla, mutta pidemmällä matkoilla sekä suuremmilla liittymillä saatetaan käyttää myös suurempia kaapelipoikkipintoja. (Mt. 2015.)

Pienjännitteisen jakeluverkon kaapeleiden mitoituksessa on huomioitava myös vaatimukset jännitteenaleneman osalta. Uutta verkkoa suunniteltaessa edellyttää verkko-yhtiö että jännitteenalenema on korkeintaan 5 %. Vanhaa verkkoa paranneltaessa voidaan sallia myös korkeintaan 15 % jännitteenalenema. Jännitteenalenemaa voidaan pienentää suurentamalla jakeluverkon kaapeleiden poikkipintoja, sillä kaapelin impedanssi pienenee kaapelin poikkipinnan suurentuessa, jolloin se aiheuttaa verkossa pienemmän jännitteenaleneman. Tällä voi olla merkitystä etenkin haja-asutus-alueella, jossa etäisyydet ovat pitkiä. (Mt. 2015.)

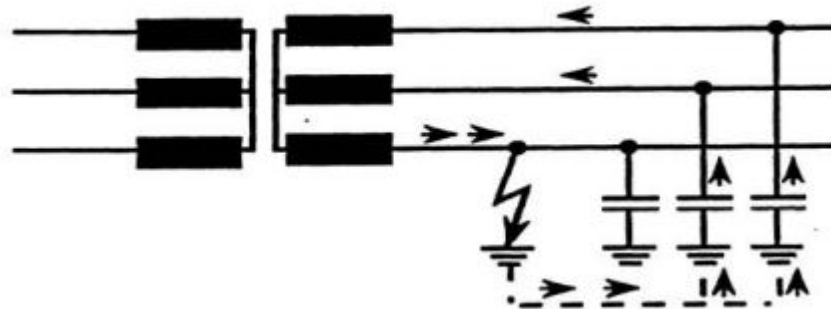
5.3.7 Muuntajan mitoitus

Muuntaja tulee mitoittaa siten, että sen kuormitusaste on sopiva käyttöpaikkaan nähden. Esimerkiksi alueilla, joissa kuormituksen tiedetään kasvavan tulevaisuudessa, voi muuntajan mitoittaa hieman yläkanttiin. Tyypillisesti muuntajat tulisi mitoittaa siten, että niiden kuormitusasteeksi saataisiin noin 75 %. Samalla tulee kuitenkin myös huomioida minkä kokoisia muuntajia projektissa käytettäviin muuntamorkennuksiin on mahdollista sijoittaa. Muuntajan koolla on myös mahdollista vaikuttaa

verkon sähköisiin arvoihin. Esimerkiksi verkon jännitteenalenemaa voidaan pienentää kasvattamalla muuntajakoneen kokoa. (Åkerberg 2015.)

5.3.8 Maasulkuvirran kompensointilaitteiston sijoittaminen

Kuten luvussa 2.4 on esitetty, sähköverkkojen maakaapelointi kasvattaa verkossa vikatilanteessa syntyvää maasulkuvirtaa. Koska 20 kV:n sähköjakeluverkoissa käytetään tyypillisesti maasta erotettua IT-järjestelmää (ks. luku 2.2.2) kulkee maasulkutilanteessa verkossa syntynyt vikavirta kuviossa 13 esitetyllä tavalla kaapeleiden kapasitanssien kautta kohti muuntajaa. Koska maasulkuvirralla ei ole pieni-impedanssista kulkureittiä, jää se erittäin pieneksi jolloin vikapaikkaan syntyy vaarallisen suuri kosketusjännite. (Partanen 2011; Åkerberg 2015.)



Kuvio 13. Maasulkuvirran kulkureitti maasta erotetussa verkossa (Pylväs 2015).

Maasulun poiskytkennästä todetaan standardissa SFS 6001 seuraavaa:

Yleensä pitää käyttää maasulun automaattista poiskytkentää. Maasulusta aiheutuvaa hälytystä ja käsin tapahtuvaa poiskytkentää voidaan käyttää silloin, kun verkon käytön luonteen takia maasulun aiheuttama keskeytys on tarvetta siirtää sopivampaan ajankohtaan. Hälytystä ja käsin tapahtuvaa poiskytkentää käytettäessä on täytettävä seuraavat ehdot:

- *Verkon rakenteen tulee olla sellainen, että valokaarimaasulun todennäköisyys on pieni. Verkon on oltava joko kaapeliverkko tai ilmajohtoverkossa valokaarimaasulun sammuttava itsestään*
- *Maasulusta on tultava hälytys, joka saatetaan verkon käyttöä valvojan henkilön tietoon. Vian selvittämiseen on ryhdyttävä välittömästi. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa yleensä enintään kahden tunnin ajan ellei ole ilmeistä, että maasulusta aiheutuu välitöntä vaaraa ihmisille tai omaisuudelle tai kohtuutonta häiriötä toiselle laitteistolle. Käyttöä maasulussa voidaan jatkaa pitempään vain, jos maasulun sijaintikohta on löydetty ja varmistetaan ettei siitä aiheudu vaaraa. Jos maasulku sijaitsee jakelumuuntamolla, joka ei ole laajan maadoitusjärjestelmän alueella, ei käyttöä saa jatkaa*
- *Jatkuvassa maasulussa esiintyvä maadoitusjännite saa olla korkeintaan pitkäaikaisesti sallitun maadoitusjännitteen suuruinen, kuitenkin korkeintaan 150 V*
- *Televerkon asettamat vaatimukset on otettava huomioon*

Kompensointilaitteiston sijoittamisessa maastoon käytetään kappaleessa 5.2.2 esitettyjä periaatteita. Maasulun kompensointi on toteutettu hajautetusti, jolloin kompensointilaitteistoja sijoitellaan verkkoon tietyin välein keskijännitteisen jakeluverkon johtolähdöille. (Åkerberg 2015.)

5.3.9 Sähköverkon maadoitukset

Sähköverkkoa suunniteltaessa on otettava huomioon verkon vaatimukset maadoitusten osalta. Pienjännitteisessä jakeluverkossa maadoituspisteinä käytetään puistomuuntamoita ja jakokaappeja, jotka varustetaan aina maadoituselektrodeilla. Mikäli verkkoon on suunniteltu jätettäväksi myös vanhaa ilmajohtoverkkoa, on osa sen pylväistä varustettava maadoituselektrodilla. Maadoituksia suunniteltaessa tulee myös huomioida maaston vaikutukset, ja esimerkiksi kallioisilla alueilla maadoituksia saataan joutua jatkamaan, jotta haluttuihin maadoitusarvoihin päästäisiin. (Åkerberg 2015.)

5.4 Dokumentointi

Sähköverkon dokumentoinnilla tarkoitetaan verkon siirtämistä verkkotietojärjestelmään. Dokumentointi toteutetaan verkkoyhtiön ohjeita noudattaen esimerkiksi komponenttien nimeämisen osalta. Verkkotietojärjestelmään sähköverkosta dokumentoitavan tiedon määrä kasvaa jatkuvasti, sillä verkosta on oltava saatavana jatkuvasti enemmän tietoa. (Ränni 2015.)

5.4.1 Dokumentoinnin vaiheet

Dokumentointia toteutetaan verkkotietojärjestelmässä läpi koko suunnitteluprojektin. Alustaviin reitteihin ja sijoituspaikkoihin saattaa suunnittelun aikana tulla vielä paljonkin muutoksia, joten projektin alkuvaiheessa dokumentointia ei kannata tehdä kovinkaan tarkkaan. (Ränni 2015.)

Ensimmäisiä dokumentoitavia kohteita ovat muuntamot ja keskijännitteisen jakeluverkon kaapelit, jotta verkolle voidaan toteuttaa alustava laskenta. Tässä vaiheessa ei vielä ole oleellista syöttää järjestelmään esimerkiksi kaikkia tarvittavia tietoja muuntamoista, vaan riittää että valitsee oikeanlaisen muuntamorakenteen sekä alustavan suunnitelman mukaisen muuntajakoneen. (Mt. 2015.)

Ennen suunnitelman palauttamista tarkastettavaksi tulee suunnitelma dokumentoida verkkoyhtiön ohjeiden mukaisesti palautuskelpoiseksi. Tämä käsittää esimerkiksi kaapelipituuksien määrittämisen sekä komponenttien tietojen täyttämisen määritellyllä laajuudella. Myös työhön liittyvät toimenpiteet, kuten esimerkiksi mahdolliset pylväiden vaihdot on määriteltävä suunnitelmalle ohjeiden mukaisesti. (Mt. 2015.)

Kun suunniteltu verkko on saatu rakennettua suurjännitteisen jakeluverkon osalta, voidaan sille toteuttaa käyttöönottodokumentointi. Dokumentointi toteutetaan noudattamalla verkkoyhtiön ohjeita käyttöönottodokumentoinnin osalta. (Mt. 2015.)

Loppudokumentointi voidaan suorittaa, kun suunniteltu verkko on saatu kokonaan rakennettua ja käyttöönotettua sisältäen esimerkiksi todellisten kaapelipituuksien määrittämisen verkkotietojärjestelmään (Mt. 2015).

5.4.2 Dokumentoitavat kohteet ja toimenpiteiden lisääminen

Sen lisäksi, että verkkotietojärjestelmään on lisättävä kaikki sähköverkon komponentit, kuuluu dokumentointiin myös kaapeliojan lisääminen maakaapelireitille sekä toimenpiteiden lisääminen kaikille rakennettaville kohteille verkkoyhtiön ohjeiden mukaisesti. (Ränni 2015.)

Lisätyille kaapeliojille on lisättävä myös vallitsevat kaivuolosuhteet sekä niille on tehtävä myös poikkileikkaukset. Poikkileikkauksesta selviää, mitä kaapeleita ojassa on ja onko ne suojattu esimerkiksi suojaputkea tai betonointia käyttämällä. Poikkileikkauksien lisääminen on suhteellisen työlästä, joten se kannattaa toteuttaa vasta suunnittelun loppuvaiheessa. Poikkileikkaus ojalle on lisättävä aina sellaisessa vaiheessa, kun kaapeleiden määrä kaapelityypit tai kaapeleiden suojausmenetelmä ojassa muuttuu. (Mt. 2015.)

Lähes kaikille rakennettaville kohteille tulee lisätä toimenpiteitä. Lisättävä toimenpide riippuu siitä minkä luontoinen kohteessa toteutettava työ on. Esimerkiksi kokonaan uuden ilmajohtoverkon pylvälle lisätään eri toimenpide kuin vanhan ilmajohtoverkon uusittavalle pylvälle, vaikka molemmissa on kyse uuden pylvään asentamisesta. (Mt. 2015.)

5.5 Sopimus- ja lupa-asiat

5.5.1 Maanomistajat

Verkostosuunnittelijan tehtäviin kuuluu myös kaapelireiteistä ja eri sähköverkon komponenttien sijoituspaikoista sopiminen alueen maanomistajien kanssa. Suulliset sopimukset tehdään pääasiassa maanomistajien kanssa järjestetyissä maastokatselmuksissa, jolloin reittien ja sijoituspaikkojen sopiminen on helpompaa. Neuvottelut maanomistajien kanssa kannattaa aloittaa jo varsin varhaisessa vaiheessa, jotta voidaan välttyä ylimääräiseltä työltä. Ensimmäisenä kannattaa sopia puistomuuntamoiden sijoituspaikoista, sillä ne ovat ratkaisevassa asemassa sähköverkon rakenteen kannalta. (Koponen 2015.)

Maanomistajien kanssa tulee myös tehdä kirjalliset johtoalueenkäyttösopimukset- tai suostumukset, riippuen siitä mitä kyseisen maanomistajan kiinteistölle ollaan rakentamassa. Kirjallisten sopimusten ja suostumusten laadinta aloitetaan yleensä vastasitten, kun suulliset sopimukset on kaikkien maanomistajien kanssa tehty. (Mt. 2015.)

5.5.2 Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus

Mikäli suunnitelma sisältää maanteiden alituksia, tai sähkömaakaapelireitti on suunniteltu kulkemaan maantien tiealueella, on ELY-keskukselta haettava sijoituslupaa sähkömaakaapelille. Sijoitusluvan käsittelyajat saattavat olla erittäin pitkiäkin, joten lupaa tulee pyrkiä hakemaan jo mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Muutoksien hakeminen sijoituslupiin sen sijaan vie vähemmän aikaa. Sijoitusluvan hakemiseksi vaaditaan itse hakemuksen lisäksi useita eri liitteitä ja selvityksiä, kuten maanpeitteen paksuus kaapelin asennuskohdassa, selvitys mahdollisista tulevista tiehankkeista alueella, tiedot muista tiealueella olevista kaapeleista sekä tiedot tien mahdollisista erikoisrakenteista. Harkinnan mukaan ELY-keskuksen edustajan kanssa on hyvä järjestää myös katselmus liittyen kaapelin sijoittamiseen tiealueelle, jotta pystytään kerralla toteamaan mihin kaapeli on mahdollista asentaa, ja samalla myös nopeutetaan luvan saamista hankkeelle. (Fredman 2015.)

Jos muuntamorakennuksia, tai muita vastaavia kohteita joudutaan esimerkiksi maaston haastavuudesta johtuen sijoittamaan tien suoja-alueelle, on sitä varten haettava paikalliselta ELY-keskukselta erillistä poikkeamislupaa. Luvan saanti on mahdollista, mikäli rakennettava kohde ei aiheuta haittaa tienpidolle eikä ole riski liikenneturvallisuuden kannalta. Myös poikkemislupahakemuksen liitteiksi tarvitaan useita eri dokumentteja, kuten kuvat suunnitelluista rakennuspaikoista, sekä asemakuvat rakennettavista kohteista. (Mt. 2015.)

Mikäli suunnitelma-alueella on myös luonnonsuojelu- tai naturakohteita joihin olisi tarkoitus sijoittaa maakaapelia tai rakentaa esimerkiksi puistomuuntamo, on pyydetävä lausuntoa siltä ELY-keskuksen aluevastaavalta, joka on vastuussa ympäristöasioista. On tyypillistä että luonnonsuojelualueella ei saa tehdä juuri mitään toimenpiteitä, ja esimerkiksi maanpeitteen vahingoittaminen voi olla kokonaan kielletty. (Mt. 2015.)

5.5.3 Aluehallintovirasto

Kun suunnitelmaan kuuluu esimerkiksi vesistöjen alituksia tai vesistön pohjaan laskeutuvia tai kaivettavia vesistökaapeleita, on mahdollista, että niitä varten on haettava erillistä vesilupaa Aluehallintovirastolta. Luvanvaraisuus koskee ainakin kaikkia suurempia vesialueita sekä väyliä, mutta luvanvaraisuus kannattaa aina tarkistaa paikalliselta ELY-keskukselta. Myös vesiluvan käsittelyajat ovat varsin pitkiä, joten lupaa kannattaa hakea jo hyvissä ajoin. (Fredman 2015.)

5.5.4 Kunnat

Eri kuntien käyttämät lupamenettelyt saattavat erota toisistaan hyvinkin paljon, joten on oleellista selvittää jo aikaisessa vaiheessa, mitä dokumentteja ja lupia kyseessä oleva kunta edellyttää. Kunnalla saattaa olla myös suunnitelma alueella jotain kunnallistekniikkaa, kuten vesiputkia, viemäreitä tai lämpöputkia. Kunnallistekniikka on aina huomioitava suunnitelmaa tehtäessä, sillä kunta saattaa esimerkiksi vaatia, että maakaapeli on sijoitettava tietyn etäisyyden päähän kunnallistekniikasta tai että sitä ei saa sijoittaa kunnallistekniikan läheisyyteen lainkaan. (Koponen 2015.)

Tyypillistä on, että kunta vaatii toimenpideluvan hakemista rakennettavien muuntamoiden osalta, mutta jokin kunnat saattavat vaatia myös työläämpää rakennuslupaa. Kunnalla saattaa olla myös vaatimuksia rakennettavan muuntamon tai muun vastaavan rakennelman etäisyyteen tiehen, toiseen rakennukseen tai kiinteistörajaan nähden. Kunnan alueelle tulevista maakaapeleista kunta usein edellyttää sijoitusluvan hakemista. (Mt. 2015.)

Kunnalta kannattaa myös tiedustella halukkuutta yhteiskaivuuseen esimerkiksi kunnan omien katuvalojen osalta. Kunnan mukaantulo projektiin saattaa nopeuttaa ja helpottaa lupien hankintaa kaapelireiteille, kun myös kunnalla on intressit toteuttaa projekti. (Åkerberg 2015.)

5.5.5 Muut tahot

On aina projektikohtaista, mitä muita toimijoita suunnittelun aikana on otettava huomioon. Suunnittelijan tulee aina pyrkiä kartoittamaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, mitä muita toimijoita suunnitelma-alueella on, jotta ylimääräiseltä työltä ja

vahingoilta voitaisiin välttyä. Muita suunnittelussa huomioitavia tahoja ovat esimerkiksi Fingrid, Gasum, VR ja alueella toimivat tele-yhtiöt. (Fredman 2015)

6 Suunnittelun työvälineet

Sähkönjakeluverkon suunnittelussa verkon laskentaan ja dokumentointiin käytetään Trimble NIS-verkkotietojärjestelmää. Uuden verkon mallintamisen lisäksi verkkotietojärjestelmän avulla voidaan laajasti tutkia vanhan verkon tilaa ja kuntoa. Verkkotietojärjestelmää voidaan käyttää myös kustannuksien arviointiin. (Åkerberg 2015.)

Trimble NIS on Teklan verkkotietojärjestelmä, jota käytetään verkko-omaisuuden hallintaan ja dokumentointiin. Trimble NISin keskeisiä hyötyjä ovat sen tehokkuus verkko-omaisuuden hallintaprosessien osalta, monipuolinen tuki, tietojen helppo saanti järjestelmästä sekä ulkoisten käyttäjien, kuten urakoitsijoiden, turvallinen ja tehokas pääsy järjestelmään. (Trimble NIS 2015.)

Suunnitelmaportaan toteutukseen käytetään Autodeskin AutoCAD LT 2D CAD –suunnitteluohjelmaa. CADin käyttö perustuu sen helppouteen, nopeuteen ja selkeyteen. CADistä tulostetut suunnitelmaportat ovat esimerkiksi usein selkeämpiä ja monipuolisempia kuin verkkotietojärjestelmästä tulostetut kartat. AutoCADin käyttö myös mahdollistaa sen, että suunnitelman muokkaaminen on helppoa ja nopeaa eikä suunnitelmaa muokkaavan tai sinne tietoja lisäävän henkilön välttämättä tarvitse hallita verkkotietojärjestelmän käyttöä. (Åkerberg 2015.)

Suunnittelun kannalta oleellinen työkalu on myös esimerkiksi työnohjaukseen ja suunnitelman määrä – ja rakenneluetteloiden laadintaan käytettävä HeadPower. HeadPower esimerkiksi mahdollistaa jouhevan tiedonkulun kaikkien suunnitteluprojektin osapuolten välillä. (Mt. 2015.)

Suunnitelman teossa käytetään myös useita muita ohjelmia ja palveluita, kuten erilaisia karttapalveluita ja tietopankkeja (Mt. 2015).

7 Perehdytysohjelman laadinta

Kaikki 0,4 kV:n ja 20 kV:n sähköverkkojen suunnittelua koskevat ohjeet, haastattelut ja muut materiaalit koottiin yhdeksi varsin tiiviiksi kokonaisuudeksi, josta muotoutui uuden verkostosuunnittelijan perehdyttämistä varten tarkoitettu ohje.

Etenkin maastosuunnitteluosion ohjeistuksen laadinnassa merkittävimpana materiaalina toimivat kokeneempien suunnittelijoiden haastattelut, koska materiaalin hankinta sähköverkkojen maastosuunnittelusta osoittautui haastavaksi. Toisaalta myös käytännönläheisemmän tiedon käyttö työssä varmentaa sen, että kaikki suunnittelu-työn kannalta olennaiseksi ja tärkeäksi todettu tieto on pystytty kokoamaan samaan ohjeeseen.

Ohjeen laadinta sähköisen mitoituksen osalta on toteutettu käyttäen haastattelujen lisäksi laajasti myös muuta materiaalia, kuten alan standardeja ja kirjoja. Pohja ohjeistukselle laadittiin haastatteluista saadun tiedon perusteella, mutta muuta materiaalia käytettiin saadun tiedon oikeellisuuden varmentamiseen ja vaatimusten perustelemiseen.

Dokumentointiosion koonnissa käytettiin apuna haastatteluja, sekä verkkoyhtiön ja TSS Group Oy:n työntekijöiden laatimia dokumentointiohjeita. Kaikista dokumentointiin liittyvistä seikoista ei verkkoyhtiön ohjetta ollut, joten myös tämä seikka korosti haastattelujen merkitystä.

Sopimus- ja lupa-asioiden osalta perehdytysohjelmassa hyödynnettiin myös laajasti eri tahojen, kuten ELY-keskuksen, sivuilla saatavilla olevaa materiaalia. Merkittävässä osassa oli myös haastattelujen perusteella kerätty materiaali, joka perustui kokemusperäiseen tietoon.

8 Suunnitteluprojekti Lofsdal-Domarby

8.1 Projektin lähtökohdat

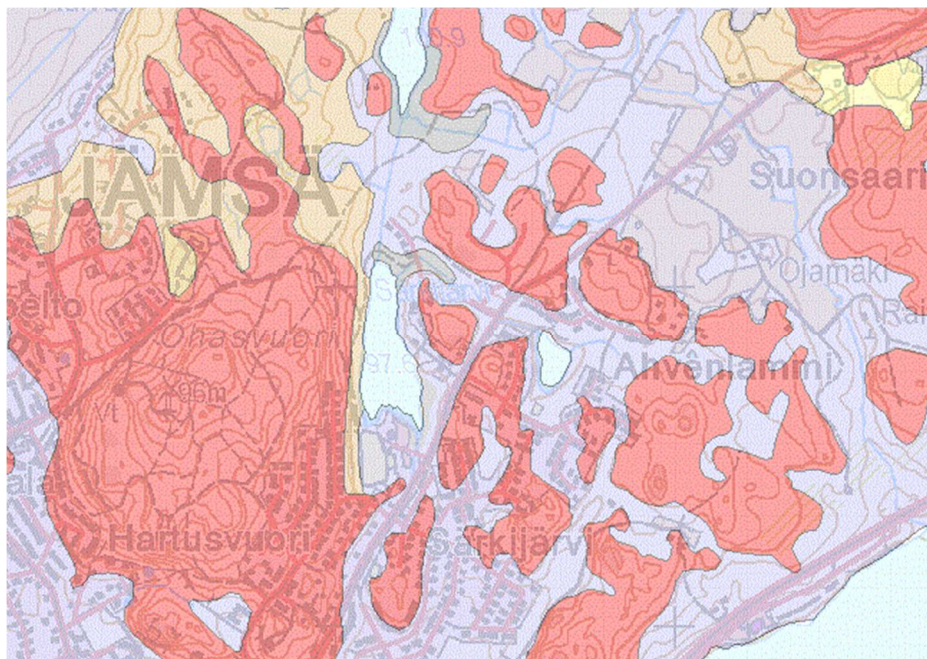
Pääsin soveltamaan kokoamaani suunnitteluohjetta Paraisille sijoittuvassa suunnitteluprojektissa Lofsdal-Domarby. Projektin tarkoituksena oli suunnitella keskijännitteen jakeluverkon ilmajohtojen korvaaminen maakaapeleilla sekä pylväsmuuntajien

vaihto puistomuuntamoihin. Tarpeiden mukaan myös pienjännitteisen jakeluverkon kaapelointi sallittiin.

Tässä tapauksessa verkkoyhtiöltä saatu alustava suunnitelma ei ollut kovinkaan yksityiskohtainen, joten sain varsin vapaat kädet suunnitella projektia. Alustavassa suunnitelmassa oli määritelty, mitä kaapelityyppejä suurjännitteisen jakeluverkon toteutuksen osalta tuli käyttää sekä minkälaisia muuntamoita mihinkin muuntopiiriin tulisi.

8.2 Toteutus

Ensimmäinen työvaihe oli tutustua suunnitelmaan sähköisesti kartoittamalla esimerkiksi muuntamopaikkoja ja kaapelireittejä erilaisten kartta- ja tietopalveluiden avulla. Havaitsin hyväksi etenkin kuviossa 14 näkyvän maaperäkartan, jonka avulla sain tutkittua, kuinka kallioista suunnitelma-alueen maaperä oli. Merkitsin myös kaikki suunnittelun kannalta tärkeänä pitämäni seikat, kuten, natura-alueet, museoviraston suojelamat kohteet sekä esimerkiksi maaston vuoksi haastavilta vaikuttavat paikat suunnitelmakarttaan.



Kuvio 14. Maaperäkartta (Maankamara 2015)

Maastosuunnittelun aloitin mahdollisten muuntamopaikkojen ja keskijännitteisen jakeluverkon kaapelireittien kartoituksella. Keräsin sijaintitiedot muuntamopaikoista, kaapelireiteistä sekä mahdollisista jakokaappien sijoituspaikoista, jotta pystyisin merkitsemään ne suunnitelmakarttaan tarkemmin. Merkitsin myös mahdollisia sijoituspaikkoja maastoon puisten keppien avulla, jotta maanomistajille olisi helpompi selvittää, minne on mitään suunniteltu, ja lupien saaminen näin ollen olisi yksinkertaisempaa. Maastokäyntien aikana keräsin kaapelireittien ja verkonrakenteiden lisäksi tietoa myös muista suunnittelun kannalta oleellisista seikoista, kuten tierummuista. Jatkoin maastosuunnittelua projektin edetessä aina tarpeen mukaan.

Maastosta keräämäni tiedon perusteella mallinsin suunnitelman verkkotietojärjestelmään ja suoritin alustavan laskennan muuntopiiri kerrallaan. Laskennan perusteella jouduin toteamaan, että verkkoon pitäisi paikoin tehdä varsin laajojakin uudistuksia, jotta haluttuihin sähköisiin raja-arvoihin olisi mahdollista päästä. Suunnittelin tarvittavat uudistukset verkkoon laskentaa hyväksi käyttäen sekä hyväksyitin ehdotukseni verkkoyhtiön suunnittelijalla.

Maaston kallioisuudesta johtuen jouduin suunnittelemaan suuren osan kaapelireitistä kulkemaan tiealueella. Tämän vuoksi katsoin kannattavaksi järjestää maastokatselmuksen tiealueita hallinnoivan ELY-keskuksen kanssa, jotta erikoislupien hakeminen helpottuisi. Katselmuksessa sovimme ELY-keskuksen kanssa kaapelireiteistä sekä teiden alituspaikoista kaapelireitillä. Katselmuksen pohjalta tein myös muistion, josta ilmenivät kaikki ELY-keskuksen kanssa sovitut seikat. Koska lupa-asioiden käsittelyyn menee usein varsin paljon aikaa, pyrin hakemaan lupia jo varsin aikaisessa vaiheessa.

Kävin myös neuvotteluja alueen maanomistajien kanssa suunnittelemani muuntamoiden sijoituspaikoista ja kaapelireiteistä. Jouduin tekemään suunnitelmaan vielä paljonkin muutoksia maanomistajien esittämien toiveiden pohjalta.

Kun olin saanut suunnitelman valmiiksi ja reitti oli alustavasti sovittu maanomistajien kanssa, aloin kokoamaan materiaalia suunnitelman palauttamista varten. Kiireestä johtuen sain tähän apua myös muilta työntekijöiltä, jotta projekti pysyisi aikataulussa. Omaan vastualueeseeni kuului lähinnä verkkotietojärjestelmässä olevan suunnitelman dokumentointi palautuskuntoon.

8.3 Lopputulokset ja yhteenveto

Lopputuloksina saatiin järkevä ja toteutuskelpoinen suunnitelma, vaikka ongelmia suunnittelun edetessä ilmenikin.

Tarkoituksena oli, että voisin käyttää laatimaani perehdytysohjelmaa apuna suunnitteluprojektin toteutuksessa. Aikataulullisista syistä johtuen jouduin kuitenkin kokoaamaan perehdytysohjelmaa yhtäaikaaisesti suunnitteluprojektin toteutuksen yhteydessä. Toisaalta tällainen toimintamalli mahdollisti sen, että suunnitteluohjeen koonti tapahtui käytännön kautta, jolloin sen hyödyntäminen käytännössä on helppompaa.

Haastava maasto aiheutti sen, ettei vaihtoehtoja maakaapelireitille tai muuntamoiden sijoituspaikoille juurikaan paljoa ollut. Suunnitelmasta jouduttiin jättämään yksi muuntopiiri kokonaan pois, kun kaapelireittiä ei alueen kallioisuudesta johtuen pystytty suunnittelemaan toteutetuksi halutulla tavalla esimerkiksi kustannussyistä johtuen. Olosuhteet aiheuttivat myös muita muutoksia suunnitelmaan, ja joissain tapauksissa muutokset esimerkiksi muuntamoiden sijoituspaikkojen suhteen aiheuttivat verkon sähköisten raja-arvojen tiukentumista, jolloin myös pienjännitteistä 0,4 kV:n jakeluverkkoa jouduttiin alustavasta suunnitelmasta poiketen maakaapelimaan.

Suurimmat haasteet suunnitteluprojektin toteutuksessa liittyivät maanomistajien kanssa tehtävien johtoaluesopimusten tekemiseen. Syitä sille, miksi ongelmia sopimusten teossa ilmeni, ei pystytä tarkoin rajaamaan. Ongelmat saattoivat johtua esimerkiksi maanomistajien näkemyksistä sopimusehtojen suhteen tai joidenkin osapuolten liian yksipuolisesta näkemyksestä asioihin. Nämä ongelmat aiheuttivat sen, että projekti ei pysynyt aivan aikataulussa ja turhaa työtä jouduttiin tekemään paljonkin, kun vaihtoehtoisia reittejä yritettiin kartoittaa suunnitelman toteuttamiseksi. Loppujen lopuksi projekti jouduttiin suunnittelemaan toteutettavaksi kahdessa osassa, koska joidenkin suunnitelman osien maanomistajalupien hankinta kesti odotettua kauemmin.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia kattava ja yleispätevä ohjeistus 0,4 kV:n ja 20 kV:n sähköjakeluverkkojen suunnittelusta. Tarkoituksena oli, että ohjeistusta pystyttäisiin käyttämään uusien verkostosuunnittelijoiden perehdyttämisessä sähköjakeluverkkojen suunnitteluun. Opinnäytetyön tuli myös sisältää esimerkki sellaisesta suunnitteluprojektista, jossa oli käytetty opinnäytetyönä tehtyä perehdytysohjelmaa.

Tulokseksi sain laadittua laajan perehdytysohjelman, jota on mahdollista käyttää ainakin osittain apuna jokaisessa suunnitteluprojektissa, jota nykyohjeistuksilla tullaan tekemään alueella toimivan verkkoyhtiön omistuksessa olevassa verkossa. Ohjeistuksen soveltaminen myös muiden verkkoyhtiöiden alueilla on mahdollista, kunhan kunkin verkkoyhtiön toimintatavat ja vaatimukset verkon osalta ensin tarkastetaan.

Onnistuin keräämään laajan kokonaisuuden sähköjakeluverkon suunnittelun kannalta oleellista tietoa. Tutustuminen suunnittelutyöhön käytännössä, kokeneempien verkostosuunnittelijoiden haastatteleminen sekä itsenäinen perehtyminen alan standardeihin, määräyksiin sekä muuhun materiaaliin mahdollistivat käyttökelpoisen ja luotettavan suunniteluohjeen laadinnan. Koska suunnitteluprojekteissa on aina eroavaisuuksia ei täydellistä jokaiseen projektiin tarkasti sopivaa perehdytysohjelmaa pystytty laatimaan. Hankaluuksia ilmeni myös perehdytysohjelman soveltamisessa käytännössä, sillä aikataulusta johtuen ohjetta ei voitu laatia valmiiksi etukäteen, vaan sen kokoaminen tapahtui osittain yhtäaikaisesti suunnittelutyön kanssa.

Varsinkin maastosuunnitteluosiossa jouduttiin käyttämään lähdetietona lähinnä haastatteluja, sillä aiheesta oli saatavana niukasti kirjallista ja sähköistä materiaalia, mikä aiheutti rajoituksia moninaiseen ja laajamittaiseen tarkasteluun. Lähteinä käytettävien materiaalien osittainen suppeus saattoi myös vaikuttaa opinnäytetyönä tuotetun ohjeistuksen luotettavuuteen jonkin verran, vaikka lähdemateriaalina käytettyjä haastatteluja olikin useampia.

Opinnäytetyön tuloksia eli uudelle suunnittelijalle laadittua ohjeistusta voidaan hyödyntää uusien verkostosuunnittelijoiden perehdyttämisessä työhön. Laatimani perehdytysohjelma oli itselläni käytössä aloittamissani uusissa suunnitteluprojekteissa, joissa pystyin sitä osittain hyödyntämään, vaikka kokonaiskuva suunnittelusta minulle olikin jo hahmottunut.

Perehdytysohjelmaa voisi jatkossa kehittää siten, että siihen voisi liittää esimerkiksi lisää yhteenvetoja luonteeltaan erityyppisistä suunnitteluprojekteista. Esimerkkien avulla olisi helpompi tuoda esille suunnittelun vaiheita esimerkiksi maaston tai muiden olosuhteiden osalta erityyppisissä suunnitteluprojekteissa. Toisaalta myös itse suunnitteluprosessia voisi pyrkiä kehittämään tehokkaammaksi ja yksinkertaisemmaksi, mutta tähän vaadittaisiin myös muiden tahojen panostusta.

Lähteet

AHXAMK-WP 20 kV 3-johtiminen. N.d. Kaapeliesite Prysmian Group:in sivuilla. Viitattu 1.11.2015. http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/pd/download/datasheets/AHXAMK-WP_20kv_3joht.pdf

Alanen, R. & Hätönen, H. 2006. Sähkön laadun ja jakelun luotettavuuden hallinta. State of art –selvitys VTT:n sivuilla. Viitattu 28.10.2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W52.pdf>

ALTE Group. N.d. Esittely ALTE Group:in sivuilla. Viitattu 28.10.2015. http://www.alte.fi/en/alte-group-en/konserni_2.html

Fredman, P. 2015. Pääsuunnittelija. TSS GROUP OY. Haastattelu 20.10.2015.

Harsia, P. 2007. Johtimien ja suojalaitteiden yhteensovittaminen. Oulun ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 4.12.2015. http://www.oamk.fi/~pekkar/kevat_2015_aineisto/Kiinteiston_sahkoverkko/Johdon_ylikuormitussuojaus2008_epayhtalot.pdf

Harsia, P. 2008. Jakelujärjestelmät. Virtuaali AMK:n opetusmateriaali. Viitattu 17.11.2015. <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojak-sot/030503/1113391235042/1150107031700/1150107977837/1150110228558.html>

Harsia, P. 2013. Ylikuormitussuojaus. Tampereen ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 29.10.2015. <http://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/johdon-mitoitus/ylivirtasuojaus/ylikuormitussuojaus/>

Hietalahti, L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Vantaa: AMK-Kustannus Oy

Kaipia, T. 2013. BL10A3000 Sähköturvallisuus. Lappeenrannan teknillisen yliopiston opetusmateriaali. Viitattu 29.10.2015. https://noppa.lut.fi/noppa/opinto-jakso/bl10a3000/luennot/luento6-8-kiinteistojen_sahkoasennukset-1-2013.pdf

Koponen, N. Tekninen avustaja. TSS GROUP OY. Haastattelu 20.10.2015

Korpinen, L. N.d.a. Jännitteenalenema. Oppimateriaali Leena Korpisen sivuilla. Viitattu 4.12.2015. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/4sahkoverkkojen_laskenta.pdf

Korpinen, L. N.d.b. Sähkönsiirto- ja jakeluverkot. Oppimateriaali Leena Korpisen sivuilla. Viitattu 26.10.2015. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/3sahkon_siirto_ja_jakeluverkot.pdf

Korpinen, L. N.d.c. Sähköverkkojen laskentaa. Oppimateriaali Leena Korpisen sivuilla. Viitattu 10.11.2015. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/4sahkoverkkojen_laskenta.pdf

Korpinen, L. N.d.d. Vikatilanteet. Oppimateriaali Leena Korpisen sivuilla. Viitattu 29.10.2015. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/vikatilanteet.pdf>

Korpinen, L., Mikkola, M., Keikko, T. & Falck, E. N.d. Yliaalto-opus. Oppimateriaali Leena Korpisen sivuilla. Viitattu 28.10.2015. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>

Kukkonen, A. Projektipäällikkö. TSS GROUP OY. Haastattelu 20.10.2015

Kumpulainen, L., Laaksonen, H., Komulainen, R., Martikainen, A., Lehtonen, M., Heine, P., Silvast, A., Imris, P., Partanen, J., Lassila, J., Kaipia, T., Viljainen, S., Verho, P., Järventausta, P., Kivikko, K., Kauhaniemi, K., Lågland, H. & Saaristo, H. 2006. Verkkovisio 2030: Jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio. Helsinki: Edita Prima Oy.

L 588/2013. Sähkömarkkinalaki. Viitattu 29.10.2015. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>

Maasulku. N.d. Satakunnan ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 16.11.2015. <http://salabra.tp.samk.fi/er/siirto/maasul.doc>

Nyt koko paketti sähköjaketun kokonaissuunnitteluun. N.d. Esite ALTE Group:in sivuilla. Viitattu 28.10.2015. http://www.alte.fi/uploads/pdf/TSS-Group_Maastolinja_A4.pdf

Oikosulku. N.d. Satakunnan ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 29.10.2015. <http://salabra.tp.samk.fi/er/siirto/oikos.doc>

Oikosulkusuojaus. N.d. Oulun ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 29.10.2015. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf

Partanen, J. 2011. BL20A0500 Sähköjaketuteknikka: Maasulkusuojaus. Opetusmateriaali Lappeenrannan teknillisen yliopiston sivuilla. Viitattu 17.11.2015. <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/maasulkusuojaus.pdf>

Pylväs, K. 2015. Kaapeliverkon maasulkuvirran kompensointi. Opinnäytetyö. Centria Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 4.12.2015. https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/92199/pylvas_kimmo.pdf?sequence=1

Rannelma, V. 2015. Pääsuunnittelija. TSS GROUP OY. Haastattelu 20.10.2015.

Ruppa, E. 2001. Yliaallot. Satakunnan ammattikorkeakoulun opetusmateriaali. Viitattu 4.12.2015. <http://salabra.tp.samk.fi/er/siirto/yliaallot.doc>

Ränni, E. 2015. Dokumentoija. TSS GROUP OY. Haastattelu 20.10.2015.

SFS 6000-1. 2012. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: peruseräät, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 3.12.2015

SFS 6000-4-43. 2012. Pienjänniteasennukset. Osa 4-43: suojausmenetelmät. Ylivirtasuojaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 29.10.2015

SFS 6000-8-801. 2012. Pienjännitesähköasennukset. Osa 8-801: eräitä asennuksia koskevat täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 13.8.2012. Viitattu 29.10.2015

Suojien selektiivisyys. N.d. Virtuaali AMK:n Opetusmateriaali. Viitattu 29.10.2015.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1204792797383/1210594480264/1210594509783/1210594830404.html>

Sähköasema ja sen tärkeimmät laitteet. 2004. Artikkelijingridin sivuilla. Viitattu 10.11.2015.

<http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCsahkoasema.aspx>

Sähkönsiirto. 2013. Artikkelijenergiaverkon sivuilla. Viitattu 26.10.2015.

http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energiaverkko/energian_siirto/sahkonsiirto.htm

Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje. 2014. Ohje Energiategollisuuden sivuilla. Viitattu 28.10.2015. http://energia.fi/sites/default/files/sahkon_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2014.pdf

Sähköntuotanto. N.d. Artikkelijenergiategollisuuden sivuilla. Viitattu 26.10.2015.

<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/sahkontuotanto>

Tiainen, E. N.d. Vikasuojauksen ja oikosulkusuojauksen erot. Artikkelit Sähköala.fi:n sivuilla. Viitattu 29.10.2015. http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahko-tekniikka/fi_FI/vika-ja_oikosulkusuojaus/

Trimble NIS. N.d. Esittely Teklan sivuilla. Viitattu 1.11.2015.
<http://www.tekla.com/fi/tuotteet/trimble-nis>

Verkon rakenne. N.d. Artikkelit Energiateollisuuden sivuilla. Viitattu 26.10.2015.
<http://energia.fi/sahkomarkkinat/sahkoverkko/verkon-rakenne>

Åkerberg, J. 2015. Pääsuunnittelija. TSS GROUP OY. Haastattelu 20.10.2015.

Liitteet

Liite 1. Oikosulkusuojan valintataulukko

Liite 2. Oikosulkusuojan valintataulukko, kun sulakkeen toiminta-aika on enintään 15 s pienimmällä mahdollisella poiskytkentäehtojen mukaisella oikosulkuvirralla

Taulukko 801.2 Liittymisjohdon oikosulkusuojana toimivan standardin SFS-EN 60269 mukaisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta jakeluverkon sellaisissa osissa, joissa suojaava sulake on määritelty taulukon 801.1 mukaan (sarake 3) tai SFS 6000-4-43 esitetyn 5 s suojalaitteen toiminta-ajan mukaan (sarake 4).

Kaapelin poikkipinta mm ²		gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta, kun 5 s poiskyttäaika ei toteudu A	gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta, kun 5 s poiskyttäaika toteutuu A
kupari	alumiini		
1	2	3	4
10	16	100	125
16	25	125	160
25	35	160	200
35	50	200	250
50	70	250	315
70	95	315	400
95	120	400	500

Taulukko A801.1 Liittymisjohdon oikosulkusuojana toimivan standardin SFS-EN 60269 mukaisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta, kun sulakkeen toiminta-aika on enintään 15 s pienimmällä mahdollisella poiskytkentäehtojen (taulukon 801.1) mukaisella oikosulkuvirralla

Johdon poikkipinta mm ²		Enintään 15 s:ssa toimivan gG-tyyppisen sulakkeen suurin sallittu mitoitusvirta A
kupari	alumiini	
6*		80A
10	16	125
16	25	160
25	35	200
35	50	250
50	70	315
70	95	400
95	120	500

* Vain aikaisemmin tehdyissä asennuksissa.