

SÄHKÖNJAKELUVERKON RAKENTAMISEN,
SUUNNITTELUN JA
DOKUMENTOINNIN PERIAATTEET

Matti Silander

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2025

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Matti Silander	Vuosi	2025
Ohjaaja	Tuomas Kariniemi		
Toimeksiantaja	Neve Oy		
Työn nimi	Sähkönjakeluverkon rakentamisen, suunnittelun ja dokumentoinnin periaatteet		
Sivumäärä	46 + 1		

Tämän opinnäytetyön aiheena oli ohjeistuksen laatiminen sähkönjakeluverkon rakentamisen, suunnittelun ja dokumentoinnin periaatteista. Tavoitteena oli laatia puuttuvat toimintatavat ja periaatteet kirjalliseen muotoon ja tuottaa näistä yhteinen ohjeistus yrityksen käyttöön. Työ kohdistui pääasiassa pienjänniteverkon ja keskijänniteverkon rakentamisen ja suunnittelun vaiheisiin sisältäen verkon mitoittamisen, komponenttien valinnan ja sijoittamisen sekä maadoitusjärjestelmät.

Työ toteutettiin pääosin teemahaastatteluilla, joissa haastateltiin yrityksessä työskenteleviä asiantuntijoita. Haastatteluilla saatiin kerättyä talteen niin sanottu hiljainen tieto, mitä ei ollut aiemmin kirjallisessa muodossa. Tämän lisäksi lähteinä toimivat yrityksen jo olemassa olevat ohjeet, kirjallisuuslähteet, standardit sekä viranomaisien määräykset ja ohjeistukset.

Työn tuloksena on sähkönjakeluverkon rakentamisen, suunnittelun ja dokumentoinnin periaatteet sisältävä ohjeistus. Työssä listattiin kolmen eri osa-alueen yleiset periaatteet, mitä voidaan hyödyntää tilaajan ja urakoitsijan tarkistuslistana verkonrakentamisen eri vaiheissa sekä yleisenä ohjeistuksena yrityksen nykyisille ja tuleville työntekijöille.

Avainsanat

sähköverkot, mitoitus, rakentaminen, suunnittelu, dokumentointi

Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Matti Silander	Year	2025
Supervisor(s)	Tuomas Kariniemi		
Commissioned by	Neve Oy		
Title	Principles of construction, planning and documentation of the electricity distribution network		
Number of pages	46 + 1		

The topic of this thesis was the preparation of guidelines on the principles of construction, design and documentation of an electricity distribution network. The goal was to put the missing operating procedures and principles into written form, and to produce uniform guidelines for use by the company. The work mainly focused on the construction and planning phases of the low-voltage network and the medium-voltage network, including network dimensioning, selection and placement of components, and grounding systems.

The work was mainly carried out as thema interviews, in which experts working in the company were interviewed. With the interviews, it was possible to collect so-called tacit information, which was not available in written form before. In addition to this, the company's already existing instructions, literature sources, standards and guidelines of the authorities were used as sources.

The result of the work is guidelines containing the principles of construction, planning and documentation of the electricity distribution network. In the work, the general principles of three different sub-areas were listed, which can be used as a checklist for the subscriber and contractor in the different stages of network construction, and as general instructions for the company's current and future employees.

Keywords electrical power networks, dimensioning, construction, planning, documentation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TOIMEKSIANTAJAYRITYS.....	7
2.1	Neve Oy	7
2.2	Rovaniemen Verkko Oy.....	7
2.3	Enontekiön Sähkö Oy.....	8
3	SUUNNITTELUN PERIAATTEET.....	10
3.1	Verkkotopologia.....	10
3.2	PJ-verkon suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet	12
3.2.1	Sähköliittymien mitoitusvahvuudet	12
3.2.2	Verkon kuormitusaste	14
3.2.3	Jännitteenalenema	15
3.2.4	Liittymisjohdon tyypit ja mitoitus.....	17
3.3	PJ-verkon sähköinen suojaus	19
3.3.1	Ylikuormitussuojaus.....	19
3.3.2	Oikosulkusuojaus	20
3.3.3	Suojauksen selektiivisyys	21
3.4	KJ-verkon suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet	22
3.4.1	Maakaapelin ja ilmajohtojen valinta ja sijoitus.....	22
3.4.2	Muuntamoiden valinta ja sijoitus	23
3.4.3	Ylijännitesuojaus.....	24
3.4.4	Maasulkusuojaus.....	25
3.4.5	Maasulkuvirran kompensointi	26
3.5	Maadoitukset	27
4	RAKENNUTTAMISEN PERIAATTEET.....	30
4.1	Jakeluverkon rakentamistapa	30
4.1.1	Keskijänniteverkko.....	31
4.1.2	Pienjänniteverkko	33
4.2	Muuntamot	34
4.2.1	Puistomuuntamot.....	34
4.2.2	Pylväsmuuntamot.....	36
4.3	Maadoitusjärjestelmät.....	37
4.4	Kaapeliverkon mekaaninen suojaus	39

4.4.1	Teiden alitukset	39
4.4.2	Vesistökaapelit	40
5	DOKUMENTOINNIN PERIAATTEET	41
5.1	Dokumentointi	41
5.2	Verkkotietojärjestelmä	42
5.3	Verkon käyttöönottoprosessi.....	43
6	POHDINTA.....	46
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	49

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa sähkönjakeluverkon rakentamisen, suunnittelun ja dokumentoinnin periaatteet sisältävä ohjeistus. Keskeinen tarkoitus työssä on koota vakiintuneet käytänteet ja toimintatavat yhtenäisiksi toimintaperiaatteiksi kirjalliseen muotoon. Periaateohjeistukset sisältävät yleisimmät vakiintuneet käytänteet komponenttivalinnoissa ja prosesseissa huomioitava asioita. Opinnäytetyön tuloksen syntyvä ohjeistus tulee toimeksiantajayritys Neve Oy:n sisäiseen käyttöön. Opinnäytetyössä keskitytään toimeksiantajayrityksen tytäryhtiöiden toimintaan. Näitä tytäryhtiöitä ovat Rovaniemen Verkko Oy ja Enontekiön Sähkö Oy. Aihe opinnäytetyölle tuli toimeksiantajayrityksen ehdotuksesta. Ohjeistuksille koettiin olevan tarvetta, koska aiempia kirjallisessa muodossa olevia periaatteita sisältäviä ohjeistuksia ei yrityksen käytössä ennestään ollut.

Opinnäytetyö on rajattu siten, että se keskittyy pienjännite- ja keskijänniteverkkojen rakennuttamisen ja suunnittelun periaatteiden käsittelyyn. Työssä tarkastellaan erityisesti sähköverkkojen rakennuttamisen ja suunnittelun eri vaiheita, joissa huomioidaan sähkötekniset tekijät, kuten verkon rakenne, komponenttien valinta ja asennustekniikat. Dokumentoinnin osalta rajaus muodostuu osittaisesta käyttönotosta loppudokumentointiin. Dokumentointiosuudessa keskiössä ovat verkkotietojärjestelmien periaatteet ja verkon käyttöönottoprosessin vaiheet.

Opinnäytetyössä käytettävistä tutkimusmenetelmistä pääosassa ovat teemahaastattelut. Iso osa käytetyistä periaatteista on ollut ns. ”hiljaista tietoa”, eli niitä ei ole ollut kirjallisessa muodossa. Teemahaastattelujen lisäksi lähteinä toimivat yrityksen jo olemassa olevat vanhat ohjeistukset. Lait, standardit ja viranomaisten suositukset ovat keskeinen apuväline periaateohjeiden tuottamisessa.

Teemahaastattelut toteutettiin anonymieinä haastatteluina, eli haastateltavien nimiä ei julkisteta. Haastateltavat esiintyvät nimillä Henkilö1, Henkilö2, Henkilö3 ja Henkilö4, jotka on tekstissä myöhemmin ilmaistu lyhenteillä H1, H2, H3 ja H4.

2 TOIMEKSIANTAJAYRITYS

2.1 Neve Oy

Neve Oy (aiemmin Napapiirin Energia ja Vesi Oy) on Lapin alueella toimiva energia-alan konserni, jonka tytäryhtiöt toimivat sähkön, veden, kaukolämmön ja valokuituverkon jakeluverkkoyhtiöinä. Neve Oy:n omistamiin tytäryhtiöihin kuuluu Napapiirin Vesi Oy, Rovaniemen Verkko Oy ja Napapiirin Infra Oy. Neve Oy:n osittain omistamia yrityksiä ovat Ranuan Bioenergia Oy (omistusosuus on 90 %) ja Napapiirin Kuituverkot Oy (omistusosuus on 80 %). Lisäksi Neve Oy:llä on pienempiä osakkuuksia Lapin alueella toimivista energia-alan yrityksistä. (Neve 2025a.)

Neve Oy on osakas myös Neve Arctic Infrastructure Ky yhteishankeyrityksessä yhdessä Osuuspankin (myöhemmin OP) kanssa. Yhteishankeyritys keskittyy lämpö-, vesi-, viestintä- ja energialiiketoimintaan. Yhteishankeyritykseen kuuluvat yritykset ovat Neve Isommus Oy, joka kehittää ja hallinnoi infrastruktuuria Lapin, Kainuun ja Koillismaan alueilla, Enontekiön Sähkö Oy, joka ylläpitää ja hallinnoi sähkönjakeluverkostoa Enontekiön kunnan alueilla sekä Aurora Lämpö Oy, kaukolämpöyhtiö, joka toimii Savukosken, Ylläksen ja Kolarin alueella. (Neve 2025a.)

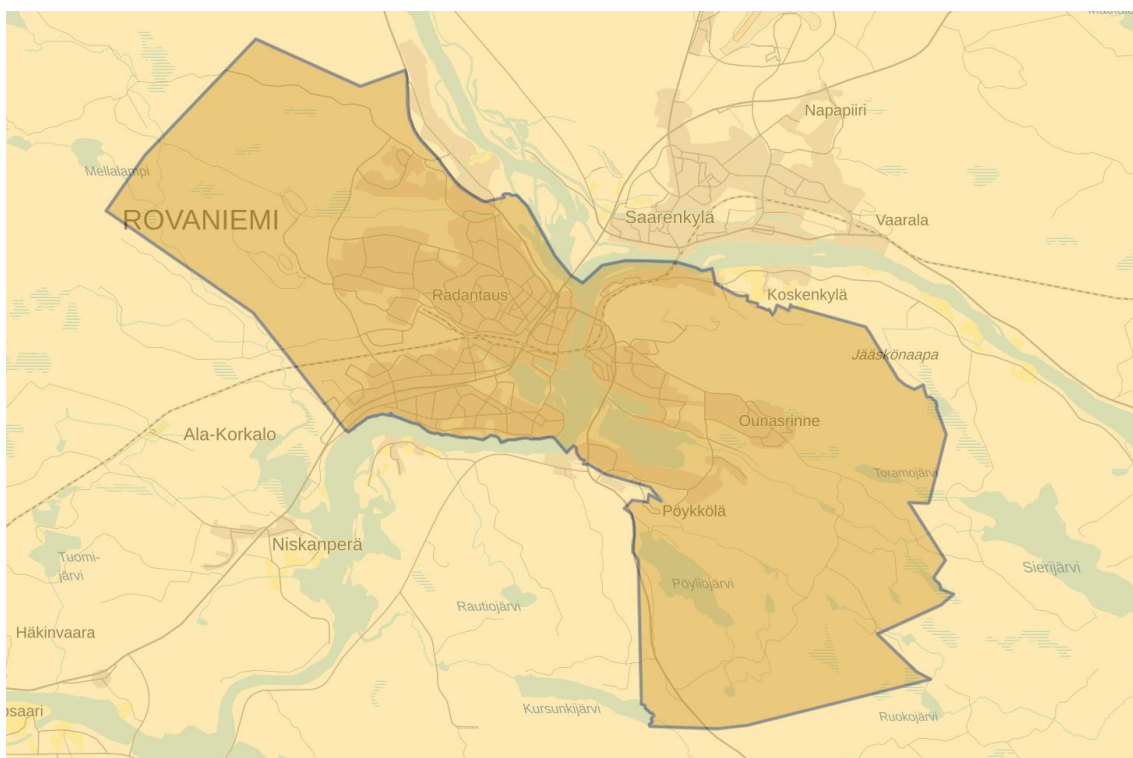
Neve Oy:n palveluksessa oli vuoden 2023 lopussa 132 henkilöä ja liikevaihto oli 84,4 miljoonaa euroa. Vuonna 2023 lämmön myynti oli 532.5 GWh, sähkönsiirto 342.5 GWh, sähkön tuotanto 170.3 GWh ja talousveden toimitus 3,3 Mm³. Uusiutuvien energialähteiden osuus oli 75 %. (Neve 2025a.)

2.2 Rovaniemen Verkko Oy

Rovaniemen Verkko Oy (ROVE) on toiminut vuoden 2011 organisaatiomuutoksen jälkeen virallisena sähkömarkkinalain mukaisena sähköverkkoyhtiönä. Yhtiö hankkii kaikki palvelut konsernin sisäisiltä yrityksiltä. Esimerkiksi tilaajapalvelut hankitaan emoyhtiö Neve Oy:ltä ja urakointipalvelut osakkuusyrittäiltä. (Neve 2025b.)

Vuonna 2023 Rovaniemen Verkko Oy:n asiakkaiden sähkökäyttöpaikkoja oli vuoden lopussa 29 697 kappaletta. Uusia käyttöpaikkoja liitettiin verkkoon 154 kappaletta. Yhtiön nettoinvestoinnit olivat 4,34 miljoonaa euroa. Pääosa investoinneista kohdistui jakeluverkon uudistamiseen ja laajennuksiin. (Neve 2025b.)

Rovaniemen seudun sähköverkko koostuu pääosin maakaapeloidusta verkosta. Verkon pituus on 936 kilometriä ja kaapelointiaste on 94,2 %. Sähkön siirron osuus on 315 GWh ja huipputeho 63,7 MW. Rovaniemen Verkko Oy:n toiminta-alue on Rovaniemen kaupungin keskustan asemakaava-alue sekä Ounasvaaran, Pöykkölän ja Korkalovaaran lähialueet. Kuvassa on Rovaniemen Verkko Oy:n verkkoalue kartalla esitettynä (kuvio 1). (Neve 2025b.)



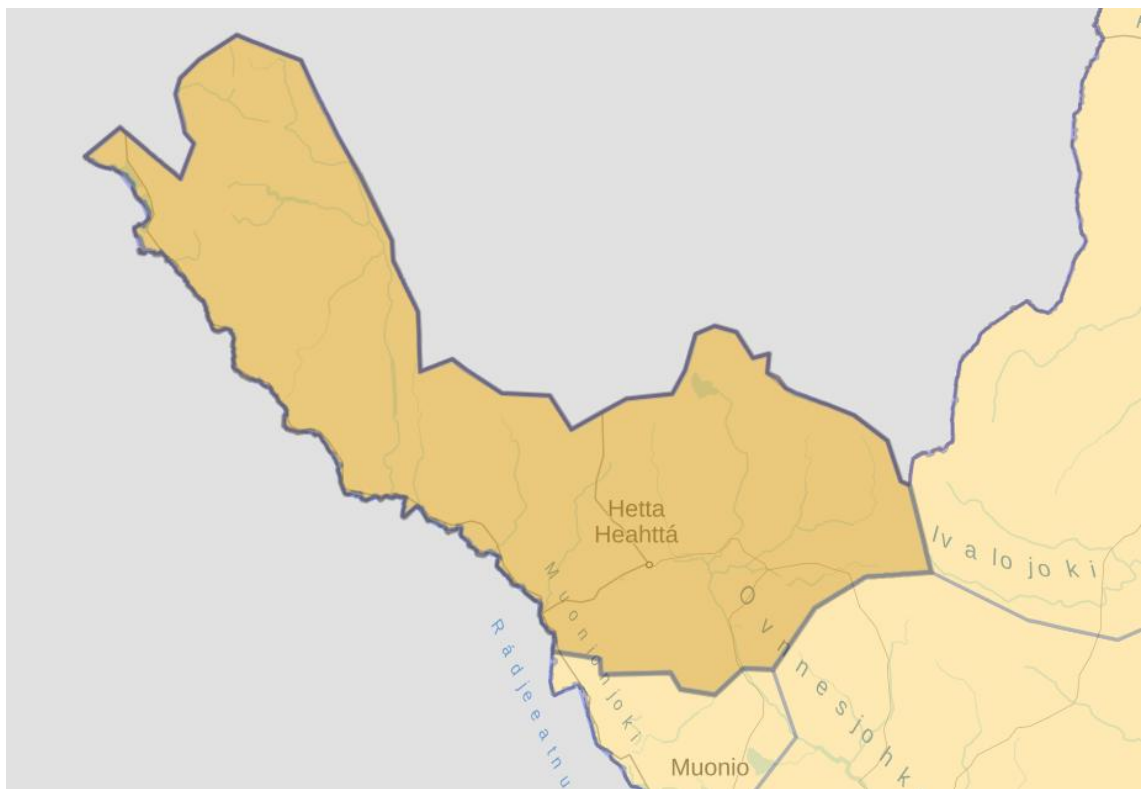
Kuvio 1. Rovaniemen Verkko Oy:n verkkoalue (Energiavirasto 2025)

2.3 Enontekiön Sähkö Oy

Enontekiön Sähkö Oy (ENO) on osa Neve Arctic Infrastructure Ky yhteistyöhanketta OP:n kanssa. Enontekiön Sähkö Oy ylläpitää ja hallinnoi sähkön siirto- ja jakeluverkkoa Enontekiön kunnan alueella. Enontekiön Sähkö Oy:n alueella oli vuoden 2023 lopussa asiakkaiden sähkökäyttöpaikkoja oli

1902 kappaletta. Uusia käyttöpaikkoja liitettiin verkkoon 19 kappaletta, joista tuotannon käyttöpaikkoja oli 6 kappaletta. (Neve 2025b.)

Enontekiön Sähkö Oy:n verkko koostuu pääosin ilmajohtoverkosta. Verkon pituus on 790 km ja maakaapelointiaste on 7,6 %. Sähkön siirron osuus on 28,5 GWh ja huipputeho 7,9 MW. Enontekiön Sähkö Oy:n toiminta alue on Enontekiön kunnan alueella olevat asemakaava-alueet sekä laajat haja-asutusalueet. Kuvassa on Enontekiön Sähkö Oy:n verkkoalue kartalla esitettynä (kuvio 2). (Neve 2025b.)



Kuvio 2. Enontekiön Sähkö Oy:n verkkoalue (Energiavirasto 2025)

3 SUUNNITTELUN PERIAATTEET

3.1 Verkkotopologia

Pienjänniteverkon topologia suunnitellaan alueen ja ympäristön mukaan. Pääsääntöisesti verkko on säteittäinen, rengasyhteyksiä toteutetaan keskusta-alueilla ja kriittisissä kohteissa, jos se on teknistaloudellisesti kannattavaa. Kehittyvillä alueilla verkon rakentamista suunnitellaan harkiten, erityisesti jos alueen kehitys on epävarmaa. Tällöin voi olla järkevää hyödyntää nykyistä verkkoa pidempään tai varautua tulevaisuuteen vahvemalla runkojohdolla. Varaputkituksia ei yleensä käytetä, mutta teollisuusalueilla tai kaupunkialueella niiden käyttö voi olla tarpeen esim. kivetetyn tai asfaltoidun ympäristön myöhemmän kaivun välttämiseksi. (H1.)

Keskijänniteverkon (myöhemmin KJ-verkko) topologia suunnitellaan selkeästi ja loogisesti, jotta runkoreitit ovat mahdollisimman suoraviivaisia ja verkon kapasiteetti säilyisi hyvänä ja häviöt jäisivät pieniksi. Verkkotopologia ja johtoreitit suunnitellaan maaperän ja ympäristön erityispiirteet huomioiden. (H1.)

Muuntamot ja kaapelireitit sijoitetaan niin, että eri syöttösuuntien kaapeleita ei kulje samalla reitillä. Pitkiä rinnakkaisia keskijännitekaapelireittejä vältetään. Kaapeleille pyritään löytämään erilliset reitit, esimerkiksi tie- tai katureittejä hyödyntäen. Keskijänniteverkon suunnittelussa otetaan myös aina huomioon pienjänniteverkon (myöhemmin PJ) tavoitetila, riippumatta verkon rakentamisen laajuudesta. Muuntamon sijoitus suunnitellaan ennakoiden keskijännite- ja pienjänniteverkon tarpeet. (H1.)

Verkon korvausinvestoinneissa on otettava huomioon mahdolliset tulevat liittymäkohteet. Asemakaava-alueella erityisesti pientalotonteille on usein järkevää viedä liittymiskaapeli tontin rajalle jo rakennusprojektin yhteydessä. Kuviossa 3 on esimerkki PJ-verkon toteutustavasta pientaloasuinalueella. Kaapelit viedään tonteille teiden varsia pitkin. Kuviossa 3 tonteilla olevat tähdet kuvaavat kiinteistön sähköliittymiä. Liityntäpisteet tonttien rajalla eivät näy karttakuvassa. (H1.)

yleensä se, jossa runkojohdoista otetaan säteittäisiä haaroja, mutta tämä ei ole aina riittävä ratkaisu. Mikäli asiakkaalla on suuritehoisia sähkölaitteita, kuten hit-sauskoneita, kyseinen liittymä tulisi liittää omalla johdolla muuntamolta, jotta muiden käyttäjien jännitevaihtelut voidaan estää. Joissakin tapauksissa tärkeille asiakkaille sähkönsaanti voidaan varmistaa varasyötöllä, joka tulee toiselta sähköasemalta. (Lakervi & Partanen 2009, 161–162.)

Taajama-alueilla pienjänniteverkon rakenne on tiheä ja verkot muuntopiirien välillä sijaitsevat usein hyvin lähellä toisiaan tai jopa lomittain. Muuntopiirien rajoilla olevien kiinteistöjen sähköistäminen voitaisiin useimmissa tapauksissa tehdä kummasta tahansa muuntopiiristä, kustannuksien pysyen lähes samana. Tällöin eri muuntopiirien syöttämät pienjänniteverkot liitetään usein yhteen. Lisäksi säteittäisten haarojen väliset yhdysjohdot voivat olla kustannustehokkaita, koska etäisyydet ovat pääasiassa lyhyitä ja kuormitus on tiheää. Silmukoitu verkko on kuitenkin harvinainen ratkaisu. (Lakervi & Partanen 2009, 162.)

Haja-asutusalueilla tilanne on toisenlainen, sillä muuntopiirien välillä saattaa olla laajoja alueita asumattomana, ja muuntopiirien asiakasmäärät ovat pieniä. Tällöin mahdolliset häiriöt verkossa vaikuttavat vain muutamiin asiakkaisiin. Verkkoa ei tällöin yleensä silmukoida, eikä muuntamoiden välisten yhdysjohtojen rakentaminen ole järkevää luotettavuuden parantamisen näkökulmasta. (Lakervi & Partanen 2009, 162.)

3.2 PJ-verkon suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet

3.2.1 Sähköliittymien mitoitusvahvuudet

Vanhan verkon sähköliittymien mitoitusvahvuus määritellään pääsääntöisesti aiempien tuntitehosarjojen perusteella, jotka löytyvät Trimble NIS -verkkotietojärjestelmästä. Mikäli tuntitehotiedot puuttuvat tai ne ovat virheellisiä, esimerkiksi pääsulakekoon nimellisvirtaa huomattavasti suurempia arvoja, tulee kuormitusvahvuus arvioida tarkasti muiden saatavilla olevien tietojen perusteella. Tällaisia tietoja ovat esimerkiksi kuluttajatyypit, ympäristö tai tehokuvaaja. Jos tiedossa on muutoksia olemassa olevien liittymien kuormitusvahvuudessa, ne on otettava huomioon

suunnitteluvaiheessa. Tällöin tehotiedot voidaan joko arvioida uudelleen tai päivittää laskentaa varten. (H1.)

Mitoitustarkastelussa on tärkeää ottaa huomioon, että ennalta määritetyt tuntitehojen laskennat antavat huipputehotilanteen arvot sekä liittymille että muuntajalle. Laskentatulosten ohella on suositeltavaa tarkastella myös liittymä- ja muuntajakohtaisia tehokuvaajia, jotta saavutetaan järkevä ja tarkoituksenmukainen mitoitus. Pienitehoisten liittymien kohdalla on suunnitteluvaiheessa arvioitava, kuinka todennäköistä on, että kuormitusteho kasvaa tulevaisuudessa. Lisäksi on varmistettava, että tarvittava kapasiteettivaraus mahdolliselle tehonnousulle otetaan huomioon suunniteltaessa verkonosaa. (H1.)

Uusien liittymien tehon tai vuosienergian määrittäminen perustuu kokemuseräisiin arvioihin. Mitoitusprosessi toteutetaan hyödyntämällä verkkotietojärjestelmän kuormituskäyriä ja laskenta-arvoja. Mitoitettavalle liittymälle arvioidaan ensin tuntiteho tai valitaan käytettävissä olevista lähtötiedoista sopivin kuormituskäyrä sekä vuosienergia. Sen jälkeen suoritetaan tarvittavat laskelmat. (H1.)

Verkostojen kuormituksia laskettaessa käytetään verkostolaskentaohjelmissa lähtötietoina kuluttajien vuosienergiaa, liittymän tyypistä riippuvia kuormituskäyriä, tehokertoimia sekä sähköliittymien pääsulaketietoja. Tiedot ovat saatavilla yrityksen asiakas- ja verkkotietojärjestelmistä. (Adatoextra 2025d.)

Suunniteltaessa uusia kohteita, on suositeltavaa käyttää samantyyppisiä tietoja, kuten vuosienergiaa, kuormituskäyriä ja pääsulakearvoja. Jos kyseessä on verkoston peruskorjaussuunnittelu, suunnittelussa voidaan hyödyntää suoraan verkkotietojärjestelmästä saatavia seurantalaskentatietoja, kuten energia-, kuormituskäyrä- ja pääsulakearvoja, jolloin suunnittelu voidaan perustaa näihin olemassa oleviin tietoihin. (Adatoextra 2025d.)

Laskettaessa kuormituksia kaavoitetulla alueella, noudatetaan kaavaa 1, jossa esim. sähkölämmitteisen pientalon vuosienergia määritetään. Luvut 7000 ja 110 edustavat arvioita tai kokemuseräisiä vakioita kulutuksesta, jotka vaihtelevat mitoitettavan kohteen mukaan.

Pientalo sähkölämmityksellä. (Adatoextra 2025d.)

$$W = 7000 * n + 110 * A \quad (1)$$

missä

W on vuosienergia (kWh)

n on kuluttajien lukumäärä

A on lämmitetty kokonaispinta-ala (m²)

Laskentakaava on sama laskettaessa sitten sähkölämmityksellä varustetun tai ilman sähkölämmitystä olevan kohteen vuosienergiaa. Vakio-osuudet vain muuttuvat kohteen mukaan.

3.2.2 Verkon kuormitusaste

Kun suunnitellaan uutta verkkoa, tehdään muutoksia vanhaan verkkoon tai liitetään lisää kuormitusta vanhaan verkkoon, on tärkeää tarkistaa muuntajan kuormitusaste. Kuormituslaskennassa on huomioitava, että aiempi kuormitusaste voidaan laskea tarkasti hyödyntäen yhdistettyjä tuntitehoja, jolloin laskentatulokset kuvaavat huippukuormitustilanteen arvoja. Tällöin on kuitenkin tärkeää huomioida myös muuntajan tehokuvaajan kausittainen kuormitusvaihtelu, eli miten kuormitus vaihtelee eri vuodenaikoina. (H1.)

Kuormitusmitoituksessa tulee ottaa huomioon erityisesti talvikuukausien huipputehoajat suhteessa ympäristön lämpötilaan. Lisäksi on arvioitava pitkän aikavälin todennäköinen huipputeho. Muuntajan mitoitus tulee tehdä vähintään niin, että se kattaa muuntopiirin suurimman liittymän nimellistehon. (H1.)

Muuntamon kuormitusta laskettaessa suunnittelijan on luotava suunnitteluohjelmalla alueesta ensimmäinen suunnitelma pienjänniteverkon osalta, joka sisältää liittymis- ja runkojohtojen sekä jakokaappien suunnitelmat. Verkon suunnittelussa on hyvä aluksi noudattaa yrityksen vakioperiaatteita runko- ja liittymisjohtojen laadusta pääsulakkeittain. (Adatoextra 2025d.)

Tällä tiedolla voidaan verkko luoda mahdollisesta muuntamopaikasta ja laskea ensimmäisen kerran sen kokonaiskuormitus sekä muuntamoteho. Useimmat

verkkosuunnitteluohjelmat mahdollistavat laskennan ilman suojaavien sulakkeiden tarkempaa määrittelyä johtolähtöjen alussa. Mikäli muuntamopaikoiksi on useita vaihtoehtoja, verkon laskenta ja luonti on suoritettava tarkemmin parhaan paikan löytämiseksi. (Adatoextra 2025d.)

Verkon suunnittelussa määritetään tarkasti johtolaadut ja suojasulakkeet, jotta laskennan avulla voidaan arvioida muuntamopaikan, johtolaatujen ja sulakkeiden vaikutuksia oikosulkusuojauksen, jännitehäviöiden, tehohäviöiden ja taloudellisuuden kannalta. Muuntajan valinta perustuu laskennallisiin tietoihin. Valinta voidaan tehdä ottaen huomioon myös alueen rakennusvaiheiden kesto ja kulutuksen kasvu alueella. Muuntaja valitaan yleensä 0,7–1,2 kertoimella muuntopiirin lasketusta kokonaiskuormasta. (Adatoextra 2025d.)

3.2.3 Jännitteenalenema

Verkkotietojärjestelmän yhdistetyssä teholaskennassa huomioidaan kuormituksen huipputilanne ja jännitteenalenema. Todelliset jännitteenalenemat ovat usein keskimäärin pienempiä kuormitus- ja kausivaihteluiden vuoksi, mutta tietyissä kohteissa, kuten teollisuudessa ja maataloudessa, joissa huippukuormitus on tasaista pitkään, jännitteenalenema on tarkasteltava kriittisemmin ja verkon mitoistusta voidaan joutua muuttamaan. (H1.)

Uuden verkon mitoituksessa kaikki osat on suunniteltava uusien vaatimusten mukaan. Vanhan verkon osia voidaan käyttää vanhan verkon vaatimuksilla, mutta jos vanha verkon osa uusitaan myöhemmin, on sen täytettävä uuden verkon vaatimukset. (H1.)

Pienjänniteverkon mitoituksessa pyritään siihen, että raja-arvot eivät ylity. Kuitenkin erityiset olosuhteet, kuten hitsauskoneet ja suuret moottorit, voivat vaatia joustavampaa lähestymistapaa. Suunnitelmalaskelmissa tarkastellaan jännitteenalenemaa muuntajalta liittymän päävarokkeelle asti, jossa on sallittava muuntajan täysi kuormitus. Poikkeustapauksissa, joissa merkittäviä investointeja ei ole kannattavaa tehdä, voidaan hyväksyä hieman suurempi jännitteenalenema, mutta uuden liittymän jännitteenaleneman on täytettävä vanhan verkon vaatimukset. (H1.)

Muuntajan jännitteenalenema voidaan laskea kaavalla 2, jolla saadaan prosentuaalinen arvo, joka kuvaa jännitteen muutosta kuorman vaikutuksesta suhteessa muuntajan lähtöjännitteeseen. (Adatoextra 2025d.)

$$\Delta U = \frac{S}{S_N} * (r_k \cos\varphi + x_k \sin\varphi) \quad (2)$$

missä ΔU on muuntajan jännitteenalenema (%)
 S on muuntajan kuorma (kVA)
 S_N on muuntajan nimelliskuorma (kVA)
 r_k on muuntajan oikosulkuresistanssi (%)
 x_k on muuntajan oikosulkureaktanssi (%)
 φ on muuntajan kuorma, virran ja jännitteen välinen vaiheensiirtokulma

Vastaavasti jännitteenalenema johtojen osalta saadaan laskettua kaavalla 3 (Adatoextra 2025d.)

$$\Delta U = \frac{100}{230} * \sum I_j (R_{i-j} \cos\varphi_j + X_{i-j} \sin\varphi_j) \quad (3)$$

missä ΔU on johdon jännitteenalenema (%)
 I_j on solmupisteen j kautta kulkeva virta (A)
 R_{i-j} on johdon kahden peräkkäisen solmupisteen i-j välinen resistanssi
 X_{i-j} on johdon kahden peräkkäisen solmupisteen i-j välinen reaktanssi
 φ on solmupisteen j kautta kulkevan jännitteen ja virran välinen vaiheensiirtokulma

Jännitteenalenemalaskuissa tyypillisesti käytettäviä $\cos\varphi$ - arvoja ovat taulukossa 1 olevat arvot, jotka vaihtelevat kulutustyyppin mukaan.

Taulukko 1. Yleisesti käytettyjä $\cos\phi$ - arvoja (Adatoextra 2025d)

Kulutustyyppi	$\cos\phi$	$\cos\phi$	$\cos\phi$	$\cos\phi$
	sähkö- lämmitys	ei sähkö- lämmitystä	kompensa- soitu	kompensa- soimaton
Pientaloalue	0,98	0,86		
Rivi- tai kerrostaloalue	0,95	0,85		
Tavaratalot ja marketit			0,97	0,80
Huoltamatoiminta			0,92	0,84
Muu liiketoiminta			0,97	0,85
Julkinen palvelu			0,98	0,83
Pienteollisuusalue			0,97	0,75
Käynnistyvä moottori				0,4

3.2.4 Liittymisjohdon tyypit ja mitoitus

Tekniset reunaehdot, joita liittymisjohdoilta edellytetään, on määritelty standardeissa sekä viranomaisten määräyksissä ja ohjeistuksissa. Liittymisjohdon poikkipinta-alan valinnassa tulee huomioida muun muassa suojausehtoien toteutuminen, jännitteenalenema ja kuormitettavuus johdossa sekä jakeluverkkoyhtiön suositukset kaapeleille. (Adatoextra 2025d.)

Pienjänniteverkon suunnittelu liittyy usein yksittäisten sähkötarvitsijoiden verkkoon liittämiseen, uudisrakennusalueiden sähköistämiseen tai jo olemassa olevien verkkojen kunnon parantamiseen. Suunnittelu voi myös liittyä rakennustöihin, jotka edellyttävät sähköverkon johtojen siirtämistä. Tyypillisesti suunnittelu kattaa laajemman alueen muuntajan syöttämässä verkossa, jolloin pelkän johtimen mitoituksen lisäksi on tärkeää vertailla erilaisia verkkomuotovaihtoehtoja. (Lakervi & Partanen 2009, 163.)

Pienjännitejohdon mitoitusperiaatteet ovat pitkälti samat kuin keskijänniteverkoilla, mutta suunnittelussa huomioitavat turvallisuussäännökset ja painotukset poikkeavat. Tavoitteena on valita sellainen johto, jonka investointi- ja käyttökustannusten summa jäisi mahdollisimman pieneksi. Lisäksi tulee varmistaa, että johto täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset, kuten kuormitettavuus, oikosulkukestoisuus, jännitteenalenema sekä standardin SFS 6000-8-801 mukaiset vaatimukset syötön automaattisen poiskytkennän toteuttamisesta. (Lakervi & Partanen 2009, 164.)

Syötön nopeaa poiskytkentää varten minimioikosulkuvirta saadaan taulukosta 2, ja yhtälön 4 avulla saadaan kyseinen oikosulkuvirta laskettua. Verkon pituus vaikuttaa oikosulkuvirran suuruuteen. Liian pitkällä linjalla oikosulkuvirta voi jäädä liian pieneksi, jolloin suurin sallittu sulake ei pala riittävän nopeasti. Pienempi sulake mahdollistaa kuitenkin pidempien johtojen käytön. (Lakervi & Partanen 2009, 164.)

Taulukko 2. Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta jakeluverkossa (Lakervi & Partanen 2009, 164)

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

Yksivaiheinen oikosulkuvirta (I_{k1v}) saadaan laskettua kaavalla 4. (Lakervi & Partanen 2009, 201.)

$$I_{k1v} = \frac{3 \cdot U_v}{\sqrt{(2R_m + R_{m0} + 3l(r_j + r_0))^2 + (2X_m + X_{m0} + l(2x_j + x_{j0} + 3x_0))^2}} \quad (4)$$

missä

U_v on vaihejännite

r_j on vaihejohtimen resistanssi

R_m on muuntajan oikosulkuresistanssi

x_j on vaihejohtimen reaktanssi

X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi

x_{j0} on vaihejohtimen nolhareaktanssi

R_{m0} on muuntajan nolaresistanssi

r_0 on nolajohtimen resistanssi

X_{m0} on muuntajan nolhareaktanssi

x_0 on nolajohtimen reaktanssi

l on johdonpituus

Standardissa SFS 6000-8-801 edellytetään, että jakeluverkon kosketusjännite-suojauksessa tulee syötön automaattisen poiskytkennän suurin sallittu aika olla

enimmillään 5 sekuntia. Tästä voidaan poiketa, mikäli vanha verkonosa on tehty ennen 1.4.2008, jolloin yksivaiheisen oikosulun tuli toimia 15 sekuntia.

Ylivirtasuojana käytettävän sulakkeen enimmäiskoko määräytyy taulukon 2 mukaisesti. Tämän tulee olla sopiva gG-tyypin sulake, joka suojaa johtoa sekä ylikuormitukselta että oikosululta. (Lakervi & Partanen 2009, 164.)

Verkkoyhtiössä liittymisjohdon mitoitus tapahtuu tapauskohtaisesti kuormituksen mukaan. Liittymisjohdot mitoitetaan pääasiassa 1–2 liittymiskokoa isommaksi mahdollisen kasvun varalta. (H1.)

Suuremmissa liittymissä, kuten kerrostaloissa ja teollisuudessa, liittymisjohto mitoitetaan ja toteutetaan keskuksen nimellisvirran mukaan heti alkuvaiheessa, vaikka aluksi tarvittava liittymäkoko olisi pienempi. Tämä parantaa verkon jäykkyyttä, helpottaa kaapeleiden kunnon seurantaa ja mahdollistaa vikatilanteissa tilapäiset korjaukset muiden kaapeleiden avulla. (H1.)

Vanhan verkon saneerauksessa uusi kaapeli mitoitetaan vähintään vastaamaan vanhan johdon kapasiteettia. Alumiinikaapelit jatketaan vähintään vastaavan poikkipinnan omaavalla kaapelilla ja kuparikaapelit alumiinilla, joka on vähintään yhden kokoluokan suurempi. (H1.)

3.3 PJ-verkon sähköinen suojaus

3.3.1 Ylikuormitussuojaus

Sähköverkon kaapeleiden suojauksessa käytetään gG-sulakkeita. Yhden tai kahden rinnakkain syöttävän runkokaapelin ylikuormitus- ja oikosulkusuojana toimivat kaapelin syöttävät sulakkeet. Liittymiskaapeleiden ylikuormitussuojana toimivat asiakkaan pääsulakkeet ja oikosulkusuojana liittymiskaapelia syöttävät sulakkeet. (H1.)

Ylikuormitussuojausta ei pääasiassa edellytetä jakeluverkoissa, joissa käytetään maakaapeleita, paljaita johtimia tai itsestään sammuvia johtimia. AMKA-johdot varustetaan sen sijaan aina ylikuormitussuojalla. Käytettäessä maakaapelointia, tulee kaapelit pääasiassa asentaa palonkestäviksi, joten ylikuormitussuojaus ei

ole näissä tapauksissa välttämätöntä. Poikkeuksena ovat liittymiskaapelit, jotka lähes aina tarvitsevat ylikuormitussuojan. On kuitenkin suositeltavaa varustaa kaikki kaapelit ylikuormitussuojalla mahdollisten vaurioiden varalta. (Lakervi & Partanen 2009, 200.)

3.3.2 Oikosulkusuojaus

Pienjänniteverkossa poiskytkennän tulee tapahtua määritellyssä enimmäisajassa oikosulun ilmestyessä, ja sen on tapahduttava niin, että sulake ehtii palamaan ennen suuria vaurioita. Oikosulun poistaminen on suoritettava enintään viiden sekunnin sisällä. Verkkoyhtiön jakeluverkoissa voidaan kuitenkin hyväksyä pidempiä poiskytkentäaikoja, mutta 15 sekunnin raja ei saa missään olosuhteissa ylittyä. (Lakervi & Partanen 2009, 201–202.)

Verkkoyhtiössä oikosulkuvirta liittymän päävarokkeille mitoitetaan ns. 5 sekunnin säännön mukaisesti. Mitoitus on tehtävä niin, että oikosulkuvirta on kuitenkin vähintään 250 A. Uuden verkon mitoituksessa kaikki osat on suunniteltava uusien vaatimusten mukaan. Vanhan verkon osia voidaan käyttää vanhan verkon vaatimuksilla, mutta jos vanha verkon osa uusitaan myöhemmin, on sen täytettävä uuden verkon vaatimukset. Pienjänniteverkon mitoitus toteutetaan pääasiassa taulukon (Liite 1) arvojen mukaisesti. (H1.)

Jos liittymää syöttävä johto on suojattu jakeluverkon oikosulkusuojalla, jonka toiminta-aika on enintään 5 sekuntia yksivaiheisen oikosulun yhteydessä liittymisjohdon päässä, liittymän pääsulakkeet riittävät ylikuormitussuojaksi ja jakeluverkon ylivirtasulake oikosulkusuojaksi. Mikäli käytetään taulukossa 2 olevia mitoituksia, oikosulkusuojan toiminta-aika voi ylittää 5 sekuntia. Tällöin on kuitenkin noudatettava SFS6000 standardin edellyttämiä vaatimuksia:

- ” *Liittymiskaapelin poikkipinta on vähintään 10 mm² kuparia tai 16 mm² alumiinia ja ylikuormitussuojaus johdon lopussa tehdään esimerkiksi liittymän pääsulakkeilla*
- *Läpivienti on tehtävä vähintään lujuusluokan 4 asennusputkella ellei seinän rakenne ole paloturvallinen, esim. tiili tai betoni. Kaapeli on lisäksi suojattava mekaaniselta rasittumiselta*

- *Liittymiskaapelin asennus rakennuksen sisällä on tehtävä paloturvallisesti, eikä se saa koskettaa muita kaapeleita*
- *Ulkoseinällä ja rakennuksen sisällä liittymiskaapelin pituus rajoitetaan mahdollisimman lyhyeksi” (Lakervi & Partanen 2009, 204).*

3.3.3 Suojauksen selektiivisyys

Runkojohtojen oikosulkusuojan mitoituksessa määritetään runkokaapelin suurin sallittu oikosulkusuoja ja ylikuormitussuoja sekä muuntajalle suositeltu suurin lähtösulake. Saman lähdön eri runkojohto-osuuksien suojauksessa pyritään siihen, että sulakkeiden selektiivisyydessä sulakekokoero tulisi olla vähintään yhden sulakeportaan suuruinen. (H1.)

Liittymisjohtojen oikosulkusuojan määrittämisessä huomioon otettavia asioita ovat suurin sallittu oikosulkusuojan arvo johdolle, suurin oikosulkuvirran mukainen oikosulkusuoja sekä sulakekoko, joka on yhden portaan suurempi kuin liittymän pääsulakekoko. Yleisesti ottaen, kun liittymisjohdon koko on 25–35 mm², suositellaan asennettavaksi 63 A lähtösulakkeet, mikäli mitoitus sen sallii. Lisäksi on suositeltavaa, että runkojohtojen oikosulkusuojan ja liittymisjohdon oikosulkusuojan välinen vähimmäisero tulisi olla yhden sulakeportaan suuruinen. (H1.)

Liittymisjohdon alkupään sulake valitaan yleensä yhtä porrasta suuremmaksi kuin asiakkaan pääsulake, selektiivisyyden toteutuminen ei näin kuitenkaan ole aina varmaa. Sulakkeiden eri valmistajilla ja erilaisilla olosuhteilla on vaikutusta selektiivisyyteen. Mikäli alkupään sulake sijaitsee puistomuuntamon pääkeskuksessa tai jakokaapissa, joissa olosuhteet jäähdytyksen kannalta ovat paremmat kuin liittymän pääkeskuksessa, voi tämä parantaa suojauksen selektiivisyyttä, vaikka ero sulakekokojen välillä olisikin vain yksi porras. (Adatoextra 2025a.)

SFS 6000 -standardissa ei vaadita selektiivisyyttä sulakesuojaukselle, mutta se asettaa vaatimuksen, että liittymisjohdon suojaus täyttää 5 sekunnin oikosulkulaukaisuehdon. 5 sekunnin laukaisuehto on helpommin toteutettavissa, kun sulake-ero on vain yhden portaan verran alkupään ja liittymän pääsulakkeen välillä. (Adatoextra 2025a.)

Mikäli oikosulkuvirran suuruus mahdollistaa 5 sekunnin laukaisuehdon toteutumisen kaapelille, voidaan kokoeroa kasvattaa 2–3 portaalla liittymän pääsulakkeeseen verrattuna. Tämä voi olla suositeltavaa erityisesti silloin, kun selektiivisyydestä halutaan varmistua. (Adatoextra 2025a.)

3.4 KJ-verkon suunnittelu- ja mitoitusperiaatteet

3.4.1 Maakaapelin ja ilmajohtojen valinta ja sijoitus

Kaapelit valitaan tavoiteverkkotarkastelun ja tapauskohtaisten tarpeiden perusteella. Jos olemassa olevaa kaapeliverkkoa muutetaan tai korvataan, uuden kaapelin mitoitus tulee olla vähintään yhtä suuri kuin alkuperäisen. Kaapeleita valittaessa on tärkeää varmistaa kaapelien oikosulku- ja kaksoismaasulkukestoisuus kohteeseen nähden. Vikakestoisuus on otettava huomioon, jos syöttävän verkon reitti lyhenee tai sen toteutuksessa tapahtuu muita olennaisia muutoksia. (H2.)

Kaapeloinnin suunnittelussa on huomioitava, että se täyttää kaikki lujuusvaatimukset, joita ympäristötekijöiden aiheuttamat mekaaniset kuormitukset aiheuttavat. Kallioisia ja kivikkoisia asennusreittejä pyritään välttämään hyödyntämällä maaperätietoa. (H2.)

Asemakaava-alueella kaapelireitit pyritään toteuttamaan mahdollisimman suoraviivaisesti hyödyntäen katujen ja kevyenliikenteen väylien reuna-alueita sekä tarvittaessa yleisiä alueita. Kaapelit pyritään sijoittamaan yhteiselle reitille samalle puolelle katuja, yhdessä esimerkiksi PJ-johtojen, katuvalaistuksen ja mahdollisten telejohtojen kanssa. Kaapeleiden samansuuntaista sijoitusta vesijohtojen, viemäriinjojen tai maakaasulinjojen reiteille vältetään. (H2.)

Haja-asutusalueella kriittiset ja suuritehoisemmat runko- ja korvausyhteydet mitoitetaan tapauskohtaisesti. Kaapeli- tai ilmajohtoverkon sijoitus tehdään pääasiassa teiden varsille, peltojen reunoille tai rajalinjojen läheisyyteen. Peltojen ja muiden yksityisalueiden halkomista vältetään. Joskus lyhyt metsäreitti voi olla tarpeen, jotta saadaan aikaiseksi järkevä ja toimiva reittikokonaisuus. (H3.)

Ilmajohtoverkon rakentamisessa, uudessa KJ-verkossa käytetään kaikissa asennuksissa teräsalumiinjohtimia kuten PIGEON ja RAVEN, jotka ovat ilmajohtokaapelityyppejä, joita käytetään yleisesti sähköverkoissa. PJ-asennuksissa käytetään AMKA-ilmajohtoja. Ilmajohtojen sijoittamisissa on huomioitava maasto, ympäristö, asutus ja sääolosuhteet, kuten tykkylumen kertyminen ja ukkosen aiheuttamat vahingot. (H3.)

3.4.2 Muuntamoiden valinta ja sijoitus

Jakelumuuntamolla, jolla syötetään pienjänniteverkkoa, muutetaan korkeampi jännite – Suomessa tavallisesti 20 kV – matalammaksi 400 V:n jännitteeksi. Jakelumuuntamoita rakennetaan verkkoa sähköistettäessä niin investointi- kuin saaneerauskohteisiin. Muuntamotyyppi on keskeinen asia kustannuksien kehittämisessä. Taajamissa jakelumuuntamoiden edellytykset tehojen ja ympäristövaatimusten täyttämiseksi nostavat huomattavasti muuntamoiden hintoja verrattuna haja-asutusalueisiin. (Lakervi & Partanen 2009, 157–158.)

Jakeluverkon vikavirta- ja ylikuormitusuojaukset pienjänniteverkon osalta toteutetaan jakelumuuntamolla. Suomessa jokainen johtolähtö tulee varustaa sulakeilla. Uusien jakelumuuntamoiden rakentaminen liittyy usein tilanteisiin, joissa nykyisen pienjänniteverkon jännitteenalenema on liian suuri tai sulakekoko ei ole riittävä vikavirran katkaisemiseksi. Näissä tapauksissa vian automaattinen poiskytkentä ei täytä säädöksiä. Vaihtoehtona on vaihtaa pienjännitejohdot isomilla poikkipinnoilla varustettuihin kaapeleihin. (Lakervi & Partanen 2009, 157–158.)

”Jakelumuuntamo koostuu keskijännitekiskostosta, yhdestä tai useammasta jakelumuuntajasta, pienjännitelähdöistä sekä mahdollisesta apujännitejärjestelmästä”. (Lakervi & Partanen 2009, 157) Maaseudulla käytettävissä pylväsmuuntamoissa keskijännitejohto kytkeytyy yleensä muuntajan ensiöliittimiin erottimen kautta, jolloin tässä tapauksessa ei keskijännitekiskostosta voi puhua. Ilmajohtoverkossa ylijännitesuoja (kipinäsuojaväli) on varsin yleinen. Toinen vaihtoehto on metallioksidisuoja. Nämä ovat tehokkaampia, koska ne vähentävät keskeytysten ja jännitekuoppien riskiä, mutta ovat hinnaltaan arvokkaampia. Pylväsmuuntamot ovat pääasiassa pienempiä muuntamoita. Niiden teho on suurimmillaan 315 kVA.

Pylväsmuuntamot ovat tavallisesti 50 ja 100 kVA:n kokoisilla muuntajilla varustettuja. (Lakervi & Partanen 2009, 157–158.)

Taajamaverkoissa jakelumuuntamot ovat usein osa KJ-rengasverkkoa, joissa lähdöt varustetaan katkaisijoilla tai tehoerottimilla. Tyypillisiä muuntamotyypppejä ovat puisto- ja kiinteistömuuntamot. Keskijänniteverkossa käytetään myös SF₆-eristeisiä kojeistoja. Taajamaverkoissa käytettävien muuntajien nimellistehot ovat usein noin 1000 kVA. (Lakervi & Partanen 2009, 157–158.)

Maakaapeliverkoissa voidaan käyttää pienempiä satelliittimuuntamoita säteittäisten johtojen yhteydessä. Ne ovat yksinkertaisempia rakenteeltaan ja sisältävät tyypillisesti noin 300 kVA:n muuntajan. Keskijännitelinjat yhdistetään helposti ns. elbow -liittimillä. Kytkinlaitteet sijaitsevat isommalla, lähtöä syöttävällä muuntamolla. Tällaisia pienikokoisia muuntamoja käytetään alueilla, joilla taajama-alueen kuormitus lisääntyy, samanlaisia ratkaisuja on alettu käyttää myös maaseudun maakaapelialueilla. (Lakervi & Partanen 2009, 157–158.)

Tiiviisti rakennetuilla alueilla, kuten kaupunkien keskustoissa, tilaongelmat vaikuttavat merkittävästi sähkönjakeluverkon suunnittelua. Jännitteeltään 20/0,4 kV tai 10/0,4 kV jakelumuuntamoiden sijoittaminen voi olla haasteellista. Tällöin ainoana vaihtoehtoina voivat olla esimerkiksi kerrostalojen kellarit tai rakentamattomana olevat alueet. Viimeksi mainituissa tapauksissa käytettävissä olevat ratkaisut ovat ympäristöön soveltuvat puistomuuntamot. Taajamien keskustoissa riippukierrehdoille ei ole tilaa, eikä niitä usein hyväksytä ulkonäkösyistä. Ainoaksi järkeväksi vaihtoehdoksi jää siten maakaapelointi. (Lakervi & Partanen 2009, 160.)

3.4.3 Ylijännitesuojaus

Ylijännitesuojia käytetään keskijänniteverkossa komponenttien, kuten jakelumuuntamoiden ja verkon johto-osuuksien suojauksessa ja jännitepiikkejä (kuten salamaniskuja) vastaan. Suojina käytetään pääasiassa erilaisia kipinävälejä tai metallioksidisuojia (MO-suojia). Perinteisesti PAS-johtoja (päällystetty avojohdin) ja pienempiä muuntajia on suojattu kipinäväleillä, kun taas suuremmille muuntajille ja kaapeleille on valittu MO-suojia. Uutena vaihtoehtona markkinoille on tullut

yhdistelmäsuoja, jossa kipinäväli ja MO-suoja ovat samassa komponentissa. (Lakervi & Partanen 2009, 149.)

Ylijännitesuojauksen pääasiallisena tarkoituksena on suojata laitteita estämällä korkeiden jännitepiikkien pääsy niihin. Tavoitteena on leikata jännitteen korkein kärki niin, että jännitetaso ei ylitä laitteiden kestävyyskykyä. Tämä mahdollistetaan suojeleminen oikeanlaisella mitoittamisella ja sijoittamisella. Oikein valitut ja asennetut suojat parantavat sähkönjakelun laatua, sillä esimerkiksi pelkän kipinävälin sijaan metallioksidit- tai yhdistelmäsuojat voivat estää pikajälleenkytkentöjä ja vähentää lyhyiden häiriöiden määrää. Lisäksi suojat estävät vian valokaaren leviämisen vaiheiden välillä, mikä puolestaan vähentää oikosulkujen ja jännitekuoppien esiintyvyyttä. Tehokkaasti toimivalla ylijännitesuojauksella voidaan myös vähentää laitevaurioiden riskiä. (Lakervi & Partanen 2009, 149.)

20/0,4 kV:n jakelumuuntajia, joiden nimellisteho on 200 kVA tai enemmän, suojataan yleensä MO-suojilla. Pienemmille muuntajille käytetään usein kipinävälejä niiden edullisen hinnan myötä, mutta niiden haittapuolena on jälleenkytkentä, joka aiheutuu suojeleminen toiminnasta. Pienempien muuntajien suojeleminen kuitenkin voidaan käyttää myös yhdistelmäsuojaa, jolla voidaan välttyä jälleenkytkennältä. (Lakervi & Partanen 2009, 149.)

Verkkoyhtiön keskijänniteverkossa ylijännitesuojausta käytetään vain ilmajohtoratkaisuissa, jakelumuuntamoissa ja maakaapelin pylväspäätteissä. Ylijännitesuojaus toteutetaan maakaapeli- ja ilmajohtoverkon rajakohdissa maakaapelin pylväspäätteellä ja reunaehtoperiaatteiden mukaisesti ilmajohtoverkon suunnasta tarkasteltuna ensimmäisille maakaapeliverkon komponenteille. Ylijännitesuojat maadoitetaan muuntajan/kaapelipäätteen maadoitusten kanssa. Ylijännitesuojia ei asenneta maakaapeliverkkoon. (H3.)

3.4.4 Maasulkusuojaus

Sähköturvallisuusmääräysten mukaan maasulku tarkoittaa eristysvikaa, joka tapahtuu käyttömaadoittamattoman virtajohtimen ja maan tai maadoitetun osan välillä. Käyttömaadoitetussa sähköverkossa maasulku muistuttaa luonteeltaan yksivaiheista oikosulkua. Mikäli verkon impedanssit tunnetaan, voidaan vikavirran

suuruus laskea. Mikäli samanaikaisesti verkon kahdessa eri vaiheessa ja eri kohdissa esiintyy eristysvika, on kyseessä kaksoismaasulku. (Korpinen 2025, vikatilanteet.)

3.4.5 Maasulkuvirran kompensointi

Sähköverkon tuottama kapasitiivinen maasulkuvirta voidaan kompensoida induktiivisella virralla, joka voidaan tuottaa kuristimella, kuten esimerkiksi Petersenin kelalla, joka kytketään verkon tähtipisteeseen. Kuristin mitoitetaan niin, että sen tuottama induktiivinen virta jää pienemmäksi kuin verkon kapasitiivinen virta, jolloin verkko on alikompensoitu. (Headpower 2025b.)

Kompensoinnin aste määräytyy siitä, miten paljon kapasitiivisesta virrasta kompensoidaan induktiivisella virralla. Tavoitteena on, että maasulkuvirta jäisi mahdollisimman pieneksi. Tyypillisesti pyritään kompensoimaan 80–90 % kapasitiivisesta virrasta.

Kompensointiaste voidaan laskea seuraavalla kaavalla. (Headpower 2025b.)

$$K = \frac{I_L}{I_C} \quad (5)$$

missä

I_L on kuristimen virta suorassa maasulussa

I_C on sähköverkon kapasitiivinen maasulkuvirta suorassa maasulussa

Kompensointi voidaan toteuttaa sijoittamalla kompensointikela keskitetysti sähköasemalle tai hajautetusti verkon eri johtolähdöille. Usein valitaan yhdistelmä näistä kahdesta lähestymistavasta. Esimerkiksi alueilla, joilla kaapeliverkosto on laaja, pelkkä keskitetty kela ei välttämättä riitä tuottamaan tarpeeksi suurta induktiivista virtaa. Tiheämmillä kaupunkialueilla, joissa sähköasemien verkko on tiheä ja kaapelilähdöt pienempiä, voi pelkkä keskitetty kela olla riittävä. (Headpower 2025b.)

Verkkoyhtiön verkkoalueet on toteutettu maasta erotetuilla verkkototeutuksilla, jossa maasulkuvirran kompensointia ei toteuteta. Maasta erotetussa verkossa

maasulku kulkeutuu verkkoon ehjien vaiheiden maakapasitanssien kautta. Maasulkuvirrat ovat pääasiassa pieniä, koska vain johtimien kapasitanssien kautta kulkee nollavirta, näin ollen kompensoinnille ei ole tarvetta. Maasta erotetussa verkossa muuntajan tähtipisteeseen ei ole yhteyttä. (H1.)

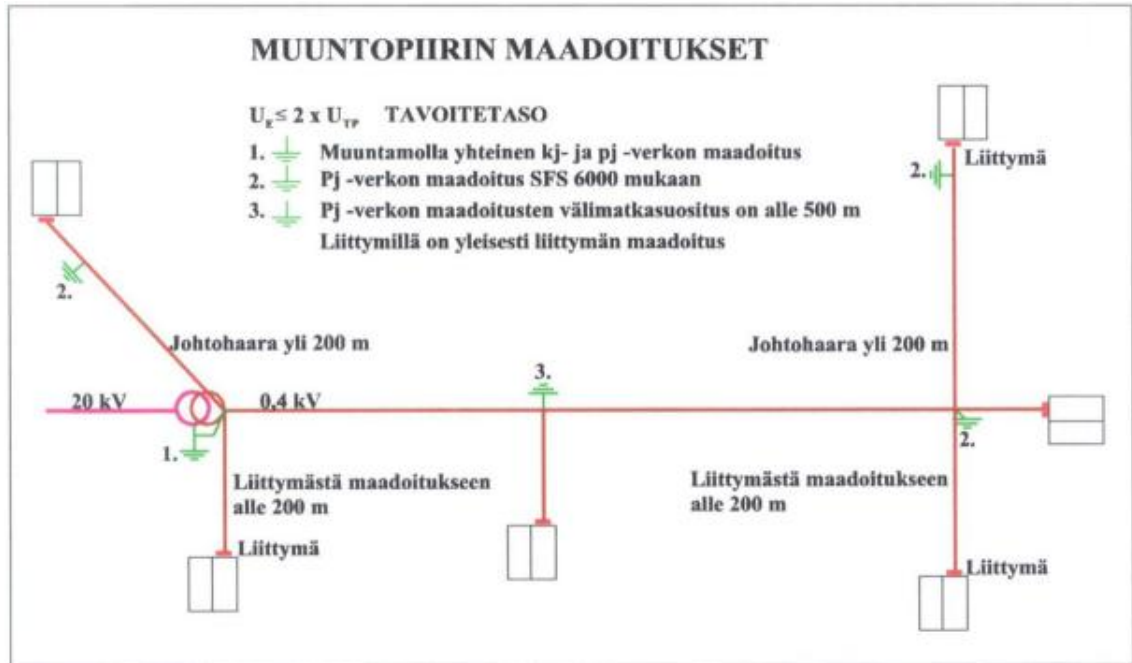
3.5 Maadoitukset

Pienjänniteverkon suojauksessa olennaisia asioita ovat verkkokomponenttien suojaus sekä tehokas hengen- ja palovaarojen ehkäisy. Jotta riittävä suojaus saavutetaan, tulee varokesuojauksen ja maadoitusten olla vaatimusten mukaiset. Maadoitusten päätehtävänä on toimia potentiaalintasaajina vaarallisille kosketusjännitteille. Esimerkiksi keskijänniteverkon maasulku, joka syntyy muuntamon kipinävälissä, voi levittää maadoitusjännitteen koko pienjänniteverkon PEN-johtimiin. Mikäli pienjänniteverkon maadoituksia ei ole tehty asianmukaisesti, voi maadoitettujen komponenttien ja maan välille syntyä vaarallisia kosketusjännitteitä. Oikein toteutetut maadoitukset varmistavat sen, että myös maan potentiaali nousee tavoiteltuun maadoitusjännitteen arvoon. Näin vaarallisten kosketusjännitteiden esiintymiseltä vältytään. (Lakervi & Partanen 2009, 198–199.)

Pienjännitejakeluverkot rakennetaan pääasiassa TN-C-järjestelmänä, jossa nolla- ja suojajohtimet ovat samassa johtimessa eli PEN-johtimessa. Tällöin maadoitus asiakkaan sähköliittymään tulee tehdä SFS6000 standardin mukaisesti. Jakeluverkossa PEN-johdin tulee maadoittaa syöttöpisteessä, kuten muuntajalla tai generaattorilla, tai korkeintaan 200 metrin etäisyydellä siitä. Mikäli verkon pituus ylittää 200 metriä, tulee kaikki yli 200 metriä pitkät johdot tai johtohaarat maadoittaa joko niiden loppupäässä tai enintään 200 metrin etäisyydellä siitä. AMKA-johdoille maadoittamista suositellaan tehtäväksi 500 metrin välein ylijännitesuojauksen toiminnan varmistamiseksi. (Lakervi & Partanen 2009, 199.)

SFS 6001 -standardin mukaan maadoitukset tulee yhdistää suurjännite- ja pienjänniteverkon osalta aina kun mahdollista. Tällöin muuntamon maadoituselektrodi toteutetaan yhteisenä keskijännitteelle altistuvien komponenttien suojamaadoitukselle sekä pienjänniteverkon maadoituksille. (Adatoextra 2025c.)

SFS 6000 -standardin mukaan uusille liittymille on rakennettava maadoitus ja rakennuksiin on asennettava maadoituselektrodit. Jos maadoitus täyttää pienjänniteverkon vaatimukset, voidaan se määrittellä pienjännitejakeluverkon johtohaaran maadoitukseksi. Mikäli verkonhaltijalla ei ole edellytyksiä valvoa liittymien maadoituksia, on suositeltavaa, että jakeluverkon maadoitukset rakennetaan erillisinä järjestelminään kuvion 4 mukaisesti. (Adatoextra 2025c.)



Kuvio 4. Muuntopiirin maadoitukset $U_E \leq 2 \times U_{Tp}$ (Adatoextra 2025c)

Laajassa maadoitusjärjestelmässä maadoitus rakennetaan yhtenäiseksi. Maadoitukseen liitetään kaikki lähekkäin olevat paikalliset järjestelmät, millä estetään vaarallisten kosketusjännitteiden esiintyminen. SFS6001 standardissa määritellään että ”Laajan maadoitusjärjestelmän määritelmä perustuu siihen, että alueella ei ole lainkaan tai on vain vähäisiä potentiaali eroja” (Adatoextra 2025c.)

”Laajan maadoitusjärjestelmän yhdistysjohtimina toimivat:

- suurjännitekaapeleiden vaipat ja keskusköydet
- pienjänniteverkon PEN – johtimet sekä maakaapeleissa että ilmajohdoissa
- mahdolliset erilliset, muuntamoita yhdistävät maadoitusjohtimet ja elektrodit
- tarvittaessa voidaan muuntamoiden maadoituksia yhdistää myös keskijänniteilmajohdon pylväisiin rakennetuilla maadoitusjohtimilla” (Adatoextra 2025c.)

Laajassa maadoitusjärjestelmässä maadoitus voidaan muodostaa muuntopiireistä, joissa $U_E \leq 2 \times U_{Tp}$ -ehto täyttyy muuntopiirien kokonaisuimpedanssin osalta. $U_E \leq 2 \times U_{Tp}$ -ehto tarkoittaa, että todellinen kosketusjännite (U_E) ei saa ylittää kaksinkertaista sallittua kosketusjännitteen rajaa (U_{Tp}). Tulkinta ehtojen täyttymisestä jää verkonhaltijalle. Maadoitukset tulee tehdä asennusstandardien edellyttämällä tavalla kaikille uusille muuntamoille ja verkon osille, joita uuteen muuntopiiriin kuuluu. Tämä on myös edellytys laajassa maadoitusjärjestelmässä. (Adatoextra 2025c.)

Yhtiön verkkoalueilla käytetään yleisesti niin laajaa maadoitusjärjestelmää kuin muuntopiirikohtaista maadoitustakin. Laajaa maadoitusjärjestelmää käytetään Rovaniemen kaupungin keskustan taajama-alueella. Muuntopiirikohtaista maadoitusta käytetään Enontekiön kunnan alueella sekä Rovaniemen haja-asutusalueilla. Yleisesti tavoiteltu maadoituksen tavoitetaso on $U_E \leq 2 \times U_{Tp}$. (kuvio 4). (H1.)

Laajassa maadoitusjärjestelmässä rakenteen tulee olla verkkomainen ja kaikista maadoitukseen liittyvistä osista, kuten muuntopiireistä ja erotinasemista, on oltava vähintään kaksi maadoitusjohdinyhteyttä muihin samaan laajaan maadoitusjärjestelmään kuuluvien muuntopiirien tai erotinasemien kanssa. Muuntopiirien ja erotinasemien väliset yhdysjohdot on oltava sähköisesti riittävän vahvat. Yhdysmaadoitusjohtimina voivat toimia esimerkiksi PJ-johtojen PEN-johtimet ja KJ-johtojen kosketussuojat. Maadoituselektrodeja on oltava määrällisesti ja tiheydeltään riittävästi, jotta varmistetaan näennäinen tasapotentiaali alueella. (H1.)

Muuntopiirikohtainen maadoitusjärjestelmä koostuu yhdestä muuntopiiristä ja maadoituselektrodeista, jotka suunnitellaan ja asennetaan standardien mukaisesti. Maakaapeliverkot rakennetaan pääsääntöisesti samoilla periaatteilla kuin laajassa maadoitusjärjestelmässä, mutta muuntopiirien maadoituksia ei yhdistetä toisiinsa. (H1.)

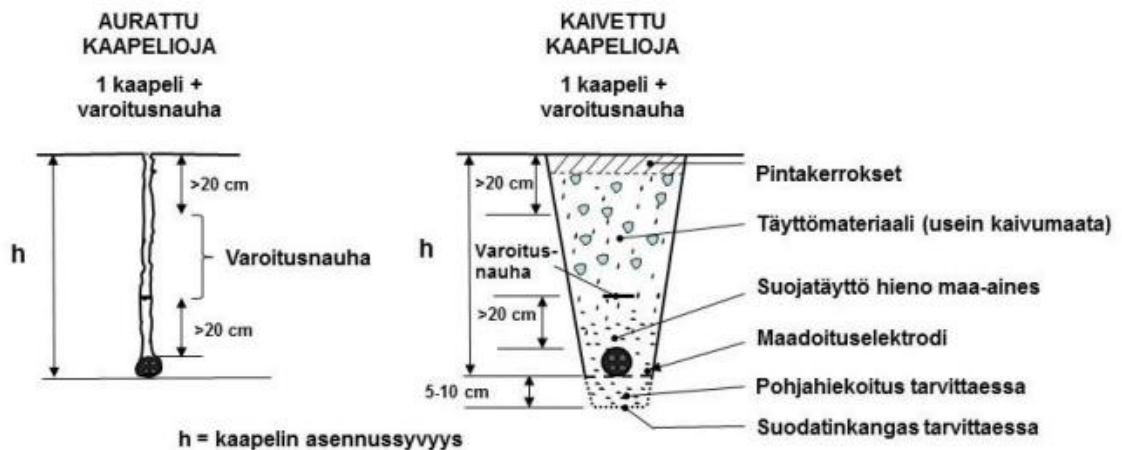
4 RAKENNUTTAMISEN PERIAATTEET

4.1 Jakeluverkon rakentamistapa

Jakeluverkon rakennustapana käytetään maakaapeli- tai ilmajohtoverkkoa niin pienjännite- kuin keskijänniteverkossakin. Rakennustapa vaihtelee verkkoalueen mukaan. Verkon rakentamisessa noudatetaan standardien ja viranomaisten määräyksiä. (H2.)

Maakaapelin rakentamista suunniteltaessa tulee ottaa huomioon standardit, tilaajan ohjeet, lupien ja sopimukseen liittyvät vaatimukset sekä lupien myöntäjien vaatimukset. Lisäksi huomioitavia asioita ovat asennuspaikka, asennusajankohta sekä tulevaisuuteen varautuminen. (Adatoextra 2025c.)

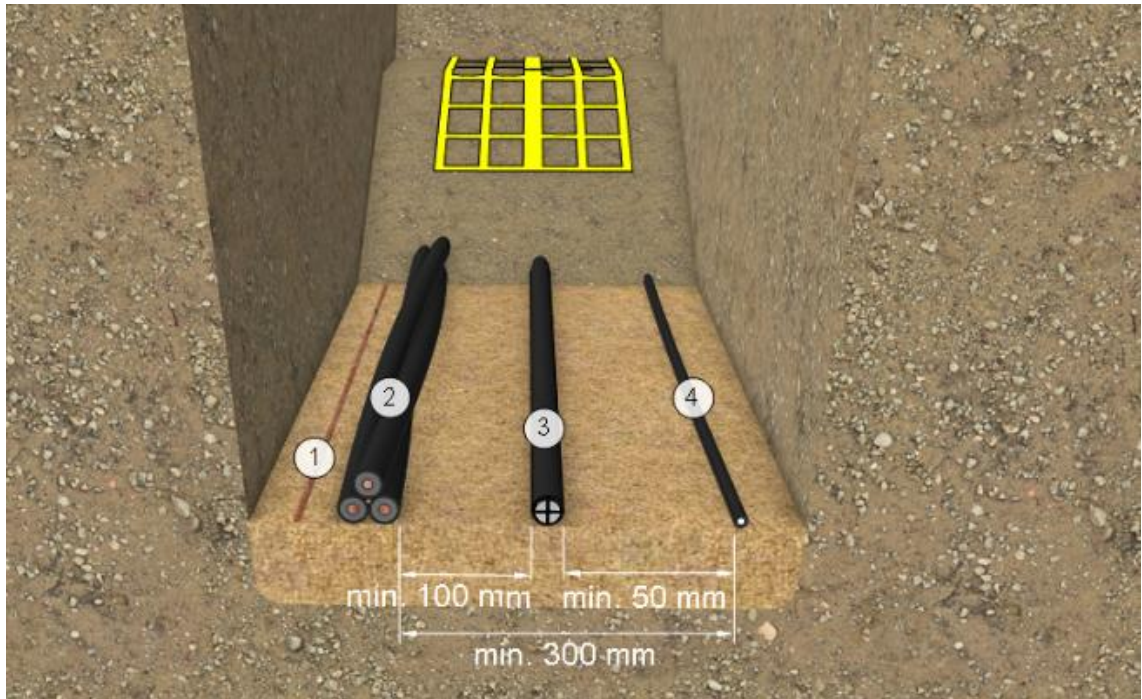
Maakaapeliverkon rakentamisessa tasoa, johon kaapeli välittömästi on laskettu, pidetään asennussyvyyden perusmittamäärittäjänä. Maakaapeloinnissa noudatetaan ensisijaisesti standardin mukaista asennussyvyttä ($h=0.7\text{m}$), mikäli tilaaja tai lupaehdot eivät edellytä suurempaa syvyyttä. Periaatekuva maakaapelikaivannosta ja kaapelin asennussyvyydestä on kuviossa 5. (Adatoextra 2025c.)



Kuvio 5. Periaatekuva maakaapelikaivannosta (Adatoextra 2025c)

Kaivutöiden suorittajalla on velvollisuus selvittää kohteen mahdolliset rakenteet maan alla ja tutustua verkonhaltijan sekä katu- ja tiealueiden haltijan kaivuohjeis-

tuksiin ennen kaivutyön aloittamista. Maakaapeloinnissa kaikki komponentit, kuten kaapelit ja putkitukset, tulee voida asentaa suunnitelmien sekä kaapelien etäisyysvaatimusten mukaan (kuvio 6). Mikäli maanalaisen esteen takia kaapelin asennus estyy, voidaan kaapelikaivantoa siirtää, mikäli kaivanto edelleen mahtuu aiemmin sovitulle alueelle. Mahdollinen siirto tulee varmistaa tilaajalta. (Headpower 2025a.)



Kuvio 6. Kaapeli etäisyydet PJ-KJ-Tele (Headpower 2025a)

Kaapelien etäisyydet toisistaan ilmenevät kuviosta 6, jossa 1. on Maadoituskuori, 2. Keskijännitekaapeli, 3. pienjännitekaapeli ja 4. Valokuitu. Riippumatta siitä, onko kaapelit asennettu rinnakkain vai risteilevätkö kaapelit, ovat etäisyysvaatimukset samat. Jännitetaso ollessa sama esim. PJ-PJ, jätetään kaapelien väliin isomman halkaisijan verran vapaata tilaa. Mikäli käytössä oleva Tele-kaapeli on metalliton, ei tämän kohdalla ole etäisyysvaatimusta. (Headpower 2025a.)

4.1.1 Keskijänniteverkko

Suomessa keskijänniteverkko toimii pääasiassa 20 kV:n jännitetasolla, vaikka joissakin kaupungeissa käytetään myös 10 kV:n verkkoa. Tämä verkko voi olla

maasta erotettu tai sitten sammutettu sammutuskuristimien kautta. Sähköasemalta lähtevää keskijännitejohtoa suojaa katkaisija, johon on liitetty maasulku-rele, ylivirtarele ja jälleenkytkentärele. Avojohtoverkoissa ylivirtarelettä käytetään oikosulkusuojana. Ylivirtasuojausta ei ole käytössä kuormitusvirran suhteen. Vaikka keskijänniteverkko rakennetaan pääosin silmukoiduksi, on sen käyttö silti säteittäistä. (Lakervi & Partanen 2009, 125–126.)

Keskijänniteverkon vaikutus käyttövarmuuteen on hyvin olennaista. Jakeluverkossa tapahuvista keskeytyksistä yli 90% on aiheutunut keskijänniteverkon vioista. Vakavissa sähköasemavioissa tai 110kV:n johtojen vioissa keskijänniteverkolla on keskeinen rooli varayhteyksien vaihtoehtoisessa järjestämisessä. (Lakervi & Partanen 2009, 125–126.)

Haja-asutusalueella keskijänniteverkot on rakennettu yleisesti avojohtoina, eikä niiden toteutuksessa ole juuri mahdollisuutta tai tarvetta periaatteellisille topologiaratkaisuille, kuten varayhteystarkastelulle. Verkko rakennetaan kuormitusten sijainnin mukaan, jossa jännitteenalenemat ja kuormitusaste tarkastellaan johtolähtö kohtaisesti. (Lakervi & Partanen 2009, 125–126.)

Taajama-alueiden maakaapeliverkkojen suunnittelu ja verkkotopologia ovat tärkeitä tekijöitä sähköjakelussa. Kaapeliverkon muoto, kuormitusasteet sekä lähtöjen ja sähköasemien korvausratkaisut ovat keskeisiä kysymyksiä. Suurissa kaupungeissa kuormitus jakautuu laajalle alueelle, mikä avaa mahdollisuuksia erilaisiin sähköjakeluratkaisuihin. Tosin olemassa oleva verkosto asettaa aina myös rajoitteita uuden verkon suunnittelulle. (Lakervi & Partanen 2009, 125–126.)

Lähtöjen korvattavuus on yksi verkkotopologian keskeisimpiä kysymyksiä. Lähtöjen syötöt ja varasyötöt toteutetaan usein saman sähköaseman kautta, jotta lähdöt voidaan kytkeä väliaikaisesti renkaaseen esim. ilman keskeytystä tapahtuvan jakorajamuutoksen ajaksi. Jos varasyöttö tulee kuitenkin toiselta sähköasemalta, voi rengasyhteyden avaaminen asemien välillä aiheuttaa vaaratilanteen mahdollisen induktiivisen tasoitusvirran takia. Sähköasemien väliset etäisyydet ovat yleisesti pieniä, joten myös maakaapelin impedanssi asemien välissä on pieni, jolloin induktiivisen tasoitusvirran suuruus voi olla huomattava. (Lakervi & Partanen 2009, 125–126.)

Verkkoyhtiön asemakaava-alueilla kaapelit asennetaan pääasiassa katujen ja puistojen reunoille, ottaen huomioon alueiden kehitysnäkymät ja asemakaavoitus. Asemakaava-alueella keskijänniteverkon ensisijainen topologia on rengasverkko ja rakentamistapa pääasiassa maakaapelointi. Asemakaava-alueen reuna-alueilla on myös topologialtaan säteittäistä vanhaa ilmajohtoverkkoa, joka tapauskohtaisesti saneerataan maakaapeli- tai ilmajohtoratkaisuna. Keskijänniteverkon rakentamisen yhteydessä otetaan huomioon myös pienjänniteverkon tulevat tarpeet. (H2.)

Haja-asutusalueella verkko rakennetaan teiden varsille tai peltojen ja tonttien reunoille. Suunnittelussa otetaan huomioon alueen kaavoitus ja kehitys. Verkko on pääosin säteittäinen. Tärkeitä kohteita syöttävät muuntamot pyritään liittämään rengasverkkoon. Rakennustapana on maakaapeli- ja ilmajohtoratkaisut. Reittivalinta optimoidaan maaperän ja muiden rakenteiden mukaan. Huomioon otetaan ympäristöarvot ja maisemalliset arvot sekä mahdolliset historialliset kohteet. Kallioiseen maaperään rakentamista pyritään välttämään, mutta jos ei ole vaihtoehtoja, rakennetaan verkko noudattaen suositeltuja suojausmenetelmiä. (H3.)

4.1.2 Pienjänniteverkko

Pienjännitekaapeleiden rakentaminen suunnitellaan siten, että ne asennetaan mahdollisimman lyhyille reiteille nykyisten ja tulevien kuormitusten mukaan. Tällä minimoidaan kaapeleiden pituus ja maksimoidaan oikosulkuvirta. Pienjänniteverkon rakentamisessa on tärkeää ottaa huomioon verkon tulevaisuuden tarpeet. Esimerkiksi pitkien kaapelireittien kohdalla on tarkasteltava myös keskijänniteverkon tilannetta. Maakaapeliverkossa haaroitus toteutetaan jakokaapissa. Liittymisjohdot, jotka kytketään jakokaappiin, liitetään aina varokeytkimille ja sopivan kokoisten sulakkeiden taakse varmistaen, että suojaus on riittävä. (H2, H3.)

Jakokaappien tulee olla riittävän suuria sekä suunnitteluhetken kuormille että mahdollisille tulevaisuudessa lisättäville kuormille, jotta kaappeja ei tarpeettomasti tarvitse vaihtaa elinkaarensa aikana. Jakokaappien tulee vastata todellista tarvetta kokonsa ja tiheydensä puolesta, jotta vältetään liian suurten tai pienten kaappien käyttö. Kaappien sijoituspaikat suunnitellaan huolellisesti niin, ettei jakokaappien tiheyttä kasvateta tarpeettomasti. (H2, H3.)

Asemakaava-alueella verkko rakennetaan pääasiassa säteittäiseksi ja rakennustapana on maakaapeli. Pienjänniteverkko rakennetaan katujen ja puistojen reunoille. Rengasyhteyksiä ei pääsääntöisesti toteuteta muuten kuin erikoistapauksissa, joissa on kyseessä esim. jokin kriittinen kohde. (H2, H3.)

Haja-asutusalueilla pienjänniteverkon topologia on pääasiassa säteittäinen ja rakennustapana on maakaapeli- tai ilmajohtoverkko. Verkko rakennetaan yleensä teiden varsille tai peltojen ja tonttien reunoille. Reittivalinta tehdään maastosuunnitteluvaiheessa, jolloin huomioidaan myös muut maanalaiset verkot ja rakenteet sekä ympäristöarvot ja maisemalliset arvot. Kallioiseen maaperään kaapeleiden asentamista pyritään välttämään, mutta jos se on välttämätöntä, asennuksessa on käytettävä asianmukaisia suojausmenetelmiä. Teiden alituksia tehdään tarvittaessa. (H2, H3.)

4.2 Muuntamot

Verkkoyhtiöllä on käytössä erilaisia muuntamoita, kuten puisto- ja pylväsmuuntamoita. Näiden lisäksi käytössä on myös kiinteistömuuntamoita. Muuntamoiden rakenne valikoituu totuttujen käytänteiden ja ympäristön asettamien edellytysten mukaan. (H2, H3.)

4.2.1 Puistomuuntamot

Puistomuuntamoiden rakentamisessa etäisyysvaatimuksia asettavat hoitokäytävät, työskentelyalueet sekä paloturvallisuus. Työskentely-alueet ja huoltokäytävät puistomuuntamoiden rakentamisessa tulee mitoittaa riittäväksi kojeiston käytölle, työn suoritukselle sekä laitteiden kuljetukselle. Huoltokäytävän leveys tulee olla vähimmillään 0,8 metriä. Silloin kun avonaiset ovet kaventavat huoltokäytävää, tulee leveyden oven kohdalla olla aina vähintään 0,5 metriä. Paloturvallisuudessa perussääntönä on, että etäisyys on vähintään 8,0 metriä syttyviin rakenteisiin tai 3,0 metriä paloa kestäviin rakenteisiin. Näin silloin, kun muuntamo sisältää enintään 2000 litraa nestettä. (Headpower 2025d.)

Puistomuuntamon kaivannon malli ja sen koko määräytyvät muuntamon koon mukaan. Kaivanto tehdään noin 0,5 metriä joka sivulta muuntamo isommaksi

(kuvio 7). Pintamaa tulee poistaa kaivannon joka sivulta, 0,5 metriä laajemmalta alueelta. (Headpower 2025d.)



Kuvio 7. Puistomuuntamon perustus (Headpower 2025d)

Puistomuuntamoiden asentaminen tapahtuu seuraavien vaiheiden mukaisesti:

1. Puistomuuntamon maadoituksessa kaivannon kulmiin asennetaan 4 kappaletta maadoitussauvoja, jotka yhdistetään maadoituselektrodirenkääseen. Maadoituselektrodirenkaan molemmat päät tulee nostaa päämaadoituskiskon kohdalta ylös. Mikäli maadoituksen johtimilla on vaarana yhdistyä toisiinsa, tulee johtimet tältä osin suojata suojaputkituksella.
2. Kaivantoon tulee asentaa suodatinkangas. Suodatinkangas asennetaan reunoja myötäillen ja lopuksi kääntäen yläreunasta 0,5 metriä kaivannosta poispäin. Suodatinkankaan saumojen limitys tulee olla minimissään 0,5 metriä.
3. Kaivannon perustäyttö tehdään # 0–32 mm murskeella, joka täytetään kerroksittain. Mahdolliset kotelot tai suojaputket asennetaan täytön yhteydessä.

4. Potentiaaliohjusrenkas asennetaan maanpinnasta noin 300mm syvyyteen. Molemmat potentiaaliohjusrenkaanpäistä, nostetaan päämaadoitus-kiskon kohdalta ylös. Maadoitusjohtimet, jotka jäävät maan alle, tulee pitää erillään toisistaan.
5. Kaivannon lopputäyttö tehdään # 0–32 mm murskeella. Muuntamon vaakuoruus tulee tarkastaa perustuksen osalta esim. vaaituskoneella tai vatu-passilla. Lopputäytössä tulee huomioida maanpinnan etäisyys muuntamon oven/ovien alareunaan. Etäisyys tulisi olla noin 300mm.
6. Muuntamokopin asentaminen tapahtuu nostamalla koppi perustusten päälle. Nostaminen toteutetaan valmistajan ohjeistusten mukaisesti.
7. Muuntamon perustusten pintamaan kaltevuus 1,5m etäisyydellä muuntamosta tulee olla 1:10-1:20. (Headpower 2025d.)

4.2.2 Pylväsmuuntamot

Pylväsmuuntamoiden rakentamisessa muuntajakoneet sijoitetaan nimellistehon mukaan 1-2 -pylväsratkaisuihin. Muuntamot 1-pylväs -ratkaisuina toteutetaan 50 kVA saakka, ja 2-pylväs -ratkaisuina 315 kVA saakka. (Headpower 2025c.)

Pylväsmuuntamoissa pylväsrakenteiden tarkoituksena on toimia asennusalustana komponenteille sekä varmistaa ilmajohtojen johtimien riittävä etäisyyden säilyminen maasta sekä muista rakenteista. Rakenteita mitoittaessa tulisi huomioida johtimien, komponenttien sekä rakenteiden oman painon aiheuttamat rasitukset, sääolosuhteiden takia kerääntyvät jää- ja lumikuormat, verkon kuormatilojen aiheuttamat rasitukset sekä pylväsrakenteiden lahoamisen ja korroosion aiheuttama mekaaninen heikentyminen. (Headpower 2025e.)

Pylväiden perustamisessa perussääntönä kaivussyvyudessa on $1,4m + L/20$. Taulukossa 3 on esitettyinä pylväiden kaivussyvyudet suhteessa pylväiden pituuteen. Todellisuudessa ei kuitenkaan ole järkevää kaivaa erikseen jokaiselle pylväspituudelle taulukon edellyttämää kuoppaa. Tämän sijasta "Standardisyvyyksiksi suositellaan 8m - 12m pylväille 2,0m ja 13m - 17m pylväille 2,5m." (Headpower 2025e.)

Taulukko 3. Pylväiden kaivussyvyudet (Headpower 2025e)

PYLVÄSPITUUS L	KAIVUSYVYYS
7-8 m	1,8 m
9-10 m	1,9 m
11-12 m	2,0 m
13-14 m	2,1 m
15-16 m	2,3 m
-> 18 m	2,6 m

Pylväsrakennetta perustettaessa pehmeään maaperään, tulee kaivussyvyyttä kasvattaa vähintään 1 metri perussäännön mukaiseen syvyyteen verrattuna. Mikäli edellytettyä kaivussyvyyttä ei saavuteta, tulee pylväälle aina asentaa kallioraudat. Asennussyvyys saattaa jäädä matalammaksi kuin oli suunniteltu, esim. jos vastaan tulee kallio kaivuiden yhteydessä. Tässä tilanteessa pylvään latvapäästä tulee lyhentää vastaava mitta mikä upotussyvyydestä jäi puuttumaan. (Headpower 2025e.)

4.3 Maadoitusjärjestelmät

Maadoitusjärjestelmien rakenne muodostuu pääasiassa maahan kaivetuista tai lyödyistä pysty-, vaaka- tai vinoelektrodeista. Maaperän resistiivisyyden pienentämistä kemikaaleilla ei suositella. (SFS 6001:2018, 12.)

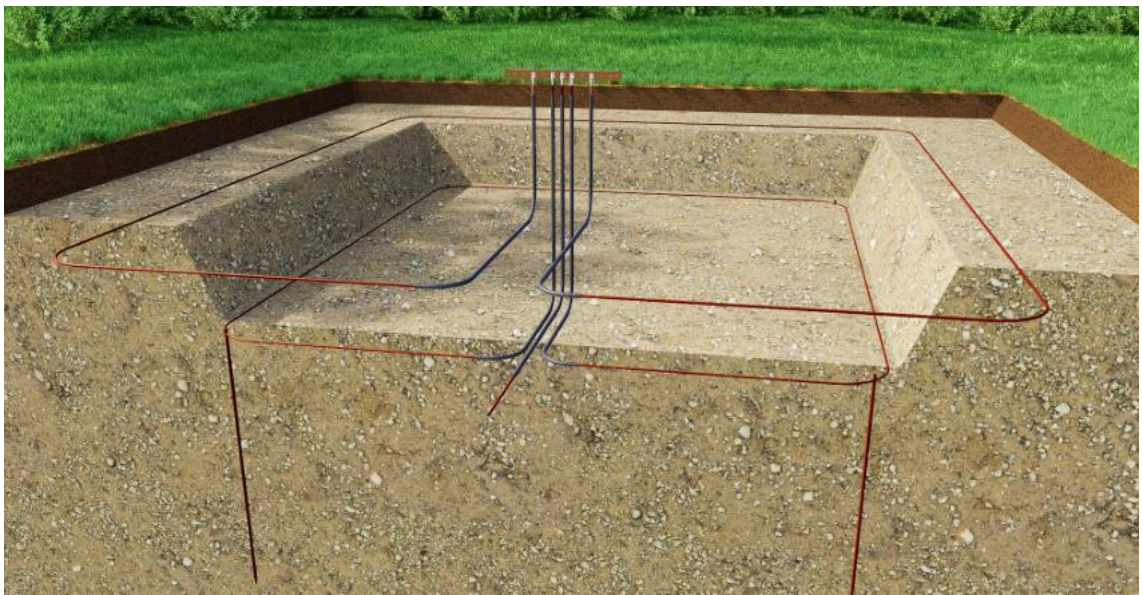
Riittävän mekaanisen suojauksen takia vaakamaadoituselektrodi tulisi sijoittaa 0,5–1 metrin syvyyteen. Suositeltu sijoitusyvyys maadoituselektrodille on routarajan alapuolella. Käytettäessä pysty- ja vinoelektrodeja tulee maadoitussauvan yläosa tavallisesti asentaa maanpinnan alapuolelle. Maaperän resistiivisyys pienenee mentäessä syvemmälle maahan. Tällöin tulisi erityisesti käyttää vino- tai pystyelektrodeja. (SFS 6001:2018, 12.)

Metallirakenteita, joiden maadoitus on toteutettu standardin (SFS-EN 50522 7) edellyttämällä tavalla, voidaan hyödyntää maadoitusjohtimena tähän suoraan liitettyjen komponenttien osalta. Tämä edellyttää, että metallirakenteen tulee olla johtavalta poikkipinnaltaan riittävä ja liitoksistaan luotettava niin sähköisesti kuin mekaanisestikin. Metallirakenteen tulee olla sellainen, että jos rakennetta osittain puretaan, ei rakenne saa irtautua maadoitusjärjestelmästä. Rakenteet tulee kytkeä riittävän useasta pisteestä maadoitusjärjestelmään. (SFS 6001:2018, 12.)

Verkkoa rakennettaessa keskijännitekaapelin yhteydessä asennetaan 25Cu maadoitusjohdin, joka yhdistetään MEB-kiskoon muuntamalla. Rengasverkossa muuntamolle tulee keskijännitekaapeleita aina vähintään kahdelta eri muuntamolta. Tällöin myös maadoitusjohtimia tulee kaksi kappaletta, eri muuntopiirien välille. (H2, H3.)

Pienjänniteverkkoa rakennettaessa asennetaan runkokaapelien yhteydessä muuntamolta jakokaapille tai jakokaappien välille myös 25Cu maadoitusjohdin. Maadoitusjohtimet jakokaapilla kytketään aina saman maadoitusliitimen alle. Mikäli pienjännite runkokaapeleita ja keskijännitekaapeleita asennetaan yhteiseen kaivantoon, voidaan jakokaappien maadoitus ottaa ns. "oksana" keskijännitekaapelin yhteydessä asennettavasta maadoitusjohtimesta. (H2, H3.)

Muuntamoiden maadoitukset rakennetaan ensisijaisesti Headpower-ohjeistusten mukaan noudattaen standardeja ja viranomaisten suosituksia. Puistomuuntamon maadoitus koostuu neljästä, kaivannon kulmiin asennettavasta maadoitussauvasta, kaivannon pohjalle asennettavasta maadoituselektrodirenkaasta sekä potentiaaliohjausrenkaasta, kuten kuviossa 8 on havainnollistettu. Poikkeuksena ovat alueet, joissa maaperän heikon johtavuuden myötä asennetaan kaksi potentiaaliohjausrengasta yhden sijasta. (H2, H3.)



Kuvio 8. Puistomuuntamon maadoitukset (Headpower 2025d)

Pylväsmuuntamoiden maadoituksessa tulee olla vähintään tyvimaadoitus sekä muuntamon ympärille asennettava potentiaaliohjausrenkas. Mikäli edellytettyihin maadoitusresistanssin arvoihin ei päästä, voidaan lisäksi tapauskohtaisesti käyttää lisävaakamaadoitusta. Myös pylväsmuuntamoihin asennetaan kaksi potentiaaliohjausrengasta alueilla, joissa maaperän johtavuus on heikkoa. (H2, H3.)

Potentiaaliohjausrenkaiden kytkentä päämaadoituskiskoon toteutetaan niin, että nämä ovat katkaistavissa, ja niiden jatkuvuus on mitattavissa erikseen. (H2, H3.)

4.4 Kaapeliverkon mekaaninen suojaus

Maakaapelien lisäsuojausta käytetään niissä tapauksissa, kun riittävää asennussyvyyttä ei saavuteta. Lisäsuojausta voidaan myös käyttää tilanteissa, jossa jokin poikkeustilanne sitä vaatii. (H2, H3.)

Kaapelien suojaus tehdään avo-oja-asennuksissa pääsääntöisesti raskaan käytön (luokka A) suojakouruilla. Tämä koskee sekä pienjännite että keskijännitekaapelointejakin. Teiden alituksissa käytetään suojaputkituksia, joiden suojalukitus on SN16 tai SN32. Tunkkausasennuksissa suojaputket ovat aina vähintään SN32 suojaluokan putkia. Suojaputkien halkaisijat määräytyvät tapauskohtaisesti. Varaputkituksia ei pääsääntöisesti käytetä, jollei sitä ole suunnittelussa nähty aiheelliseksi. (H2, H3.)

Tilanteissa, missä kaapelin asennussyvyys jää vähäiseksi tai jokin muu erikoistilanne sitä vaatii, käytetään kaapelien suojauksessa suojaluokan SN64 "Rocky" putkea tai tarvittaessa betonilaatoitusta. (H2, H3.)

4.4.1 Teiden alitukset

Tien alitukset suunnitellaan tehtäväksi pääsääntöisesti pintaa rikkomatta, eli tunkkaamalla tai suuntaporaamalla. Alitustapa määräytyy olosuhteiden mukaan, mihin vaikuttavat ympärillä oleva tila sekä maan laatu, esim. kuinka kivinen ja ahdas alituspaikka on. Mikäli alitusta ei voida tehdä edellä mainituilla tavoilla pin-

taa rikkomatta, tulee alitukset tehdä kaivamalla. Suunnitellulle alituspaikalle haetaan tarvittavat luvat ja sopimukset. Lopullinen tien alituksen sijainti määritellään maastokatselmuksessa. (H2, H3.)

4.4.2 Vesistökaapelit

Vesistökaapelien asennus tehdään aina tapauskohtaisesti. Pääsääntöisesti vesistönylitys tapahtuu suoraviivaisesti suunniteltua reittiä pitkin. Kaapeli asennetaan suojaluokan SN64 "Rocky" putkeen, joka ankkuroidaan vesistön pohjaan betonipainoja käyttäen. Ankkurointiin on kiinnitettävä huomiota, jotta kaapelin paikallaan pysyminen varmistetaan, etenkin virtavesien kohdalla. (H2, H3.)

Kaapelin/suojaputken rantautuminen pyritään tekemään veden matalimmasta korkeudesta vähintään 2 metrin vedensyvyydestä niin, että kaapeli/suojaputki on vähintään 0,7 metriä pohjan alla. Kaikissa tapauksissa rantautuminen tehdään kuitenkin niin, että kaapeliasennuksen sijainti, viranomaismääräykset ja lupaeh-tojen edellyttämät vaatimukset täyttyvät. (Headpower 2025f.)

5 DOKUMENTOINNIN PERIAATTEET

5.1 Dokumentointi

Rakentamisen yhteydessä dokumentoitavia asioita ovat kaapelit, suojaputket sekä myös näiden yhteydessä asennetut maadoituselektrodit, muut suojaukset sekä valokuidut. Mikäli Viestintävirasto (nyk. Liikenne- ja viestintävirasto) on antanut vaatimuksia dokumentoinnista tai sen tarkkuudesta, tulee nämä huomioida dokumentoinnissa. Kartoituksen tarkkuuden tulisi olla minimissään 50 cm haja-asutusalueella ja 10 cm taajama-alueilla, jos Viestintävirasto ei muuta vaadi. (Adatoextra 2025b.)

SFS6000 standardin mukaan maahan tai veteen asennetuista kaapeleista tulee laatia sijaintikartta, joka määrittellään standardin kohdassa ”8–814.5 kaapelien sijoitus ja suojaaminen”. Kartassa olevien kaapeleiden sijaintimerkinnot tulee perustua rajapyykkeihin, rakennuksiin tai muihin maastossa sijaitseviin pysyviin kiintopisteisiin. (Adatoextra 2025b.)

Dokumentoinnissa noudatetaan aina lupaehtoja sekä tilaajan määrittämiä ohjeistuksia ja vaatimuksia. Dokumentoinnissa tulee vähintään esittää käytettyjen kaapelien tyypit, mahdollisten haaroitusten sekä jatkojen paikat. Lisäksi kaapelien mekaanisten suojien sijainnit ja suojaustavat tulee esittää dokumentoinnissa. Tilaajalle tulee toimittaa tulokset sähköisestä kartoituksesta ennakkoon sovitussa tiedostomuodossa. (Adatoextra 2025b.)

Kaapelien asennussyvyudet dokumentoidaan verkostourakoitsijan tekemien mittauksien perusteella. Mittauksissa noudatetaan tilaajan määrittämää mittaustiheyttä. Mittaustapa riippuu asennusalueesta, esim. taajama-alueilla aurattaessa tiealueelle sekä louhikoiden tai kallioiden ylityksissä tulee syvyys varmistaa mittauksin, kun taas pistokoetarkistus riittää tasaisilla peltoalueilla. Kaapeleiden upotussyvyyksien tarkastus- ja mittauspikat tulee dokumentoida edellytetyllä tavalla. Tiedot tulee toimittaa tilaajalle. (Adatoextra 2025b.)

5.2 Verkkotietojärjestelmä

Verkkotietojärjestelmä, joka on toteutettu tietokantaperiaatteen mukaisesti, muodostuu itse tietokannasta, hallintajärjestelmästä ja sovellusohjelmista. Verkkotietojärjestelmässä tiedot ovat käytössä useassa sovelluksessa, sovellusohjelmat ja tallennetut tiedot ovat silti erotettuja. Yleisimpiä tietokannoista ovat relaatiomalliset, nämä ovat joustavampia järjestelmän kehittämisen ja muokkaamisen kannalta. (Lakervi & Partanen 2009, 265–266.)

Verkkotietojärjestelmät ovat monialaisia ja laajasti sovellettavia järjestelmiä. Ne eroavat muun muassa hallinnon järjestelmistä niin, että ne toimivat paitsi tietovarastoina ja verkkotietojen dokumentointialustoina, mutta myös monikäyttöisinä suunnittelujärjestelminä. (Lakervi & Partanen 2009, 265–266.)

Sähköyhtiöiden verkkotietojärjestelmissä olennaisia tietosisältöjä ovat:

- asiakastietojärjestelmät, joissa ylläpidetään asiakas-, liittymä- sekä energiatietoja
- käytönvalvontajärjestelmät, joissa hallinnoidaan sähköaseman kiskoston ja lähtöjen jännite- ja virtamittaustietoja sekä muiden kytkinlaitteiden tilatietoja
- käytöntukijärjestelmä, jossa ylläpidetään sähkönjakeluverkon kytkentätilanteita, valvontaa ja verkon häiriötilanteita
- materiaalitietojärjestelmät, joissa ylläpidetään tarvike- ja materiaalitietoja
- taloustietojärjestelmät, joissa hallinnoidaan työhön liittyviä perustietoja sekä kustannustietoja
- kaupungin ja maanmittauslaitoksen karttajärjestelmät, joiden kartta-aineistoa hyödynnetään taustakartoissa (Lakervi & Partanen 2009, 265–266.)

Perustettaessa verkkotietojärjestelmän tietoperustaa tulee tietojen kerääminen, syöttäminen ja siirto mahdollisista vanhoista tietokannoista organisoida hyvin, niin että tämä kattaa kaiken oleellisen tiedon. Järjestelmää hankittaessa, tulee suunnittelu ja tietojen määrittely tehdä huolella tehtäväalueiden tiedoista sekä järjestelmän hyväksikäyttötavoista. (Lakervi & Partanen 2009, 265–266.)

Tavoite verkkotietojärjestelmässä on tuottaa toimiva käyttöliittymä käytettyjen sovelluksien välille, kuten yleis-, verkosto-, rakentamisen- sekä käytön ja kunnossapidon suunnittelun ja dokumentoinnin sovelluksille. Lisäksi järjestelmä tukee kaavioiden ja karttojen tuottamista ja toimii verkostolaskentaohjelmissa verkkomallien pohjana. (Lakervi & Partanen 2009, 265–266.)

Sähköyhtiön sovelluksissa käytettävät kaavio- ja karttapohjat toimivat käyttöliittymän perustana. Tällaisia voivat olla:

- ”*sähköasemien, kytkinlaitosten ja muuntamoiden kaaviot*
- *1:250–1:1000 sijaintikartta*
- *osittain kaaviollinen 1:1000–1:10000:n keskijännite- ja pienjännite verkkokartta*
- *1:10000–1:25000:n keskijänniteverkon yleiskartta*
- *täysin kaaviollinen keskijänniteverkon kytkentäkartta*” (Lakervi & Partanen 2009, 265–266.)

5.3 Verkon käyttöönottoprosessi

Sähköverkon käyttöönottoprosessissa tulee verkon käytön osalta tarkastaa dokumentaation oikeellisuus ja kytkentäsuunnitelma toteutuksineen. Dokumentaation oikeellisuudella tarkoitetaan urakoitsijan ”punakynä” -kuvamuutosten päivittämistä Trimble NIS -tietokantaan sekä komponenttien lisäämistä MicroScada - ja Trimble DMS -järjestelmiin. Käyttöönottoprosessi etenee kuviossa 9 esitetyn kaavion mukaisesti. (H1, H4.)



Kuvio 9. Verkon käyttöönottoprosessi (H1, H4)

Suunnitelmat tehdään Trimble NIS -ohjelmassa. Tapauskohtaisesti suunnitelmaan voidaan tehdä alitöitä, joissa on tietty osa verkonrakennuksen vaiheista. Alitöillä mahdollistetaan suunnitelman osittainen masterajo niiltä osin, kun verkko valmistuu ja voidaan ottaa käyttöön. (H1, H4.)

Urakan toteutus pyritään tekemään suunnitelman mukaisesti. Mikäli suunnitelmassa havaitaan epäkohtia ja suunnitelmaan tarvitsee tehdä muutoksia, tulee muutokset hyväksyttäväksi tilaajalla ennen näiden toteutusta. Kun verkonrakennustyöt on saatu valmiiksi, urakoitsijan tulee suorittaa oman työn tarkastus. Tarkastuksella varmistetaan, että verkko on käyttöönotettavissa, ja on rakennettu verkonhaltijan ohjeistusten edellyttämällä tavalla. Urakoitsijan tulee ilmoittaa mahdollisista muutoksista verkonhaltijalle sekä tehdä ajantasaiset punakynäkuvat muutoksista ja toimittaa ne tilaajalle ennen käyttöönottoa. Punakynäkuvien perusteella alkuperäinen suunnitelma päivitetään vastaamaan kentällä tehtyjä muutoksia. Kun suunnitelma on päivitetty ja kaikki edellytetty tieto on lisätty suunnitelmaan, voidaan suunnitelma ajaa Trimblen Master -tietokantaan. (H1, H4.)

KytKentäsuunnitelma ja sen toteutus lähtee liikkeelle siitä, kun urakoitsija toimittaa tilaajalle kytKentäpyynnön. KytKentäpyynnön toteutus edellyttää, että kohteesta on toimitettuna käyttöönottopöytäkirjat ja punakynäkuvat. Kun verkko on

dokumentoitu oikein tilaajan verkkotietojärjestelmiin, voidaan kytkentäsuunnitelma laatia. (H1, H4.)

Loppudokumentaatioissa on esitettävä uuden rakennetun verkon tiedot sekä kaikki työn yhteydessä tehtyjen muutosten päivitykset muihin verkkokohteisiin liittyen. Urakoitsijan tulee projektin päätyttyä toimittaa tilaajalle kaikki mittaus-, tarkastus- ja käyttöönottopöytäkirjat, jotka on luotu työn aikana. Urakoitsijan on myös toimitettava punakynäkuvat, joissa on merkitty kaikki työssä tehdyt muutokset alkuperäisiin suunnitelmiin verrattuna. Urakoitsija vastaa siitä, että kaikki kartoitustiedot on toimitettu tilaajalle oikeassa muodossa ja yhtenäisenä. (H1, H4.)

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoite oli perehtyä sähköjakeluverkon rakentamisen, suunnittelun ja dokumentaation periaatteisiin ja tuottaa näistä yhtenäiset periaateohjeet toimeksiantajayrityksen käyttöön. Opinnäytetyö rajautui sähkötekniisiin osiin pien- ja keskijänniteverkon rakentamisen ja suunnittelun vaiheissa.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin laadittua yleiset periaateohjeet. Suunnittelun periaatteiden osalta keskityttiin verkon mitoittamiseen, sähköiseen suojaukseen, komponenttien valintoihin ja sijoittamiseen sekä maadoitusjärjestelmien suunniteluun. Rakentamisen osalta keskityttiin rakentamistapoihin sisältäen maakaapeloinnin ja ilmajohtoverkon yleisimmät komponentit, mekaanisen suojauksen sekä maadoitusten rakentamisen periaatteet. Dokumentoinnin periaatteet rajautuivat yleisiin dokumentoinnissa huomioitaviin asioihin sekä verkkotietojärjestelmän toimintaan ja käyttöönottoprosessin vaiheisiin.

Opinnäytetyön aihe oli laaja ja mielenkiintoinen. Aiheen rajaus muodostui työn edetessä. Tämä johtui pääasiassa siitä, että aiempia vertailukohtana toimivia ohjeita ei ollut. Aluksi ei ollut selvää, mitä kaikkea ohjeisiin tulisi sisältymään. Ohjeisiin kirjatut periaatteet perustuivat yrityksen käytössä olleisiin periaatteisiin ja käytänteisiin, jotka kaikki edellytetyiltä osin nojasivat standardeihin sekä viranomaisien määräyksiin ja ohjeistuksiin. Kokonaisuudessaan työ onnistui kuitenkin hyvin ja tulokseksi saatiin kolme osa-aluetta kattavat periaateohjeistukset, joissa on koottuna kirjalliseen muotoon yrityksen jo käytössä olleet yleiset käytänteet ja periaatteet.

LÄHTEET

Adatoextra 2025a. Kaapeloitujen PJ-liittymisjohtojen mitoitus ja suojaus. Viitattu 6.2.2025 <https://adatoextra.fi/serve/sa4-22kaapeloitujenpj-liittymisjohtojenmitoitussasuojauspdf>.

– 2025b. Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4-45kV. Viitattu 19.2.2025

<https://adatoextra.fi/serve/rk116maakaapeliverkonrakentamisenvaatimukset0445kv>.

– 2025c. Muuntopiirien ja pylväserottimien maadoitukset. Viitattu 6.2.2025 <https://adatoextra.fi/serve/rj19-16muuntopiiritv2>.

– 2025d. Pienjänniteverkon ja jakelumuuntajan sähköinen mitoittaminen. Viitattu 6.2.2025 <https://adatoextra.fi/serve/sa2-21-pienjanniteverkon-ja-jakelumuuntajan-sahkoinen-mitoittaminenpdf>.

Energiavirasto 2025. Verkonhaltijat-kartalla. Viitattu 6.2.2025 <https://energiavirasto.fi/verkonhaltijat-kartalla>.

Headpower 2025a. Kaapelien ja putkien väliset etäisyysvaatimukset. Viitattu 6.2.2025 <https://ohjeistot.headpower.fi/hpo16/2019>.

– 2025b. Maasulkuvirran kompensointi. Viitattu 6.2.2025 <https://ohjeistot.headpower.fi/hpo344/2020>.

– 2025c. Muuntajan pylväskiinnitys rakenteet. Viitattu 6.2.2025 <https://ohjeistot.headpower.fi/hpo117/2019>.

– 2025d. Puistomuuntamon perustaminen. Viitattu 6.2.2025 <https://ohjeistot.headpower.fi/hpo170/2019>.

– 2025e. Puupylväät. Viitattu 6.2.2025 <https://ohjeistot.headpower.fi/hpo273/2019>.

– 2025f. Vesistökaapelointi. Viitattu 27.2.2025 <https://ohjeistot.headpower.fi/hpo637/2020>.

Korpinen, L. Vikatilanteet. Viitattu 9.4.2025 <http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/old/vikatilanteet.pdf>.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3. painos. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Neve 2025a. Tietoa-meistä/Neve-konserni. Viitattu 6.2.2025 <https://neve.fi/tietoa-meista/neve-konserni/>.

– 2025b. Tietoa-meistä/vuosikertomukset. Viitattu 6.2.2025 <https://neve.fi/tietoa-meista/vuosikertomukset/>.

SFS 6001:2018. Maadoitusjärjestelmien rakenne. 5. painos. Suomen Standardoimisliitto SFS.

LIITTEET

Liite 1. Pienjännitekaapeliin (0,4 kV) suurimmat sallitut tai suositeltavat ylivirtasuojat

Liite1. Pienjännitekaapelien (0,4 kV) suurimmat sallitut tai suositeltavat ylivirtasuojat

PIENJÄNNITEVERKON JA JAKELUUNTAJAN SÄHKÖINEN MITOITTAMINEN

Taulukko 9. Pienjännitekaapelien (0,4 kV) suurimmat sallitut tai suositeltavat ylivirtasuojat

KAAPELITYYPPI	YLIKUORMITUSSUOJA	OIKOSULKUSUOJA		
		LIITTYMISJOHDOLLE		RUNKOJOHDOLLE
	KULUTTAJAN PÄÄSULAKE (Is) ²⁾	JAKOKAA- PISSA/MMO (Is) ³⁾	RUNKOJOHDOLLA (Is) ⁴⁾	(Is) ⁵⁾
AXMK, AXCMK 300 mm ²	315	400	-	400
AXMK, 240 mm ²	315	400	-	400
AXMK, AXCMK 185 mm ²	250	315	-	315
AXMK, AURA, 150 mm ²	250	315	-	315
AXMK, AXCMK 120 mm ²	200	250	400 (500)	250
AXMK, AURA, 95 mm ²	160	200	315 (400)	200
AXMK, AXCMK 70 mm ²	160	160	250 (315)	160
AXMK, AURA, 50 mm ²	100 (125)	125	200 (250)	125
AXMK, AXCMK 35 mm ²	80 (100)	100 (125)	160 (200)	-
AXMK, AXCMK 25 mm ²	63 (80)	80 (100)	125 (160)	-
AXMK, AXCMK 16 mm ²	50 (63)	63 (80)	100 (125)	-
AMCMK 3 x 300 + 88	315	400	-	400
AMCMK 3 x 240 + 72	250	315	-	315
AMCMK 3 x 185 + 57	200	250	-	250
AMCMK 3 x 150 + 41	200	250	-	250
AMCMK 3 x 120 + 41	160	200	400 (500)	200
AMCMK 3 x 95 + 29	125	160	315 (400)	160
AMCMK 3 x 70 + 21	125	160	250 (315)	160
AMCMK 3 x 50 + 16 (15) ⁶⁾	80 (100)	100 (125)	200 (250)	100 (125)
AMCMK 3 x 35 + 16 (10) ⁶⁾	63 (80)	80 (100)	160 (200)	-
AMCMK 3 x 25 + 16 (10) ⁶⁾	50 (63)	63 (80)	125 (160)	-
AMCMK 3 x 16 + 10	40 (50)	50 (63)	100 (125)	-
MCMK 3 x 300 + 150	400	500	-	500
MCMK 3 x 240 + 120	315	400	-	400
MCMK 3 x 185 + 95	315	315	-	315
MCMK 3 x 150 + 70	250	315	-	315
MCMK 3 x 120 + 70	200	250	-	250
MCMK 3 x 95 + 50	200	250	400 (500)	250
MCMK 3 x 70 + 35	160	200	315 (400)	200
MCMK 3 x 50 + 25	125	160	250 (315)	160
MCMK 3 x 35 + 16	80 (100)	100 (125)	200 (250)	100 (125)
MCMK 3 x 25 + 16	63 (80)	80 (100)	160 (200)	-
MCMK 3 x 16 + 16	50 (63)	63 (80)	125 (160)	-
MCMK 3 x 10 + 10	40 (50)	50 (63)	100 (125)	-
MCMK 3 x 6 + 6	32 (35)	35 (40)	-	-
4 x (4 x 240 mm ² AL, PEX)	4 x 200	4 x 250	-	-
4 x (4 x 300 mm ² AL, PEX)	4 x 250	4 x 315	-	-

- 1) Sulakkeina on käytettävä SFS-EN standardin 60269 mukaisia gG- tyyppin sulakkeita.
- 2) Pääsulakkeiden mitoitusarvot perustuvat edellä taulukossa 7 esitettyihin kuormitettavuuksiin. Sulkeissa olevia suurempia sulakearvoja voidaan käyttää, mikäli on varmistettu, että asennusolosuhteet sallivat liittymisjohdon korkeamman kuormitettavuuden.
- 3) Liittymisjohdoille suositeltavat oikosulkusulakkeiden mitoitusarvot jakokaapissa tai muuntamossa.
- 4) Liittymisjohdolle sallitut suurimmat sulakkeiden mitoitusarvot. SFS 6000-8-801 taulukko 801.2. Sulkeissa oleva suurempi sulake on sallittu, mikäli se kytkee oikosulun pois enintään 5 s:ssä tai mikäli on kyseessä vanha verkko ja 15 s sulakesuojaus. Vanhat verkot katse SFS 6000-801 ja 802.
- 5) Runkojohdolle suositeltavat oikosulkusulakkeiden mitoitusarvot muuntamossa tai jakokaapissa.
- 6) PEN-johdon poikkipinta-ala oli aiemmin ennen v 2000 sulkeissa mainitun suuruinen