



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄHKÖVERKON SIJAINTIKARTOITUS TILAAJAN SÄHKÖVERKOSSA

TEKIJÄ:

Tuomas Tikkanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Tuomas Tikkanen	
Työn nimi Sähköverkon sijaintikartoitus tilaajan sähköverkossa	
Päiväys 7.5.2021	Sivumäärä/Liitteet 44/63
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Eltel Networks Oy	
Tiivistelmä <p>Tämä opinnäytetyö liittyi sähköverkon sijaintikartoitukseen Caruna Espoo Oy:n sähköverkossa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä kolmiosaiset työohjeistukset uusille työntekijöille. Työohjeistuksiin laadittiin perehdytysmateriaali uuteen työvaiheeseen. Menetelmäkohtainen ohjeistus kaapelinhakulaitteiden, vastaanottimen ja tallentimen käyttöä varten. Tavoitteena opinnäytetyölle oli saada koottua monipuolinen ja selkeä perehdytysmateriaali, johon uudet työntekijät voivat tutustua omatoimisesti. Työohjeistukset toimivat tukena sijaintikartoituksessa.</p> <p>Työohjeistukset laadittiin työn ohessa. Uusia kaapelinhakulaitteita, vastaanotinta ja tallenninta testattiin vaihtelevassa maastossa, jossa oli erilaisia häiriölähteitä. Omien käyttökokemusten ja laitevalmistajien neuvojen perusteella laadittiin uudet työohjeistukset. Opinnäytetyössä sekä työohjeistuksissa käsitellään myös työturvallisuutta aiheeseen liittyen.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin tehtyä selkeät työohjeistukset sähköverkon sijaintimittaukseen, jotka ovat tulleet työnantajan käyttöön alkukevällä 2021.</p>	
Avainsanat Sähköverkon sijaintikartoitus, työohjeistus, GNSS-mittaus, VRS-teknologia, uudet sähköverkot	

Abstract

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Electrical and Automation Engineering	
Author(s) Tuomas Tikkanen	
Title of Thesis Mapping the Electricity Distribution Network	
Date 7 May 2021	Pages/Appendices 44/63
Client Organisation /Partners Eltel Networks Oy	
<p>Abstract</p> <p>The subject of this theses was connected to the mapping of the Caruna Espoo ltd distribution network. The purpose of this thesis was to make tripartite work instructions for new employees. Work instructions included orientation material for the new work phases. Method-specific instructions were created for using a cable locater, GNSS receiver and field computer. The work instructions comprise versatile and clear orientation material which new employees can get acquainted with on their own. The work instructions are meant to be a guide for location mapping.</p> <p>Work instructions were made alongside the author`s work. New cable locaters, the receiver and field computer were tested in variable field circumstances that involved different interferences. Work instructions were made based on user experiences and the instructions of manufacturers. The thesis also contains work instructions in the field of mapping the electrical grid.</p> <p>As a result of this thesis, new work instructions were made for mapping the electrical grid. Work instructions and work safety were introduced in the beginning of spring 2021.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Mapping the electricity distribution network, work instructions, GNSS-measurement, VRS-technology, new distribution networks</p>	

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Eltel Networks Oy:n toimeksiantona. Työnohjaajana toimi toimeksiantajayrityksessä suunnittelupäällikkö Petri Laaksonen. Työn taustana oli tehdä ohjeistus uusille työntekijöille sähköverkon sijaintikartoitukseen. Sähköverkon sijaintikartoituksella luodaan edellytykset sähköverkon dokumentoinnille verkkotietojärjestelmässä. Verkon kohteiden ja kaapelireittien sijaintitiedot ovat tärkeä tieto monelle sidosryhmälle, jotka toimivat yhteiskunnan kriittisten infrastruktuurien ylläpidossa ja rakentamisessa.

Sähköverkon sijaintikartointi otettiin käyttöön uutena työvaiheena Veikkolan toimipisteessä 15.8.2020. Aihe liittyy Caruna Espoo Oy:n sähköverkkojen saneeraukseen. Eltel Networks Oy:lle tekemäni työohjeistukset perustuvat kolmesta osasta: perehdytys työvaiheeseen, ohjeistus kaapelinhakulaitteiden käyttöön sekä ohjeistus vastaanottimen ja tallentimen käyttöön. Tuotos on annettu toimeksiantajan käyttöön alkukevällä 2021.

Haluan kiittää ajankohtaisesta aiheesta sekä tilaisuudesta työskennellä mielenkiintoisen aiheen parissa Eltel Networks Oy:n Veikkolan toimipisteen suunnittelupäällikkö Petri Laaksosta.

Kuopiossa 7.5.2021

Tuomas Tikkanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA	10
3	SÄHKÖVERKON SIJAINNITETOJA SÄÄTELEVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ	11
3.1	Jakeluverkonhaltijan velvollisuudet	11
3.2	Sähköurakoitsijan vastuut	11
3.3	Maanrakennustöitä tekevän osapuolen velvollisuudet	11
3.4	Keskitetty tietopiste	12
3.5	Sähköverkon sijaintitietojen käsittely	13
3.6	Maakaapeleiden asennussyvyudet	13
4	SÄHKÖVERKON SIJAINNITKARTOITUKSEN TAUSTA	16
4.1	0,4 kV maakaapeliverkon topologia	16
4.2	20 kV maakaapeliverkon topologia	17
4.3	Vanhat sähköverkot	18
4.4	Uudet sähköverkot	19
5	SÄHKÖVERKON SIJAINNITKARTOITUKSEN TYÖOHJEISTUS	22
5.1	Perehdytys työvaiheeseen	22
5.2	Kaapelinhakulaitteiden ohjeistus	22
5.2.1	Galvaaninen kytkentämenetelmä	23
5.2.2	Pihtimuuntajamenetelmä	24
5.2.3	Induktiivinen haku	25
5.2.4	Häiriölähteiden vaikutus	26
5.3	Vastaanottimen ja tallentimen ohjeistus	26
5.3.1	GNSS-mittaus	27
5.3.2	VRS-teknologia GNSS-mittauksissa	31
5.4	Sijaintitietojen tarkkuus	31
5.5	Työturvallisuus	37
5.6	Silmämääräinen tarkistus verkonkohteille sijaintikartoituksen yhteydessä	39
6	TALLENNIN JA VASTAANOTIN SUUNNITTELUN APUVÄLINEENÄ	41
7	YHTEENVETO	42

LÄHTEET	44
---------------	----

KUVALUETTELO

KUVA 1. Suojaputkien sijoitus kaapeliojaan. Espoon kaupungin alueella käytetään aina vähintään suojaputkia kaapeleiden mekaanisena suojauksena (Tikkanen, 2021).	15
KUVA 2. PJ-verkon topologiaa voidaan tarkastella lähdöittäin verkkotietojärjestelmän kautta. Värien avulla erotetaan muuntopiirit toisistaan (Trimble Nis, 2021).	16
KUVA 3. KJ-verkon topologiaa voidaan tarkastella myös muuntajittain (Trimble Nis, 2021).	17
KUVA 4. Esimerkki vanhojen sähköverkkojen merkitsemisen yhteydessä käytetystä kaapelin tunnuslaatasta (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, s. 96).....	19
KUVA 5. Uudet yhdistelmäkaapit sijoitetaan Caruna Espoo Oy:n verkossa pääsääntöisesti kaupungin alueelle lähelle tontinrajaa. Verkon kohteille haetaan aina sijoituslupa kaikilta osapuolilta, joiden tontille ollaan sijoittamassa verkon kohteita (Tikkanen, 2021).....	20
KUVA 6. Demonstraatiokuva galvaanisesta kytkennästä. Kaapeli maadoitetaan kummastakin päästä, jolloin kaapelista ja lähettimestä saadaan muodostettua suljettu virtapiiri (Tikkanen, Ohjeistus sähköverkon sijaintikartoitukseen tilaajan sähköverkossa, 2021).....	24
KUVA 7. Pihtimuuntaja kytketään kaikkien vaiheiden ja maadoitusjohtimen ympärille (Tikkanen, Ohjeistus sähköverkon sijaintikartoitukseen tilaajan sähköverkossa, 2021).	25
KUVA 8. Valmiista mittauksesta tuotetaan tky-muotoinen tiedosto, joka siirretään verkkotietojärjestelmään (Laine, Näin keräät syvyystiedot samaan aikaan sijaintitiedon kanssa, ei pvm).	27
KUVA 9. PJ-maakaapeleiden reittitietojen tallennus GNSS-mittauksen avulla (Tikkanen, 2021).....	28
KUVA 10. Esimerkki satelliittien määrästä ja sijoittumisesta taivaalla (Geotrim)	30
KUVA 11. PJ-kaapeli tuotu puistomuuntamon sisään (Tikkanen, 2021).	32
KUVA 12. Kaapelit voivat tehdä jyrkkiä mutkia myös reitin varrella (Tikkanen, 2021).....	33
KUVA 13. Kaapelimatton sijainti mitataan keskeltä kaapelimattoa ja kaapeleiden lukumäärä merkitään mittauksen yhteydessä (Tikkanen, 2021).....	35
KUVA 14. Esimerkki sijaintimitatusta muuntamoiden välisestä johtosiirron suunnitelmasta. Kuvassa näkyy suunnitelma katkoviivalla ja mittaus kiinteällä viivalla päällekkäin (Trimble Nis, 2021).	36
KUVA 15. Esimerkki samasta KJ-linjasta kuin kuvassa 14. Tässä näkyy vain mitattu reitti (Trimble Nis, 2021).	37
KUVA 16. Jakokaapista löytynyt silmämääräisen tarkistuksen yhteydessä yhden vaihejohtimen löysä liitos (Stenholm, 2020).....	40

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

DOP	Suure tarkoittaa satelliittigeometrian suhdetta GNSS-havaintojen paikkansapitävyyteen.
Verkkotietojärjestelmä	Verkkomalli, jota tilaaja ja urakoitsijat käyttävät liiketoiminnassaan. Verkkotietojärjestelmässä tehdään suunnittelu, kunnossapitotietojen ylläpito sekä verkon kohteiden loppudokumentointi. Verkonrakennusprosessin kulkua edistetään verkkotietojärjestelmän avulla.
Vastaanotin	Vastaanotin havaitsee satelliittien lähettämät signaalit tukiasemien kautta sekä virtuaalisen tukiaseman korjaussignaalin, joiden avulla saadaan oma sijainti määritettyä tarkasti. Vastaanotinta käytetään tallentimen kanssa.
Tallennin	Tallentimen avulla tallennetaan verkon kohteet ja kaapelireitit. Tallennuksessa käytetään verkonhaltijan määrittämää mallikirjastoa, josta löytyy omat lajikoodit kullekin verkon kohteelle.
KJ	Lyhenne keskijännitteestä.
PJ	Lyhenne pienjännitteestä.
Sähköverkon topologia	Viitataan tässä opinnäytetyössä sähköverkon rakenteeseen, jota voidaan tarkastella erilaisilla lajitteluperusteilla verkkotietojärjestelmässä.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöksi valikoitui sähköverkon kohteiden ja kaapelireittien sijaintikartoitus tilaajan sähköverkossa. Aiheen tarjosi nykyinen työnantajani Eltel Networks Oy Veikkolan toimipiste. Opinnäytetyön tuotoksena Eltel Networks Oy:lle tehtiin sisäiset ohjeistukset sähköverkon sijaintikartoitukseen. Aihe liittyy sähköverkkojen suunnitteluun, loppudokumentointiin sekä oman työn valvontaan. Tarkalla verkon kohteiden mittaamisella saadaan jo suunnitteluvaiheessa tarkkuutta suunnitelmiin. Verkonrakennustyön toteutusvaiheen jälkeen verkankartoituksella luodaan edellytykset dokumentoinnille, niin että maastossa olevat tiedot vastaavat verkkotietojärjestelmässä olevia tietoja. Työvaiheena sähköverkon sijaintikartoitus on uusi toimeksiantajan yrityksessä. Työohjeistusten laatiminen oli välttämätöntä uuden työvaiheen tehokkaalle käyttöönotolle.

Sijaintikartoituksen avulla saadaan sähköverkon todellinen sijainti määriteltyä verkkotietojärjestelmään. Sähköverkon sijaintikartoitus tehdään pääsääntöisesti silloin, kun verkonrakennustyö on toteutettu kokonaisuudessaan; myös osittaisia käyttöönotto vaiheita voidaan sijaintikartoittaa. Sähköverkon kartoituksen avulla pystytään määrittelemään erilaisten verkon kohteiden, kuten muuntamoiden, jakokaappien, maakaapelijatkosten, pylväiden ja kaapeliverkon sijainnin ja asennusolosuhteiden dokumentointia varten edellytettävät tiedot.

Verkon kohteiden sijaintitiedot sekä yrityskohtaiset työohjeistukset kuuluvat yhteiskunnan kriittisen infrastruktuurin tiedon piiriin. Tämän vuoksi työnantajalle tehtyjä ohjeistuksia ei julkaista tässä opinnäytetyön loppuraportissa, vaan ne ovat tehty vain yrityksen sisäistä käyttöä varten. Työohjeistuksien laatimista varten perehdyttiin uusien kaapelinhakulaitteiden sekä GNSS-vastaanottimen ja tallentimen toiminnallisuuksiin. Selvitettiin yhteistyössä laitevalmistajien kanssa, kuinka menetelmäkohtaisesti kaapelit paikantuivat vaihtelevissa toimintaympäristöissä. Perehdytysmateriaalissa on huomioitu työturvallisuus näkökulmat työvaiheeseen liittyen.

Sijaintikartoitusta voidaan pitää yhtenä osana verkkotietojärjestelmän ylläpitoprosessia, joka linkittyy olennaisesti dokumentointiin. Sijaintikartoitukseen kuuluvat myös osana kaapelinäytöt, tontinrajojen tarkistaminen, sekä jo suunnitteluvaiheessa verkonrakennuskohteiden esisuunnittelu ja GPS-mittapisteiden tallennus verkkotietojärjestelmään.

Laajempaa kokonaisuutta ajatellen sähköverkon sijaintikartoitus parantaa jakeluverkon toimintavarmuutta. Toteutettujen verkonrakennustöiden kaapelireittien ja verkon kohteiden sijaintitietojen tallennus ja ylläpito ovat olennainen osa koko verkonrakennusprosessia. Näiden tietojen avulla voidaan seurata missä ilmajohtoja on maakaapeloitu ja näin saadaan esimerkiksi alueittain varmennukset sille, että sähkökatkojen todennäköisyyttä saadaan pienennettyä.

Maanalaisen infrastruktuurin rakentaminen lisääntyy koko ajan. Siksi on myös turvallisuuden osalta ehdottoman tärkeää, että sähköverkon sijaintitiedot ovat luotettavia ja ajantasaisia.

Kaikki, jotka kaivavat ja sijoittavat maan alle infrastruktuuria, ovat velvollisia tekemään johtotietoselvityksen alueella, jonne on tarkoitus sijoittaa maanalaista infrastruktuuria. Tämän vuoksi sähköverkon sijaintitiedot ovat tärkeitä. Sama pätee myös muihin vastaaviin kohteisiin kuten esimerkiksi vesirakennustyö. Laissa on määritelty, että sähköverkon sijainti pitää selvittää ennen uuden infrastruktuurin sijoittamista alueelle. Näin ollen verkonhaltija on velvoitettu toimittamaan työnsuorittajalle maakaapelien sijaintitiedot digitaalisessa muodossa. Kaapeleiden sijaintiin liittyvät tiedot ovat kuitenkin yleisesti salaista tietoa ja niitä tulee käsitellä sillä tavoin, etteivät sijaintitiedot päädy ulkopuolisten tietoon. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 52§, 2013)

2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA

Eltel Networks Oy on markkinajohtaja Pohjois-Euroopassa sähkönjakeluverkkojen palveluntuottajana. Suomen lisäksi liiketoiminta-alueita Euroopassa ovat Pohjoismaat, Puola ja Saksa. Vuonna 2020 liikevaihto oli yli 930 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli 5400. Eltel Networks Oy on ollut listattuna Tukholman pörssiin jo vuodesta 2015. (Tietoja Eltelistä, 2021)

Suomessa Eltel Networks Oy:llä on liiketoimintayksiköitä: Communication, Power ja Smart Solutions. Henkilöstöä Suomessa on 1500 ja toimipisteitä on 60 kappaletta. Opinnäytetyö on tehty Power Etelä -liiketoimintayksikölle, joka tuottaa kokonaisvastuurakentamis-toimituksia verkonhaltijoille. (Eltel Networks Oy, 2021)

Espoon sähköverkonhaltijalla Caruna Espoo Oy:llä on sähköverkkoa yhteensä 7700 km siis 36 m/asiakas. Asiakkaita Espoon, Joensuun, Kirkkonummen ja Kauniaisten alueella on yhteensä 218 000. Pienjänniteverkon maakaapelointiaste 74 % ja keskijänniteverkon maakaapelointiaste on 82 %. (Vuosisraportti 2018, 2018)

3 SÄHKÖVERKON SIJAINNITETOJA SÄÄTELEVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ

3.1 Jakeluverkonhaltijan velvollisuudet

Jakeluverkonhaltijalla on kehittämis- ja ylläpitovastuu oman alueensa sähköverkosta. Tämä tarkoittaa sitä, että jakeluverkonhaltijan tulee päivittää kahden vuoden välein kehittämissuunnitelma oman alueensa sähköverkosta. Kehittämissuunnitelma lähetetään Energiamarkkinavirastolle. Tarkasteltavia asioita kehittämissuunnitelmassa ovat toimenpiteet, jotka parantavat ja kehittävät sähköverkon luotettavuutta ja toimitusvarmuutta. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 52§, 2013)

Jakeluverkonhaltijalla on myös tiedonkeräysvelvollisuus sähköverkosta sekä tiedonantovelvollisuus työalueeseen liittyvistä maakaapeista esimerkiksi maanrakentajille. Verkonhaltijan tulee toimittaa maakaapeleiden sijaintitiedot veloitusetta digitaalisessa muodossa niitä tarvitsevalle taholle. ”Verkonhaltijan on saatettava tiedot sähkökaapeleidensa sijainnista tietojen käyttöön oikeutettujen saataville digitaalisessa muodossa sekä annettava työn suorittajalle vaaran välttämiseksi tarpeelliset tiedot ja ohjeet” (Sähkömarkkinalaki 588/2013 110§, 2013).

3.2 Sähköurakoitsijan vastuut

Sähkötyöt, jotka liittyvät maakaapeleihin on tehtävä HE 116/2016 55 §:n mukaisen toiminnan harjoittajan käytännössä sähköurakoitsijan valvonnassa. ”Tämän sähköurakoitsijan palveluksessa on kuitenkin oltava sähkötöihin riittävän pätevä sähkötöiden johtaja. Sähköurakoitsija vastaa maakaapeliasennuksen kokonaisuuden vaatimuksenmukaisuudesta” (Työryhmä, Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4-45 kV RK 1:16, 2016, s. 7).

3.3 Maanrakennustöitä tekevän osapuolen velvollisuudet

Maanrakennustöitä tekevillä tahoilla on velvollisuus tutustua johtokarttaan, josta ilmenee olemassa oleva maanalainen infrastruktuuri alueella. Laki velvoittaa, että suunnitteluvastuu koskee olemassa olevien sähkökaapeleiden sekä putkistojen sijainnin selvittämistä. Pääurakoitsija suunnittelee kaivureitin, mutta maanrakennustöitä tekevä osapuoli vastaa kaivuluvan hakemisesta, sekä johtokarttoihin tutustumisesta.” Ennen töiden aloittamista on

selvitettävä turvallisuuden ja terveyden suojelemiseksi maaperän biologiset ja kemialliset vaara- ja haittatekijät sekä niiden merkitys työntekijöiden ja työn vaikutuspiirissä olevien henkilöiden turvallisuudelle” (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009 33§, 2009).

3.4 Keskitetty tietopiste

Liikenne- ja viestintäministeriön määräyksessä verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimitamisessa käydään läpi keskitettyä tietopistettä, jossa pyritään siihen, että maanalaisten verkkoinfrastruktuurien sijaintitiedot olisivat keskitetysti yhdessä paikassa. Yhteisrakentamisessa pyritään siihen, että telekaapeleita voitaisiin asentaa samoihin ojiin kuin sähköverkkoa ainakin isommissa hankkeissa. Viimekädessä verkonhaltija päättää siitä, voiko samaan ojaan asentaa tele- ja sähköverkon. Keskitetyn tietopisteen avulla voidaan ehkäistä kaivunaikaisia vaurioita muihin samassa ojassa oleviin kaapeleihin.

Määräyksellä asetetaan tarkemmat vaatimukset keskitettyyn tietopisteeseen toimitettavien tietojen vähimmäisisällöstä, minkä johdosta tietopisteen tietojen sisältö ja laatu paranee. Tämä edistää verkkoinfrastruktuuria koskevien tietojen nykyistä tehokkaampaa hyödyntämistä verkkotoimijoiden välisessä yhteistoiminnassa eli verkkojen käytössä ja yhteisrakentamisessa. Tällä määräyksellä edistetään siten osaltaan verkkotoimijoiden rakentamishankkeiden etenemistä ja helpotetaan uusien rakentamishankkeiden liikkeellelähtöä (Uusi määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimitamisesta, 2020).

Liikenne- ja viestintäministeriön määräykset ovat yhteneviä tilaajan vaatimusten kanssa kaapeliojasta tallennettavien tietojen ja niiden keräämisen kannalta. Kaapeliojasta kerättävät vähimmäistiedot ovat x-, y- ja z-koordinaatit ja syvyystieto sekä kaapelien lukumäärä. Määräys astui voimaan 1.6.2020, jonka jälkeen kaikki uudet verkonrakennustyöt tulevat sijaintikartoittaa siten, että kaapeliojista on kerätty lain edellyttämä vähimmäismäärä tietoa. Eltel Networks Oy kerää sijaintikartoitettavista kaapeliojista ja kaapelireiteistä kuitenkin kattavamman tietomäärän, mitä laki edellyttää. Tämän jälkeen tiedot toimitetaan verkonhaltijalle Caruna Espoo Oy:lle. Uusi keskitetty tietopiste otetaan käyttöön vuonna 2022, jolloin verkkotietopiste.fi-osoitteesta on mahdollista saada keskitetysti maanalaisten verkkoinfrastruktuurin tietoja (Uusi määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimitamisesta, 2020).

3.5 Sähköverkon sijaintitietojen käsittely

Sähköverkon sijaintia koskevat tiedot tulee olla vain asianomaisten käytössä (Sähkömarkkinalaki 588/2013 110§, 2013). Tarvittaessa sähköverkkoyhtiön tulee pystyä jäljittämään kenelle ja mitä sijaintitietoja on annettu, millaiseen tarkoitukseen ja kuinka annettu tieto on dokumentoitu (Työryhmä, YJ 16:14 Kaapeleiden sijaintitietojen tarkkuus, tallennusmuoto, järjestelmävaatimukset ja näyttöpalvelu, 2014, s. 5).

Pääurakoitsija ja verkonhaltija käsittelevät asiakastietoja kaikissa tapauksissa lainmukaisesti ja läpinäkyvästi. Asiakastietojen käsittelyssä sovelletaan vuonna 2018 voimaan tullutta tietosuojalakiä. (Tietosuojalaki 5.12.2018/1050, 2018)

3.6 Maakaapeleiden asennussyvydet

Verkonrakennustyön toteutuksen jälkeisten loppukuvien tulisi sisältää kaapelien pituudet, reittimuutokset, maakaapelijatkosten paikat, kaapelin suojaus, maadoitukset, louhinnat, muuttuneet kaivuolosuhteet sekä asennussyvydet. Peitetyissä kaapeliojissa huomiota kiinnitetään mittauksen aikana kaapelinhakulaitteiden ilmoittamiin syvyyss lukemiin. Maanrakentajien ottamien kuvien perusteella voidaan myös tarkastella asennussyvyksiä. Lähtökohtaisesti kaapelin asennussyvyttä tarkastellaan maan käyttötarkoituksen näkökulmasta. Maakaapelit tulee asentaa pelloilla ja ojissa ainakin 1000 mm upotussyvyteen. Mikäli vaadittuun upotussyvyteen ei päästä esimerkiksi myöhemmin alueella tehtävän saneerauksen tai haastavien kaivuolosuhteiden vuoksi, voidaan tilaajan hyväksymänä käyttää pienempää upotussyvyttä. Tällöin kaapeli tulee suojata 700–300 mm upotussyvydessä vähintään A-luokan kourulla tai suojaputkella. Mikäli kaapeli joudutaan jättämään alle 300 mm upotussyvyteen, käytetään suojana A-luokan suojaputkea sekä lisäksi betonisuojausta. Poikkeava asennussyvyys merkitään verkkotietojärjestelmään. Mekaanista lisäsuojausta ei tarvita, jos saavutetaan riittävä upotussyvyys 700 mm. Töiden kustannusrakenteen ja varman sähköverkon vuoksi kaapeleissa käytettävät suojaukset selvitetään aina huolella. Rakennetut kaapelireitit haetaan aina kaapelinhakulaitteiden avulla peitetyistä ojista, jotta voidaan todeta luotettavasti, että kaapelit menevät suunnitelmien mukaan. Tilanteet, joissa kaapelinhakulaitteet antavat eriävän tuloksen kaapelireitistä tai asennussyvydestä suhteessa suunnitelmaan, menevät selvitykseen ja tarvittaessa ojia voidaan kaivaa auki uudelleen.

Maadoitettavalla metallisella kosketussuojalla varustetuilla kaapeleilla, esim. tyypit MCMK ja AMCMK, voidaan käyttää asennuksen tekijän ja haltijan harkinnan mukaan pienempää asennussyvyttä. Jos peittävän maakerroksen paksuus on pienempi kuin 0,3 m, kaapeli on aina suojattava mekaanisesti vähintään standardin SFS-EN 50520 mukaisella suojalevyllä, -kourulla tai

nauhalla tai N 750 mukaisella suojaputkella, joka on väriltään ja merkinnöiltään kuten edellä mainittu (Työryhmä, Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4-45 kV RK 1:16, 2016, s. 10).

Taulukossa 1 näkyy verkostosuosituksessa RK 1:16 käytettävät maakaapeleiden asennussyvydet ja suojaukset.

TAULUKKO 1. Maakaapeleiden asennussyvydet ja suojaukset (Työryhmä, Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4-45 kV RK 1:16, 2016, s. 10)

Kaapelin tai suojaputken asennussyvyys h asennusalustan yläpinnasta	Standardin SFS-EN 61386-24 mukaisen iskunkestävyyden ja puristuskestävyyden mukaan	Standardin SFS- EN 50520 mukaisen iskunkestävyyden mukaan	Standardoimattomien suojaputkien rengasjäykkyys
$h \geq 0,7 \text{ m}$	varoituss nauha	varoituss nauha	C-luokka
$0,5 \text{ m} < h < 0,7 \text{ m}$	L 450	suojalevy, -kouru tai nauha	C-luokka
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ piha ja puistoalueilla	N 750	suojalevy, -kouru tai nauha	A-luokka
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ muilla alueilla	N 450	suojalevy, - kouru tai nauha	A-luokka
pinta-asennus $0 \text{ m} \leq h$ $\leq 0,3 \text{ m}$ ei normaalisti liikennöitävät alueet	Pinta-asennuksissa esim. kalliolla tulee suojauksen kestää ympäristön rasitusta ja mahdollista satunnaista liikennöintiä. Suojauksena voi olla esim. 16 kN/m^2 rengasjäykkyyden omaava kaapelinsuojaputki ja riittävä betonointi tai vastaavan suojan antava muu suojaus esim. $> 60 \text{ kN/m}^2$ rengasjäykkyyden omaava muoviputki	(Sama kuin edellisessä)	(Sama kuin edellisessä)



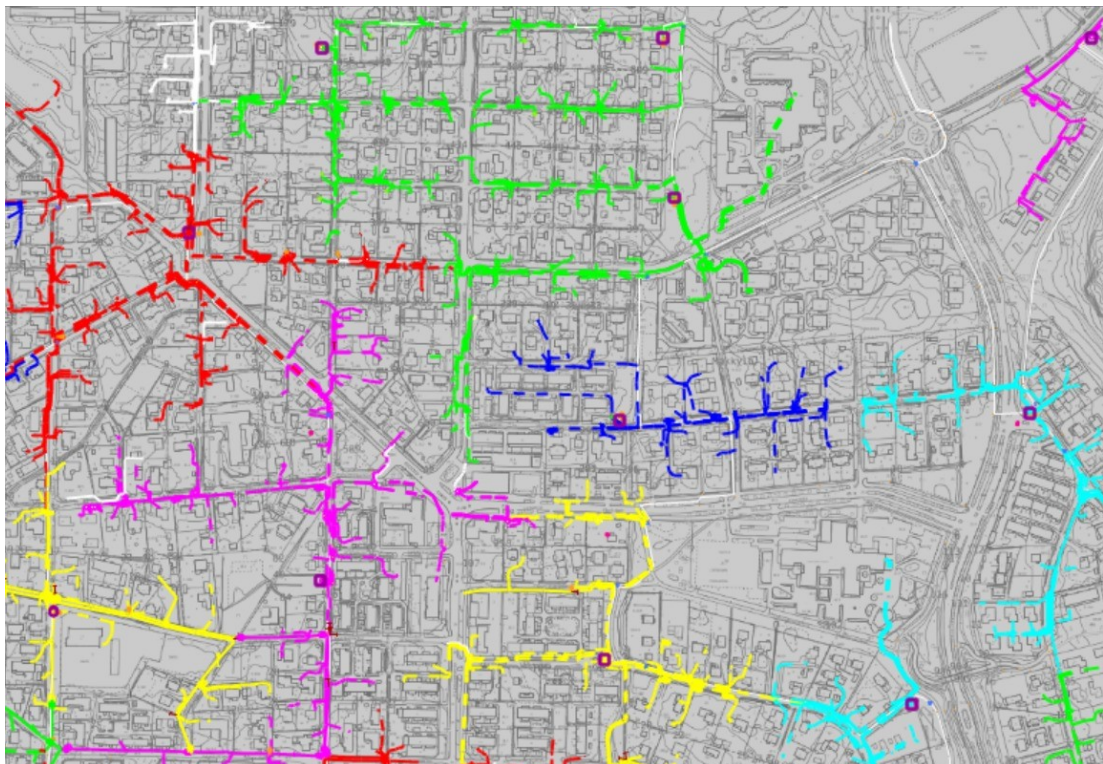
KUVA 1. Suojaputkien sijoitus kaapeliojaan. Espoon kaupungin alueella käytetään aina vähintään suojaputkia kaapeleiden mekaanisena suojauksena (Tikkanen, 2021).

4 SÄHKÖVERKON SIJAINTIKARTOITUKSEN TAUSTA

4.1 0,4 kV maakaapeliverkon topologia

Maakaapeliverkon topologia koostuu maakaapeleista, jotka toimivat muuntamoiden pj-keskuksen ja jakokaappien välisinä syöttökaapeleina. Maakaapeleita voidaan ketjuttaa jakokaappien kautta. Jakokaappeihin asennetaan jonovarokeytkin, johon asennetaan liittymisjohto. Liittymisjohto kytketään asiakkaan pääkeskukseen. Liittymisjohtolla tulee olla sulakesuojaus jakokaapissa. Selektiivisyys saavutetaan sopivankokoisten sulakkeiden avulla pj-maakaapeliverkossa. Yhdistelmäkaapit ja perinteiset jakokaapit ovat pj-maakaapeliverkon syöttöpisteitä. (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, ss. 52-53)

Verkkotietojärjestelmässä maakaapeliverkon topologiaa voidaan tarkastella erikseen tai yhdessä PJ-verkkoa ja KJ-verkkoa alueittain. Topologiaa voi tarkastella esimerkiksi sähköasemien lähtöjen mukaan, muuntajittain tai kuormitusasteen mukaan. Muitakin lajitteluperusteita löytyy. Kuvassa 2 on kuvattu PJ-verkon topologiaa lähdöittäin eräässä Espoon kaupunginosassa.

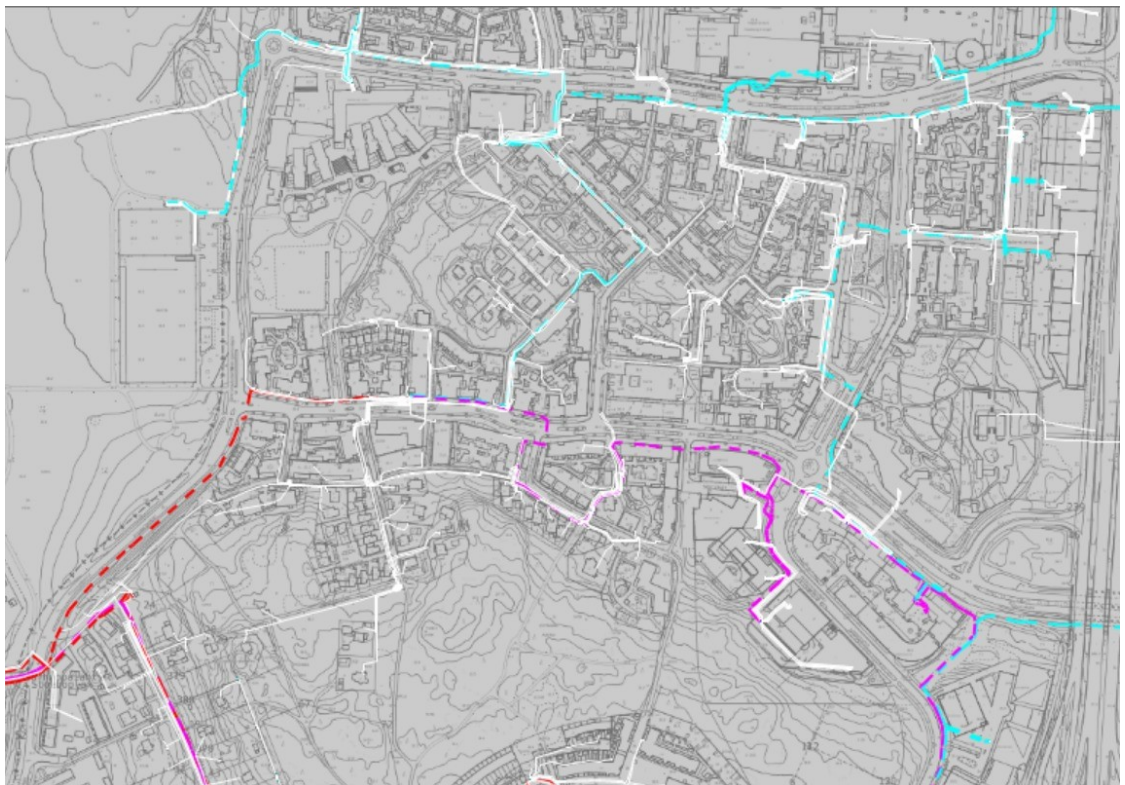


KUVA 2. PJ-verkon topologiaa voidaan tarkastella lähdöittäin verkkotietojärjestelmän kautta. Värien avulla erotetaan muuntopiirit toisistaan (Trimble Nis, 2021).

4.2 20 kV maakaapeliverkon topologia

Sähkösiirtoverkko koostuu 30–110 kV maakaapeliverkosta. Jakelukeskijänniteverkko koostuu 10–20 kV maakaapeliverkosta. Keskijännitemaakaapeliverkko yhdistää muuntamot ja muuntoasemat toisiinsa. Sähkösiirtoverkko ja jakelukeskijänniteverkko on rakennettu rengasverkoksi. Rengasverkon avulla muuntamon muuntajalle voidaan valita useampi syöttösuunta. Jakorajojen rakentaminen tekee jakelukeskijänniteverkon käytöstä säteittäistä. (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, s. 53)

Kuvassa 3 on kuvattu KJ-verkon topologiaa muuntajittain. KJ-verkon topologiaa voidaan tarkastella muillakin lajitteluperusteilla. Topologian tarkastelussa auttaa erilaisten taustakarttojen käyttäminen, joskus jopa niiden käytöstä poisto auttaa hahmottamisessa parhaiten.



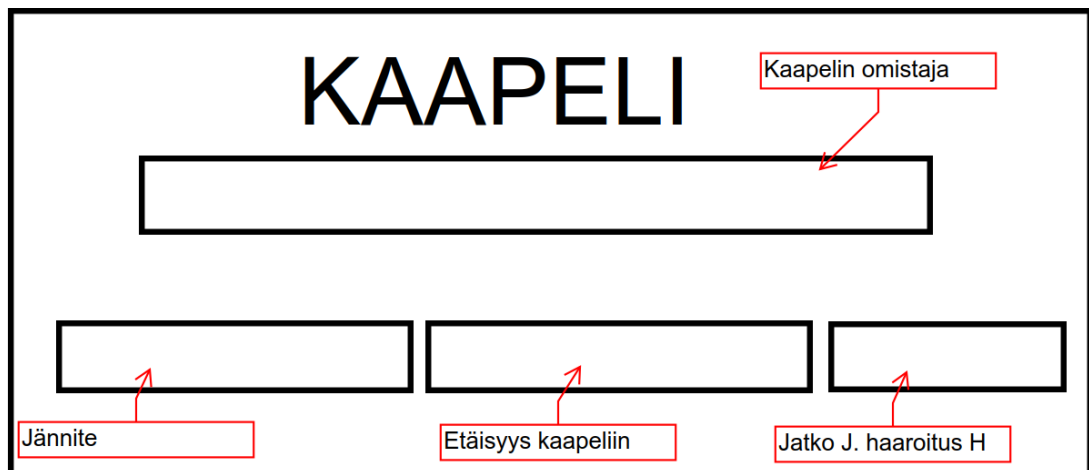
KUVA 3. KJ-verkon topologiaa voidaan tarkastella myös muuntajittain (Trimble Nis, 2021).

4.3 Vanhat sähköverkot

Vuosikymmeniä vanhat sähköverkkojen sijaintitietojen merkinnät eivät ole yhtä tarkkoja kuin nykypäivänä tehdyt merkinnät. Sijaintitietojen tallennukseen ja merkitsemiseen käytettävien laitteiden teknologia on ottanut suuren harppauksen, joka on mahdollistanut sijaintitietojen merkitsemisen jopa senttimetrin tarkkuudella parhaimmillaan. Sähköverkon paikantamiseen kaapelitutkaa on käytetty vuodesta 1946 lähtien ja toimintaperiaate kaapelitutkassa on säilynyt samana (Mörsky, Relesuojatekniikka, 1992, s. 409). Hakumenetelmät ja laitteet ovat kuitenkin kehittyneet niin, että nykyisellään kaapelitutkilla voidaan mitata tarkkaan maan alla kulkeva kaapelireitti, kaapelissa kulkeva virtamäärä sekä kaapelin syvyystieto. Uusilla kaapelitutkilla voidaan lisävarusteiden avulla paikantaa kaapeleiden eristysvaippojen viat riittäväällä tarkkuudella. Vanhoilla kaapelitutkilla saadaan suurpiirteinen havainto siitä, missä kaapeli kulkee. Muita tietoja vanhat kaapelitutkat eivät juurikaan ole tuottaneet paikannettavasta sähköverkosta.

Vanhoihin verkkokarttoihin on merkitty kaapelikaivantojen poikkileikkausmerkinnät, joista on luettavissa kaapeleiden lukumäärä kaivannossa, kaapeleiden nimellisjännite, käyttötarkoitus ja järjestys, sekä muita tietoja (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, s. 98). Aiemmin maakaapeleita on kartoitettu runkolinjamittauksena, jolloin kaapelireittiä on havainnollistettu prisman, mittanauhan, sekä A- ja B- mittojen avulla (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, s. 100).

Merkittävin ero vanhojen ja uusien sähköverkkojen osalta on se, että vanhat sähköverkot on poikkeuksetta kartoitettu ennen kaapeliojan täyttöä. Verkon kohteita on paikallistettu erilaisten kiintopisteiden avulla, joita on merkitty verkkokarttoihin. GPS-kartoitus on otettu käyttöön noin 20 vuotta sitten Suomessa. Kuvassa 4 on kuvattu kaapelintunnuslaatta, tällaisia tunnuslaattoja on käytetty aiemmin kuvaamaan esimerkiksi maakaapelijatkosten kohtia maastossa.



KUVA 4. Esimerkki vanhojen sähköverkkojen merkitsemisen yhteydessä käytetystä kaapelin tunnuslaatasta (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, s. 96).

4.4 Uudet sähköverkot

Uusien sähköverkkojen sijaintikartoitusta ohjaavat uudet säädökset, jotka ovat lakiperusteisia sekä tilaajan määrittelemiä vaatimuksia. Kaikki uudet sijaintikartoitettavat verkonrakennustyöt viedään digitaalisessa muodossa verkkotietojärjestelmään. Valmistuneet verkonrakennustyöt pyritään sijaintikartoittamaan mahdollisimman pian toteutusvaiheen jälkeen. Useimmiten kaapelireitit paikannetaan ja tallennetaan verkkotietojärjestelmään, kun kaapeliojat on peitetty. Tämä johtuu siitä, että maanrakentajat eivät voi pitää kaapeliojia avonaisena pitkään. Maastoon ei tehdä pysyviä merkintöjä paikannuksen yhteydessä kaapelireitistä. Väliaikaisia merkintöjä voidaan kuitenkin tehdä maalien ja rajakeppien avulla. Lähtökohtana sijaintikartoitukselle on, että suunnitellut kaapelireitit ja verkon kohteet eivät eroa paljoa mitatusta kaapelireitistä. Ero näkyy kustannuksissa sekä loppudokumentoinnin työmäärässä. Maankäyttösopimusten osalta sijaintitietojen tulee olla jo alussa ilmoitettu oikein. Jos kaapelireitti kulkee maastossa eri tontilla kuin on suunniteltu, niin kaapelireitille pitää hakea sijoituslupa jälkikäteen. Sijaintitietojen paikkansapitävyys on ehdottoman tärkeää turvallisuuden kannalta.

Kuvassa 5 näkyy Caruna Espoo Oy:n käyttämä Sakspol-yhdistelmäkaappi, jossa on yhdistetty mittauskeskus. Yhdistelmäkaapit sijoitetaan pääsääntöisesti kaupungin alueelle, mutta jossain tapauksissa yhdistelmäkaappeja voidaan sijoittaa asiakkaiden tontin puolelle. Verkon kohteisiin pitää olla aina esteetön pääsy verkonhaltijalla ja sen edustajilla.



KUVA 5. Uudet yhdistemäkaapit sijoitetaan Caruna Espoo Oy:n verkossa pääsääntöisesti kaupungin alueelle lähelle tontinrajaa. Verkon kohteille haetaan aina sijoituslupa kaikilta osapuolilta, joiden tontille ollaan sijoittamassa verkon kohteita (Tikkanen, 2021).

Kaapeleiden mekaanista suojausta ei voida nähdä peitetystä kaapeliojasta, mistä syystä maanrakennusurakoitsijalta edellytetään tarkkoja dokumentteja ja kirjanpitoa suojausputkien ja -kourujen sekä muiden mahdollisesti käytettyjen mekaanisten suojien määrästä. Osaltaan kaapeleiden ja suojausputkien menekkiä kohteissa voidaan seurata myös varastokirjanpidon avulla. Kaapelireitit mitataan korkeimman jännitetasen mukaan sijaintikartoituksessa. Kaapeleiden lukumäärä merkitään mittauksen aikana. Dokumentoinnin yhteydessä kaapeliojan poikkileikkaukseen merkitään mitä kaapeleita oja sisältää. Poikkileikkauksiin merkitään myös tyhjät suojausputkivaraukset, sekä muut mekaaniset suojat kyseisessä kaapeliojassa.

Tilaaaja, tässä yhteydessä Caruna Espoo Oy edellyttää, että pääurakoitsija Eltel Networks Oy sijaintikartoittaa 15.8.2020 alkaen käyttöönotetut verkonrakennuskohteet Espoon, Kauniaisen ja Kirkkonummen alueella. Tällä hetkellä sähköverkon sijaintikartoituksia toimittaa tilaajan pääurakoitsija. Eltel Networks Oy toimittaa tarkat sähköverkon sijaintitiedot Caruna Espoo

Oy:lle. Kaupungin johtotietojaosto saa verkon tiedot verkonhaltijalta Caruna Espoo Oy:ltä. Työvaiheena sähköverkon sijaintikartoitus on siirtynyt Espoon kaupungilta Eltel Networks Oy:lle. Tulevaisuudessa sähköverkon sijaintitiedot koostetaan keskitettyyn tietopisteeseen.

Uusien sähköverkkojen kannalta opinnäytetyön aihe on tärkeä yhteiskunnallisesti, koska sähköverkon sijaintitiedot kootaan verkkotietojärjestelmään. Verkkotietojärjestelmää käyttävät monet sidosryhmät ja sitä kautta voidaan tarkastella uusien verkonrakennustöiden kustannusrakennetta. Lisäksi tarkastellaan erilaisia toteutustapoja, kun jo olemassa oleva sähköverkko ja sen kohteet ovat luotettavasti sijaintikartoitettu maastossa ja siirretty verkkotietojärjestelmään. Sähköverkon sijaintikartoituksen on tarkoitus tukea verkkotietojärjestelmän ominaisuuksia, joita ovat mm. "verkon suunnittelu ja rakentaminen, omaisuudenhallinta, verkkoinvestointien hallinta ja kunnossapito" (Trimble Nis, ei pvm). Kun tiedetään käytännössä tarkalleen minkälaisessa maastossa kaapelit kulkevat ja kuinka lähellä ne menevät erilaisia maanalaisia infrastruktuureja, omaisuuden hallinta ja verkon suunnittelu on helpompaa ja luotettavampaa.

Sähköverkon sijaintitietojen siirryttyä verkkotietojärjestelmään on eri sidosryhmien helpompi tarkastella uusien verkonrakennustöiden kustannusrakennetta sisältäen oikean kaivuolosuhteen valinnan. Sijaintikartoituksesta saatavat tiedot toimivat siis tukena strategiseen suunnitteluun ja päätöksentekoon. Sijaintikartoituksen avulla tarkistetaan toteutettu kaapelireitti maastossa. Näin ollen sähköverkon kohteiden lopullinen ja myös todellinen sijaintitieto menee verkkotietojärjestelmään.

Kunnossapidon osalta sähköverkon sijaintitietoa voidaan käyttää kunnossapitotoiminnan suunnitteluun ja budjetointiin. Kaapeleiden reittitietojen kerääminen ja maakaapelijatkosten tarkan paikan merkitseminen on tärkeitä, koska usein viat kohdistuvat maakaapelijatkoksiin. Kentällä tehtävät kunnossapitotyöt nopeutuvat, kun sähköverkon kohteiden todellinen sijainti on tiedossa. Verkostoasentajat käyttävät Trimblen UTG-mobiilisovellusta. Tämän sovelluksen tiedot perustuvat Trimble Nis verkkotietojärjestelmän tietoihin. UTG:n avulla asentajat pääsevät helposti näkemään sähköverkon kohteiden tietoja paikasta riippumatta. Sijaintikartoituksen jälkeen mitatut kaapelireitit ja verkon kohteet siirretään verkkotietojärjestelmään. Verkonrakennustöiden suunnitelmat dokumentoidaan, jonka jälkeen tilaajalle lähetetään verkonrakennustyön masterointipyyntö. Tämän jälkeen tilaaja masteroi reitin ja verkon kohteet verkkotietojärjestelmään, minkä jälkeen ne päivittyvät asentajien UTG mobiilisovellukseen. (Utility to go, ei pvm)

5 SÄHKÖVERKON SIJAINTIKARTOITUKSEN TYÖOHJEISTUS

5.1 Perehdytys työvaiheeseen

Toimeksiantajalle tehty tuotos koostuu kolmesta osasta: perehdytys työvaiheeseen, menetelmäkohtainen ohjeistus kaapelinhakulaitteiden, tallentimen sekä vastaanottimen käyttöön. Työohjeistukset olivat tarkoitus saada toimeksiantajan käyttöön viimeistään alkukeväästä 2021.

Työvaiheen perehdytyksessä käydään läpi ohjeistuksen tarkoitus ja laajuus, kenelle ohjeistus on suunnattu sekä ohjeistuksen sisällön rajaus. Ohjeistus on suunnattu sijaintimittauksia tekeville työntekijöille. Perehdytyksessä käydään läpi, mitä työvälineitä työvaiheessa käytetään ja kuinka kartoituskäynnit tulee suunnitella. Perehdytysosiossa on kerrottu vaihe vaiheelta, kuinka mittaukset tehdään maastossa ja kuinka työtä edistetään sen jälkeen. Työskentely jännitteisen ja jännitteettömän sähköverkon parissa on huomioitu työturvallisuudessa perehdytysmateriaalissa.

Uusille työntekijöille työvaiheen kannalta keskeisimmät asiat on pyritty tuomaan esiin mahdollisimman selkeästi. Teknisen työn suorittamiseen löytyy edellytykset työohjeistuksista. Ohjeistuksessa on kiinnitetty huomiota erityisesti maastokäyntien ja sijaintikartoitusten ennakkosuunnitteluun. Jokaisesta kohteesta löytyy omat suunnitelmadokumentit, joihin tulee tutustua huolellisesti ennen maastokäyntiä. Sijaintikartoituksia tekevän työntekijän kannalta tärkeimpiä suunnitelmadokumentteja ovat johtotietoselvitykset, muuntamoiden ja jakokaappien keskusaaviot, punakynäversiot kaapelireitin toteutuksesta sekä sijoitusluvut. On tärkeätä, että työkohteista löytyy ajantasaisimmat työkuvat, joista voidaan nähdä muutokset esimerkiksi kaapelireiteissä. Sijaintikartoitusta tekevät työntekijät hoitavat verkonrakennustöiden kartoituksen lisäksi kaapelinäyttöjä ja tontinrajojen tarkastelua.

5.2 Kaapelinhakulaitteiden ohjeistus

Työohjeistus on menetelmäkohtainen ja koskee jännitteettömän sekä jännitteisen verkon paikantamista. Kaapelinhakulaitteiden työohjeistuksessa on vaihekohtaisesti kerrottu, kuinka menetelmäkohtaiset kytkennät tehdään kaapeleihin. Tällä hetkellä käytössä olevat kaapelinhakulaitteet ovat luotettavimmat jännitteettömän verkon hakemisessa. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että häiriölähteiden vaikutus saadaan minimoitua tällä menetelmällä tehokkaimmin. Jännitteisiä kaapelireittejä pystytään hakemaan myös luotettavasti, mutta tällöin

erilaiset häiriölähteet voivat vaikuttaa enemmän mittauksen tulokseen, pääasiassa kaapeleiden syvyystietoon. Kaapelinhakulaitteisiin kuuluvat kaapelitutka ja signaalilähetin. Signaalilähetin kytketään haettavaan kaapeliin kiinni ja se lähettää sähköisiä impulsseja vakionopeudella paikannettavalle kaapelille, jotka voidaan havaita kaapelitutkalla (Mörsky, Relesuojaustekniikka, 1992, ss. 409-411). Vikatilanteiden osalta voidaan käyttää muitakin menetelmiä kaapelin paikantamiseen kuten äänitaajuusgeneraattoria, kaikumittaria, syöksyjännitemenetelmää ja impulssimenetelmää. Kaapelitutkaa käytetään vain pieniresistanssisten vikojen paikantamiseen. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan perehdytä vikatilanteisiin ja viallisten kaapeleiden paikantamiseen.

5.2.1 Galvaaninen kytkentämenetelmä

Jännitteettömän verkon hakemisessa käytetään galvaanista kytkentää kaapeliin. Jännitteetön kaapeli maadoitetaan kummastakin päästä ja kaapelin toiseen päähän kytketään jännitelähde. Galvaanisen kytkennän avulla kaapelista saadaan muodostettua suljettu virtapiiri. Jännitteettömän kaapelin maadoituksessa käytetään maapiikkejä, mutta esimerkiksi muuntamon sisälle tuodut kaapelin päät voidaan maadoittaa muuntamon pääpotentiaaliskoon. Maapiikkejä käytettäessä tulee huomioida maan kosteus, koska paikannussignaali kulkee paremmin kaapelissa maan ollessa kostea. Kytkentää tehdessä tulee huomioida, että hauenleukapihtien ja johtimen välillä ei saa olla eristettä. Galvaanista kytkentää voidaan käyttää myös niin, että sähköverkon toisessa päässä oikosuljetaan kaapelin vaihejohtimet ja toiseen päähän kytketään lähetin syöttämään signaalia oikosuljettujen johtimien kautta. Galvaanisessa kytkennässä käytetään alle 1 kHz taajuutta sen takia, koska alle 1 kHz taajuudet eivät siirry helposti viereisiin häiriölähteisiin.

Työturvallisuuden osalta tulisi huomioida yli 1 kV jännitetason kaapeleissa, että vierekkäisten kaapeleiden sähkömagneettinen kenttä voi saada aikaan latausjännitteen jännitteettömään kaapeliin tai maadoituskupariin. Häiriölähteiden vaikutuksia suodatetaan menetelmäkohtaisesti kaapelinhakulaitteilla sekä tutustumalla etukäteen alueella jo olemassa olevaan maanalaiseen infrastruktuuriin, kuten johtotietoselvitykseen ja kaupungin karttoihin. Kaapelinhakulaitteita käyttämällä huomataan, jos suunnitelluissa kaapelireiteissä on poikkeamia toteutettuun kaapelireittiin verrattuna.

Kuvassa 6 on havainnollistettu, kuinka galvaaninen kytkentä toimii maastossa. Paikannettava kaapeli maadoitetaan kummastakin päästä. Maapiikkejä käytettäessä tulee huomioida maan kosteus. Kostea maa lisää johtavuutta. Kytkentä-alue tulee myös suojata niin, ettei ulkopuoliset pääse alueelle.



KUVA 6. Demonstraatiokuva galvaanisesta kytkennästä. Kaapeli maadoitetaan kummastakin päästä, jolloin kaapelista ja lähettimestä saadaan muodostettua suljettu virtapiiri (Tikkanen, Ohjeistus sähköverkon sijaintikartoitukseen tilaajan sähköverkossa, 2021).

5.2.2 Pihtimuuntajamenetelmä

Kaapeleiden paikantamisessa käytetään pihtimuuntajaa esimerkiksi tilanteissa, joissa kaapeli on jännitteinen tai päätteelle ei päästä. Pihtimuuntajan avulla indusoidaan haettavaan kaapeliin virtasignaali, jonka jälkeen kaapelitutkalla saadaan havainto kaapelista. Taajuuden säätämisessä otetaan huomioon esimerkiksi haettavan kaapelin poikkipinta-ala, etäisyys haettavasta kohteesta, sekä säädettävän taajuuden taipumus siirtyä lähellä oleviin häiriölähteisiin. Pihtimuuntajan käytössä tulee huomioida, ettei kytkentää tehdä eristämättömiin kaapeleihin. Sama taajuus säädetään signaalilähettimeen sekä kaapelitutkaan. Yleisimpiä paikannettavia maakaapeleita ovat pienjännitekaapelit AX25-AX300 ja keskijännitekaapeleista AHXW185 AHXAMK-W 3x185+35 ja AHXWP240 AHXAMK-WP 3x240. Maakaapeleiden poikkipinta-ala on sen verran iso, että niitä voidaan paikantaa keskitaajuudella yli 1 kHz.

Kuvassa 7 pihtimuuntaja on kytketty sisältä hoidettavan puistomuuntamon PJ-keskukseen. Pihtimuuntajaa käytettäessä tulee huomioida, että kytkentä toimii vain jännitteisessä verkossa. Kaikkien vaihejohtimien ja maadoitusjohtimen tulee olla pihtimuuntajan sisäpuolelle.



KUVA 7. Pihtimuuntaja kytketään kaikkien vaiheiden ja maadoitusjohtimen ympärille (Tikkanen, Ohjeistus sähköverkon sijaintikartoitukseen tilaajan sähköverkossa, 2021).

5.2.3 Induktiivinen haku

Kaapeleita voidaan hakea induktiivisesti maan päältä, esimerkiksi tilanteissa, kun halutaan selvittää, onko kyseisellä alueella ollenkaan sähköverkkoa. Lähettimen asetetaan oletetun kaapelin suuntaisesti maastossa. Lähettimen sisäänrakennettu antenni lähettää paikannussignaalia lähettimen alla olevaan kaapeliin, jolloin kaapelitulkalla saadaan havainto paikannettavasta kaapelista 10–15 metrin etäisyydellä. (Precision multifunction cable & pipe locator operation manual, ei pvm)

Induktiivista hakua ei voida käyttää tarkkaan paikantamiseen, koska paikannussignaali hakeutuu helposti muihin kaapeleihin, sekä muihin häiriölähteisiin. Induktiivisessa paikantamisessa ei käytetä alhaisia taajuuksia, koska alle 1 kHz taajuudet eivät indusoitu kunnolla.

5.2.4 Häiriölähteiden vaikutus

Sähkökaapeleiden lähelle sijoitetut kaukolämpöputket, katu- ja liikennevalotekniikka ja muut samanmuotoiset maanalaiset rakenteet aiheuttavat usein häiriöitä, jotka voivat vaikuttaa paikannettavan kaapelin signaaliin. Etenkin samaan ojaan sijoitetut telekaapelit voivat aiheuttaa esimerkiksi syvyystietojen osalta sekaannusta, koska telekaapelit sijoitetaan kaapeliristeilyssä yleensä sähkökaapeleiden päälle.

Jännitteisten kaapeleiden paikantamisessa tulee huomioida, että paikannussignaali kulkee yhteisen maadoituspotentiaalın kautta myös muihinkin alueen virtapiireihin. Voimakkaat sähkömagneettiset kentät aiheuttavat myös häiriöitä paikantamisessa. Talvella lumipeite aiheuttaa vääristyneen syvyytlukeman kaapelitutkan, tällöin joudutaan poistamaan lumipeite siltä kohti mistä otetaan mittauksia. Osa kaapeleiden mekaanisista suojuuksista kuten, teräslevyt aiheuttavat paikannussignaalin hetkittäistä katoamista.

5.3 Vastaanottimen ja tallentimen ohjeistus

Työohjeistuksessa tallentimelle ja vastaanottimelle käydään läpi, kuinka paikannettu kaapelireitti saadaan tallennettua vaihe vaiheelta tilaajan edellyttämien vaatimusten mukaisesti. Verkon kohteiden ja kaapelireittien tallentamisessa noudatetaan Traficomın määräystä (71/2020 M), sekä tilaajan asettamia tarkkuusvaatimuksia. Tallennuksessa käytetään satelliittivastaanotinta, jonka toiminta perustuu GNSS-tekniikkaan. Verkon kohteista tallennetaan jakokaapit, muuntamot, pylvää, maakaapelijatkokset, kaapeleissa käytettävät suojuukset, kaapeliojien syvyystiedot, sekä kaapeleiden reitti- ja lukumäärätiedot. Verkon kohteet tallennetaan joko pistemäisillä tai viivamaisilla lajikoodeilla. Pistemäisiin lajikoodeihin kuuluvat mm. jakokaapit ja maakaapelijatkokset. Viivamaisiin lajikoodeihin kuuluvat erilaisten rakenteiden mittaaminen kuten muuntamot, sekä kaapelireitit.

Maakaapeloitu keski- ja pienjänniteverkko mitataan. Ilmajohdoja ei mitata, mutta pylväiden paikat tallennetaan. Uusia verkonrakennustöitä pyritään sijaintikartoittamaan heti toteutuksen jälkeen. Tällöin on helpompaa esimerkiksi rakennustyömaalla kulkevissa johtosiirroissa selvittää jatkosten paikat avonaisista montuista. Samassa kaapeliojassa kulkevia pien- ja keskijännitekaapeleita ei mitata erikseen. Kaapeliojasta otetaan yksi mittaus, joka tehdään korkeimman jännitetason mukaan. Mittauksen aikana määritellään asennettujen kaapeleiden lukumäärä tallentimeen. Valmiista mittauksesta tuotetaan tky-muotoinen tiedosto, jota verkkotietojärjestelmä osaa lukea. Tky-muotoinen tiedosto on tekstitiedosto, jossa jokainen rivi antaa tietoa verkon kohteen tyypistä, viivan alku- ja loppupään koordinaateista sekä peilatusta

syvyystiedosta (Laine, Näin keräät syvyystiedot samaan aikaan sijaintitiedon kanssa, ei pvm). Kuvassa 8 on esitetty tky-muotoinen tiedosto, joka tuotetaan tallentimella.

1	0	0	12290	55	327681.270	6820608.335	97.995	327684.988	6820608.968	98.795	0.400
1	0	0	12290	55	327684.988	6820608.968	98.795	327689.516	6820609.425	97.462	0.444
1	0	0	12290	55	327689.516	6820609.425	97.462	327694.293	6820609.392	98.129	1.333
1	0	0	12290	55	327694.293	6820609.392	98.129	327701.463	6820609.445	96.795	0.667
1	0	0	12290	99	327701.463	6820609.445	96.795	327706.328	6820609.816	98.129	2.000
1	0	0	12290	99	327706.328	6820609.816	98.129	327709.953	6820610.409	98.795	0.667
1	0	0	12290	99	327709.953	6820610.409	98.795	327716.540	6820611.081	96.795	0.500
1	0	0	12290	99	327716.540	6820611.081	96.795	327722.093	6820610.192	97.462	2.000
1	0	0	12290	66	327722.093	6820610.192	97.462	327723.959	6820609.736	98.129	1.333

KUVA 8. Valmiista mittauksesta tuotetaan tky-muotoinen tiedosto, joka siirretään verkkotietojärjestelmään (Laine, Näin keräät syvyystiedot samaan aikaan sijaintitiedon kanssa, ei pvm).

5.3.1 GNSS-mittaus

“GNSS:n toiminta perustuu satelliittien lähettämiin signaaleihin, joita käyttäjän vastaanotin havaitsee. Signaalien taajuudet ovat 1.1–1.6 Ghz välisellä alueella” (Poutanen, Satelliittipaikannus, 2016, s. 165). Signaalin rakenne perustuu kantoaaltoon, joka sisältää yhden tai useamman koodin. Navigointiviesti välittyy alhaisemmalla taajuudella kuin kantoaalto. Navigointiviestin rakenne on monimutkainen ja se perustuu hajaspektritekniikkaan, joka ei ole altis samalla taajuudella toimiville radiolähteille. Erikoisen rakenteen vuoksi signaali saadaan erotettua luotettavasti kohinasta kohinatason ollessa korkeampi kuin signaalin voimakkuus. GNSS satelliittien paikannusjärjestelmässä yhdistyy maailmanlaajuinen satelliittien kirjo GPS (USA), Galileo (Eurooppa), GLONASS (Venäjä), BeiDou (Kiina). (Poutanen, Satelliittipaikannus, 2016, ss. 166-167)

GNSS-mittaukseen vaikuttavat monenlaiset tekijät, kuten vastaanottimen etäisyys tukiasemasta, tukiaseman ikä, atmosfääriin olosuhteet, peittävät rakenteet, rakennukset, heijastavat pinnat, sekä satelliittigeometria. Tukiasemien iällä on suuri merkitys mittaukseen. Suurin sallittu tukiasemien ikä mittauksen aikana on 1–2 sekuntia. Tätä suurempi tukiaseman ikä vaikeuttaa mittausta. Ilmakehä hidastaa myös osaltaan signaalien kulkemista, etenkin kerrokset, kuten ionosfääri ja troposfääri. Ilmakehän kerroksilla on heijastusvaikutus, mikä korostuu satelliitin ollessa lähellä horisonttia. Monet vaikuttavista tekijöistä ovat mittaajasta riippumattomia tekijöitä. Työohjeessa on toimintamalleja, kuinka haastavissa mittaustilanteissa toimitaan. Etenkin Espoon ja Kirkkonummen alueella korkeat rakennukset, rakennustyömaat sekä peittävä kasvillisuus asettavat omat haasteensa mittauksille. (Miettinen, GPS käsikirja, 2006, s. 56)

Kuvassa 9 on PJ-kaapelireitin tallennus menossa. Kaapelireitit kulkevat usein rakennustyömaiden kautta, jolloin sijaintikartoitusta tekevän työntekijän täytyy käydä työmaakohtainen perehdytys ennen työmaalla työskentelyä. Työntekijällä tulee olla voimassa oleva työturvallisuuskortti ja sähkötyöturvallisuuskortti mukana työmaalla.



KUVA 9. PJ-maakaapeleiden reittitietojen tallennus GNSS-mittauksen avulla (Tikkanen, 2021)

GNSS-mittauksen laatua voidaan tarkastella mittauksen aikana esimerkiksi satelliittigeometrian avulla. Tallentimessa olevan satelliittinäkömänn avulla voidaan tarkastella, mitkä satelliitit ovat signaali alueella mittaushetkellä ja kuinka ne ovat sijoittuneet taivaalla. Näkymästä voidaan havaita, mitkä satelliitit ovat vahvasti mittauksessa mukana ja missä satelliiteissa signaali on huono tai ei ole muutoin mittauksessa mukana. Satelliittigeometrian laatua kuvataan suurella DOP. Suure tarkoittaa satelliittigeometrian suhdetta GNSS-havaintojen paikkansapitävyyteen. DOP saadaan laskettua kaavan 1 avulla painokerroinmatriisista Q :

$$Q = \frac{\Sigma}{\sigma_0} = (A^T A)^{-1} = \begin{pmatrix} q_{xx} & q_{xy} & q_{xz} & q_{zt} \\ q_{xy} & q_{yy} & q_{yz} & q_{yt} \\ q_{xz} & q_{yz} & q_{zz} & q_{zt} \\ q_{xt} & q_{yt} & q_{zt} & q_{tt} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$A = \begin{pmatrix} (x^1 - \xi)/\rho^1 & (y^1 - \eta)/\rho^1 & (z^1 - \varsigma)/\rho^1 & -1 \\ (x^2 - \xi)/\rho^2 & (y^2 - \eta)/\rho^2 & (z^2 - \varsigma)/\rho^2 & -1 \\ & & \ddots & \\ (x^i - \xi)/\rho^i & (y^i - \eta)/\rho^i & (z^i - \varsigma)/\rho^i & -1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Rakennematriisi A voidaan laskea kaavan 2 avulla. Kaavassa 2 mittajaan arvioitua sijaintia kuvaavat (ξ, η, ς) ja satelliittien rataelementtien avulla laskettuja sijainteja kuvaavat (x^1, y^1, z^1) . Satelliittien määrän lisääntymistä kuvattaisiin kaavassa lisäämällä sitä vastaava rivi A matriisista tai vastaavasti vähentymistä poistamalla vastaava rivi. (Poutanen, Satelliittipaikannus, 2016, s. 230)

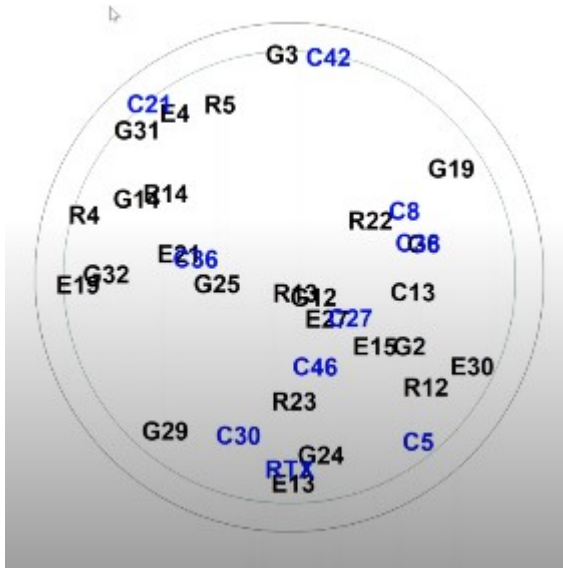
Satelliittien ja mittajaan etäisyys ρ^i saadaan laskettua kaavan 3 avulla.

$$\rho^i = \sqrt{(x^i - \xi)^2 + (y^i - \eta)^2 + (z^i - \varsigma)^2} \quad (3)$$

DOP-lukujen arvot saadaan laskettua kaavan 4 avulla Q-matriisin diagonaalelementeistä:

$$\begin{cases} GDOP = \sqrt{q_{xx} + q_{yy} + q_{zz} + q_{tt}} = \sqrt{TrQ} \\ PDOP = \sqrt{q_{xx} + q_{yy} + q_{zz}} \\ TDOP = \sqrt{q_{tt}} \end{cases} \quad (4)$$

Kuvassa 10 näkyy esimerkki satelliittigeometriasta. Mustat satelliitit ovat mukana mittauksessa ja sinisellä merkityt satelliitit eivät ole luotettavasti mukana mittauksessa. PDOP lukema kuvastaa satelliittien kolmiulotteista tarkkuutta, tällöin mittauksessa on mukana pituus-, leveys- ja korkeustiedot. Lähtökohtana satelliittigeometriassa on pieni PDOP- lukema. Kyseinen lukema kuvaa satelliittien sijoittumista toisiinsa nähden taivaalla. Pieni PDOP- lukema tarkoittaa, että satelliitit ovat hajallaan, mutta tasaisesti jakautuneet taivaalla. Satelliittigeometria on hyvä, jos PDOP lukema on alle 5. Yli 5 menevä PDOP lukema tarkoittaa ongelmia tarkkuuden muodostamisessa ja on ongelma mittauksen kannalta. Satelliittien liikehdintä on hyvin hidasta, eikä sitä käytännössä havaita mittauksen aikana. (Poutanen, Satelliittipaikannus, 2016, ss. 230-231)



KUVA 10. Esimerkki satelliittien määrästä ja sijoittumisesta taivaalla (Geotrim)

Katveisilla alueilla sekä peittävän kasvillisuuden alueilla pelkällä vastaanottimella ei saada tarkkaa mittausta tuotettua, vaan apuna pitää käyttää takymetria. Takymetria käyttämällä päästään tällaisilla alueilla tarkempiin mittaustuloksiin sekä saadaan virhemarginaalia pienennettyä. Takymetrin toimintaperiaate pohjautuu etäisyysmittarin mittaussäteeseen. Takymetri lähettää mittaussäteen, jonka jälkeen prisma heijastaa säteen takaisin takymetriin. Takymetri lukee takaisin heijastuvasta säteestä kaltevan etäisyyden millimetrin tarkkuudella. Kalteva etäisyys muunnetaan vaakamatkaksi trigonometrian avulla. (Rantanen, Maanmittauslaskennan perusteet, 2013, s. 13)

5.3.2 VRS-teknologia GNSS-mittauksissa

Sähköverkon sijaintitietojen tallentamisessa käytetään VRS-teknologiaa GNSS-mittauksissa. Trimnet VRS palvelu tarjoaa VRS-tukiasemaverkon. Etäisyys mittaajan ja lähimmän tukiaseman välillä voi olla parhaimmillaan useita kymmeniä kilometrejä, jolloin mittaus voi hidastua.

Satelliittien havainnoima data siirtyy tukiasemiin, joista vastaanotettu data siirtyy laskentakeskukseen. Laskentakeskuksesta korjattu datahavainto siirretään virtuaalisen tukiaseman muodossa mittaajan lähelle. Vantaalla sijaitsevassa laskentakeskuksessa mallinnetaan ja korjataan ympäri Suomea olevista tukiasemista saatua satelliittidataa. Kun satelliittidata on saatu mallinnettua, voidaan mittaajan lähelle luoda virtuaalinen tukiasema. Virtuaalinen tukiasema nopeuttaa mittausa merkittävästi. Yli sata GNSS-tukiasemaa ympäri Suomea ja Vantaan laskentakeskus muodostavat Trimnetin tukiasemaverkon. (Trimnet VRS-palvelu, ei pvm)

5.4 Sijaintitietojen tarkkuus

Uusien sähköverkkojen osalta tarkkuusvaatimukset ovat tiukemmat kuin vanhojen sähköverkkojen osalta. Tarkimpaan mittaustulokseen päästään haastavissa katveisissa alueissa käyttämällä vastaanotinta sekä takymetria. Pelloilla ja aukeilla paikoilla tarkkaan mittaamiseen riittää vastaanotin ja tallennin. Kaapelireittien ja verkon kohteiden sijaintitietojen tarkkuus noudattaa verkostosuosituksia YJ 16:14. Syvyystiedon osalta tarkkuusvaatimus on ± 5 cm kaikilla alueilla (Uusi määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta, 2020). Taajama-alueella x- ja y-koordinaattien tarkkuusvaatimus on enintään ± 10 cm ja haja-asutusalueilla ± 25 cm (Uusi määräys verkkotietojen ja verkonrakentamissuunnitelmien toimittamisesta, 2020). Käytössä olevilla työvälillä päästään pääsääntöisesti kaapelireittien osalta tarkempaan tulokseen kuin verkostosuositus. Syvyystietojen osalta verkostosuositukseen päästään mittaamalla avonaisista ojista sekä jännitteettömistä kaapeleista. Käyttöön otetuissa kaapeleissa vaaditaan poikkeuksetta kaivajilta oma syvyystietohavainto, johon voidaan verrata mittaustuloksia.

Kaapelireitit mitataan korkeintaan kahdeksan metrin välein suorilta osuuksilta. Mittauspisteiden etäisyys toisistaan määräytyy sen mukaan, onko kaapelireitillä mutkia tai esteitä. Kaapeleiden kääntopisteet mitataan tiheämmillä etäisyyksillä niin, että kaapelireitistä saadaan todellinen havainto, kuinka kaapeli etenee maastossa. Teiden alitukien mittaaminen voi olla haastavaa tiheään liikennöidyillä tieosuuksilla, tällöin mittauspisteet otetaan molemmin puolin tietä. Kuvan 11 mukaisesti kaapelit voivat tehdä jyrkkiäkin mutkia kaapeliojassa esimerkiksi muuntamon

lähdöt. Maakaapelijatkosten kohdalla ei voi olla mutkaa, koska jatkot pitää tehdä suoralle kaapeliosuudelle.



KUVA 11. PJ-kaapeli tuotu puistomuuntamon sisään (Tikkanen, 2021).



KUVA 12. Kaapelit voivat tehdä jyrkkiä mutkia myös reitin varrella (Tikkanen, 2021).

TAULUKKO 2. Muovikaapeleiden pienimmät sallitut taivutussäteet kaapelinvedossa, d = kaapelin ulkohalkaisija (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, s. 88)

Yksijohdinkaapelit esim. AMMK, HMCMK, AHXCMK	15 x d
Monijohdinkaapelit jännite 0,6/1 kV esim. AMCMK, AXCMK, MCMK, AXMK	12 x d
Jännite yli 0,6/1 kV esim. HMCMK, AHXCMKM	15 x d
Jännite yli 0,6/1 kV esim. AHXAMK-W	10 x d

TAULUKKO 3. Massakaapeleiden pienimmät sallitut taivutussäteet kaapelinvedossa, d = kaapelin ulkohalkaisija (Monni, Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt, 2002, s. 88)

Monijohdinkaapelit lyijyvaippa ja korrugoitu alumiinivaippa esim. PLKVJ	15 x d
Sileä alumiinivaippa APAKM	25 x d
Kolme-vaippaiset alumiinikaapelit APAYAKMM	20 x d

Mikäli kaapeleita on useampia ojassa ja muodostuu ns. kaapelimatto, otetaan mittauspiste kaapelimaton keskikohdasta. Mittauksissa käytetään ETRS89-TM35 (ESPG3067) koordinaatistoa. Muita koordinaatistoja ei käytetä. Koordinaatisto on myös verkostosuosituksen YJ 16:14 mukainen.



KUVA 13. Kaapelimatton sijainti mitataan keskeltä kaapelimattoa ja kaapeleiden lukumäärä merkitään mittauksen yhteydessä (Tikkanen, 2021).

Virheiden ilmaantumista mittauksissa pyritään välttämään kalibroimalla mittauslaitteet säännöllisesti, sekä analysoimalla mittaustuloksia jokaisen mittauksen jälkeen. "Mittauksen osalta virhettä voidaan arvioida yhtälön avulla

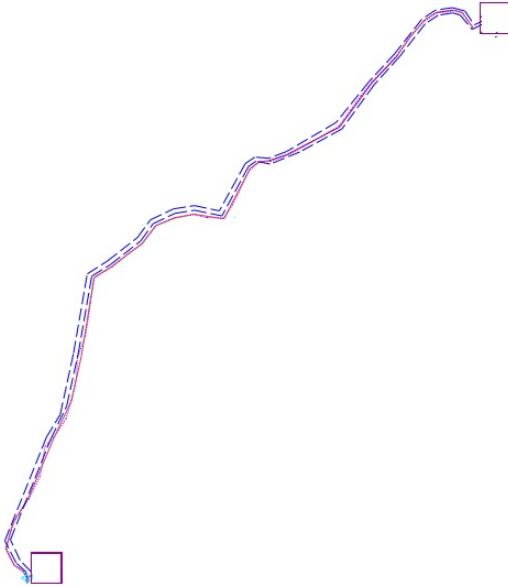
$$e_i = l_i - L_t, \quad (5)$$

jossa e_i tarkoittaa havainnon virhettä, l_i suureen havaittua arvoa ja L_t suureen todellinen arvo. Jos havainnon virhe tunnetaan, havainto voidaan korjata vastakkaismerkkisellä korjauksella:

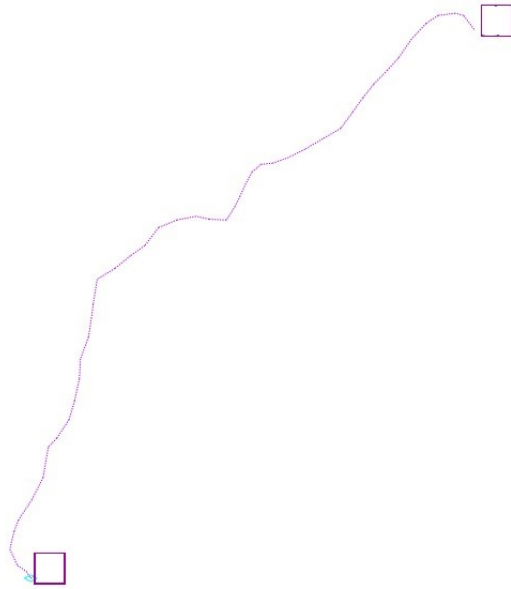
$$\begin{cases} k_i = -e_i \\ L_t = l_i + k_i' \end{cases} \quad (6)$$

jossa e_i on havainnon virhe, k_i on virhettä vastaava korjaus, l_i on suureen havaittu arvo ja L_t on suureen korjattu arvo" (Laurila, Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet, 2012, s. 34).

Kuvassa 14 näkyy mittaustiedosto, joka on muunnettu tky-tiedostoksi ja siirretty verkkotietojärjestelmään. Kuvassa näkyy muuntamoiden välisen johtosiirron verkonrakennustyön suunnitelma ja mitattu reitti päällekkäin. Kuvassa 15 näkyy pelkkä tky-tiedosto, joka on tuotu verkkotietojärjestelmään.



KUVA 14. Esimerkki sijaintimitatusta muuntamoiden välisestä johtosiirron suunnitelmasta. Kuvassa näkyy suunnitelma katkoviivalla ja mittaus kiinteällä viivalla päällekkäin (Trimble Nis, 2021).



KUVA 15. Esimerkki samasta KJ-linjasta kuin kuvassa 14. Tässä näkyy vain mitattu reitti (Trimble Nis, 2021).

5.5 Työturvallisuus

Työohjeissa on huomioitu sähköverkon sijaintikartoitukseen liittyvät työturvallisuusriskit. Eltel Networks Oy:n Veikkolan toimipisteessä sähköverkon sijaintikartoituksia tekevät sähköalan ammattihenkilöt. ”Sähköalan ammattihenkilöllä on soveltuva koulutus ja kokemus, joiden perusteella hän kykenee arvioimaan riskit ja välttämään sähkön mahdollisesti aiheuttamat vaarat” (Rousku & Mäkinen, 2017, s. 37). Käytännöt vaihtelevat toimipisteittäin. Sähköverkon sijaintikartoittajat muiden alueiden toimipisteissä eivät ole välttämättä sähköalan ammattilaisia vaan, esimerkiksi maanmittausalan ammattilaisia.

Sähköverkon sijaintikartoituksen tekemiseen liittyy työturvallisuusriskejä, jotka on huomioitava työtä tehdessä. Pääasiassa työturvallisuusriskit painottuvat muuntamoissa ja jakokaapeissa työskentelyyn. Vaativassa maastossa kulkeminen tuo myös omat riskinsä. Mikäli kartoitettava kohde sisältää käyttöönotettuja muuntamoita ja jakokaappeja, on työ luonteeltaan työskentelyä jännitteisten osien läheisyydessä. Tällöin on syytä huomioida oikeat turvavälit jännitteisiin osiin. Muuntamoissa jännitteisten osien läheisyydessä tehtävän työskentelyn lisäksi tulee huomioida

myös muuntamon kaapelikellarissa työskentelemisen riskit sekä muuntamoista poistumiseen liittyvät riskit.

Sijaintikartoitukseen liittyvät työt tulee suunnitella siten, että ne voidaan tehdä riittävän kaukana jännitteisistä osista tai jännitteiset osat tulee suojata tilapäisillä suojilla. Käyttöön otetuissa kaapeleissa tulee huomioida sähköiskun vaarat esimerkiksi vaurioituneet kaapeleiden eristeet sekä löysät liitokset. Kaapelinhakulaitteiden käyttämiseen kuuluu erilaisten kytkentöjen tekeminen kaapeleihin. Galvaanisen kytkennän osalta ennen kytkentää, tulee todeta kaapelin jännitteettömyys PJ-kaapeleissa jännitteenkoettimen avulla. KJ- kaapeleissa voidaan mitata pihittimittarin avulla maakaapeleiden kuormia muuntamon ulkopuolella.

Pienjänniteverkossa työskentelemisen vaaroissa on omat erityispiirteensä. Suuri-impedanssinen vika ei välttämättä laukaise sulakkeita, koska jokaisella vaiheella on oma sulake. Joissain vikatilanteissa, esimerkiksi kaivajan osuessa kaapeliin, voi osa vaihejohtimista jäädä jännitteiseksi. Pienjännitteisen verkon vaaroihin tulee suhtautua samalla vakavuudella kuin keskijänniteverkon vaaroihin. Aina ennen työskentelyn aloittamista tulisi tehdä silmämääräinen tarkistus verkon kohteille.

Jännitteisten kaapeleiden reittitiedon selvittämiseksi joudutaan olemaan jossain tapauksissa fyysisessä kosketuksessa kaapeleiden kanssa. Tällöin on tärkeää tehdä riskinarviointi. Tarkistetaan kaapeleiden eristeiden kunto siltä osin kuin niihin joudutaan koskemaan. Vaurioituneista johtimien eristeistä voi saada sähköiskun, esimerkiksi viilto eristeessä, jonka sähkö läpäisee. Tämän vuoksi aina kun jännitteisiä kaapeleita käsitellään, tulisi käyttää oikeita suojavälineitä mm. jännitetyökäsineitä, palonkestävää työtakkia ja housuja.

Kun jakokaapeissa ja muuntamoissa tehdään kaapelin paikantamiseen liittyviä kytkentöjä haettuun kaapeliin, tulee varmistaa, että sivulliset eivät pääse kytkentäalueelle. Tämä voidaan varmistaa laittamalla jakokaapin ja muuntamoiden ovet lukkoon mittauksen ajaksi.

Jännitteisten kaapeleiden paikantamiseksi liittyvissä kytkennöissä sovelletaan taulukon 4 (SFS-6002) mukaisia etäisyyksiä jännitteisiin kohteisiin.

TAULUKKO 4 Y.1 SFS-6002 Työturvallisuus. Liite Y- Jännitetyön tekeminen (SFS 6002:2015 + A1:2018, 2018)

Nimellisjännite U_N kV	Jännitetyöalueen ulkorajan mitta D_{L1} m	Jännitetyöalueen ulkorajan mitta ilmajohdoilla ¹ D_{L2} m
≤ 1	Ei kosketusta	0,5
3	0,22	1,5 (1,0)
6	0,25	1,5 (1,0)
10	0,35	1,5 (1,0)
20	0,40	1,5 (1,0)
30	0,56	1,5 (1,0)
45	0,63	1,5 (1,0)
110	1,0	1,5 (1,2)
220	1,6	2,0
400	2,5	3,5

5.6 Silmämääräinen tarkistus verkonkohteille sijaintikartoituksen yhteydessä

Sähköverkon sijaintikartoitusta tehdessä kiinnitetään huomiota siihen, että verkon kohteet ovat merkitty maastossa oikein. Verkon kohteille tehdään silmämääräinen tarkistus, jotta voidaan todeta tilaajan vaatimusten täyttyminen uusien verkon kohteiden osalta.

”Mikäli puutteita tai epäkohtia on havaittavissa sijaintikartoitusta tehdessä, ohjeistetaan työntekijää tekemään puuteilmoitus tai turvallisuusilmoitus TQM-sovelluksen kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että puutteesta otetaan kuva ja se ladataan sovellukseen selkeän selityksen kanssa. Ilmoituksesta tulee käydä ilmi, millaisesta tapaustyyppistä on kyse, esimerkiksi laatupoikkeama, parannusehdotus tai vaaranpaikka. Kohteesta otetaan selkeä kuva, kuten esimerkiksi jakokaappi, jonka merkintä on puutteellinen. Tämän jälkeen havainnosta kirjoitetaan selkeä kuvaus, mikä esimerkiksi merkinnässä on aiheuttanut puutteen. Ilmoitukseen tulee kirjata välittömät korjaavat toimenpiteet, joita havainnolle on tehty” (Tikkanen, Ohjeistus sähköverkon sijaintikartoitukseen tilaajan sähköverkossa, ss. 17-18)

Laadukkaan palvelun tuottamiseen kuuluu, että asennettavat materiaalit ovat kestäviä sekä asennustavat ovat SFS-6000 standardin mukaiset. Kaikenlaiset poikkeamat materiaaleihin ja asennuksiin liittyen raportoidaan esimerkiksi kaapelin vaipan painaumat sekä johtimien eristeiden halkeamat ja viillot. Talvipakkasella suoritettavat kaapelinvedot voivat aiheuttaa helposti halkeamia kaapelin eristeisiin. Tämän vuoksi kaapelinvedossa tulisi aina noudattaa

kaapelin valmistajan antamia pakkasraja arvoja. Raportointivelvollisuus koskee myös maadoitusjohtimia sekä suojaputkia.

Kuvassa 16 Kabeldon-merkkisessä jakokaapissa on havaittu silmämääräisen tarkistuksen yhteydessä yhden vaihejohtimen löysä liitos. Tällaiset löysät liitokset voivat aiheuttaa valokaaria sekä vakavia sähköiskuja.



KUVA 16. Jakokaapista löytynyt silmämääräisen tarkistuksen yhteydessä yhden vaihejohtimen löysä liitos (Stenholm, 2020).

Silmämääräisen tarkistuksen piiriin kuuluvat jakokaappien ulko- ja sisäpuoliset merkinnät ja niiden kunto. Jakokaappien tunnuksot sekä kytkinten merkinnät (numeroinnit ja lähtöjen suunnat) eivät saa olla ristiriidassa verkkotietojärjestelmässä olevia tietojen kanssa. Merkintöjen tulee olla myös selkeitä ja niiden kunto tulee olla hyvä. Kaapeleiden kiinnitykseen ja jakokaapin sisätäyttöön kiinnitetään myös huomiota.

Sisäpuolella olevat merkinnät pitää olla asennettuna kiinteisiin osiin niin, että ne ovat selvästi luettavissa. Käsintehtyjä merkintöjä ei saa olla sisä- tai ulkopuolella. Jakokaappien PEN- ja Vaihekiskojen merkintöjen tulee olla kunnossa, kuten myös pää- ja alilähtöjen numeroinnit ja suunnat.

6 TALLENNIN JA VASTAANOTIN SUUNNITTELUN APUVÄLINEENÄ

Suunnitteluvaiheessa voidaan käyttää apuna GNSS-tekniikkaa hyödyntävää vastaanotinta, esimerkiksi tarkassa tontinrajojen tarkistelussa sekä verkon kohteiden tarkassa sijoittamisessa maastoon. Verkkotietojärjestelmän suunnitelmissa olevat verkon kohteet saadaan tallennettua DXF-muodossa tallentimeen, jonka jälkeen verkkotietojärjestelmässä olevat verkon kohteet näkyvät tallentimen karttapohjassa. Tällä tavalla voidaan jo alkuvaiheessa tehdä tarvittavat toimenpiteet, että työ toteutetaan sillä alueella, johon on haettu sijoituslupa. Käyttämällä tallenninta ja vastaanotinta suunnittelun apuvälineenä saadaan pienennettyä reittieroja suunnitelman ja toteutuksen välillä. Sähköverkon sijaintitietojen tarkkuudella on merkitystä kaikissa verkonrakennusprosessin työvaiheissa; suunnittelussa, luvituksessa, rakentamisessa ja huolloissa.

Suunniteltavalle alueelle voidaan jo suunnitteluvaiheessa tallentaa GPS-pisteet kaapelireitistä, joka menee esimerkiksi kokonaan kaupungin alueella, jolloin riittää sijoitus- ja kaivuluvan hakeminen vain kaupungin alueelle. GPS-pisteillä voidaan merkitä erilaisia esteitä, joita suunnitellulla kaapelireitillä on.

7 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä Eltel Networks Oy:lle sisäiset työohjeistukset uuteen työvaiheeseen sähköverkon sijaintikartoitukseen Caruna Espoo Oy:n sähköverkossa. Tavoitteena oli laatia työohjeistukset, jotka kattavat kaiken keskeisen tiedon, mikä liittyi uuteen työvaiheeseen. Uusien tarpeellisten työohjeistusten myötä uusien työntekijöiden perehdyttäminen on helpompaa ja erilaisiin toimintaympäristöihin löytyy omat toimintatavat. Tuotoksen on tarkoitus toimia muistilistana uusille työntekijöille sekä tukena itsenäisessä työskentelemisessä. Työohjeistuksista tuli kolmeosaiset, jotka sisältävät seuraavat osat: yleinen perehdytys työvaiheeseen, työohjeistus kaapelinhakulaitteiden käyttämiseen ja työohjeistus satelliittivastaanottimen sekä tallentimen käyttöön. Työohjeistukset sisältävät luottamuksellisia tietoja, eikä niitä sen takia julkaista tämän loppuraportin yhteydessä. Valmiit ohjeistukset on otettu yrityksen sisäiseen käyttöön alkukevällä 2021.

Työnantajan toimeksiantona tehtiin työohjeistukset, joissa käsiteltiin uuden työvaiheen kannalta tärkeitä asioita liittyen oman työn suunnitteluun. Onnistuneen työn suorittamisen edellytyksenä ovat oikeat suunnitelmadokumentit, uusien kaapelinpaikannuslaitteiden toimintaperiaatteen tunteminen ja menetelmäkohtaiset toimintatavat jännitteettömässä sekä jännitteisessä verkossa. Sijaintimittauksia tekevän työntekijän tulee myös osata tulkita laitteiden antamia tuloksia kriittisesti. Työvaiheen suorittamiseen kuuluu myös paikannetun kaapelireitin ja verkon kohteiden tallennus tallentimelle ja mittauksien vieminen tky-muotoon.

Työohjeistukset oli laadittu niin, että tutustuttiin työvaiheeseen puolen vuoden ajan. Onnistunutta tuotosta varten piti perehtyä tilaajan vaatimukseen tarkasti sekä olla usein yhteyksissä laitevalmistajiin. Tietoa piti hakea useasta lähteestä ja perehtyä täsmällisesti aiheeseen. Oikeita toimintatapoja haettiin luotettavista lähteistä sekä omien ja muiden käyttökokemuksista. Tuona aikana mitattiin useita verkonrakennustöitä ja johtosiirtoja maastossa. Työnkuva opinnäytetyön aikana oli perehtyä aiheeseen mahdollisimman hyvin ja laatia ohjeistukset, sekä kehittää työvaihetta niin, että se saatiin mahdollisimman tehokkaasti otettua ajallaan käyttöön uusilla työntekijöillä. Tehtävänäni oli selvittää yleisimmät sudenkuopat, mitä työvaiheen tekemiseen liittyi. Dokumentointiosaston kanssa kehitettiin suuntalinjat onnistuneelle mittauksien luomiselle. Mittauksia tehdessä huomattiin, että mittauksia tekevä työntekijä voi toimia myös oman työn valvojana, koska mittauksia tehdään verkonrakennustyön jälkeen. Tällaisissa tilanteissa voidaan usein tarkistaa mittauksien yhteydessä, että tilaajan vaatimuksia on noudatettu verkon kohteiden merkinnöissä. Puutteellisia merkintöjä voi tässä työvaiheessa vielä korjata, kun tilaaja ei ole vielä vastaanottanut työtä. Verkonrakennustyön toteutuksen jälkeen on myös nähtävissä maanrakentajien työn jäljen siisteys.

Loppuraporttiin koottiin aiheen teoreettinen ja lainsäädännöllinen tausta. Opinnäytetyön loppuraportissa käytiin läpi energiaviraston laatimia verkostosuosituksia sekä liikenne- ja viestintäviraston laatimia määräyksiä liittyen maan alle sijoitettaviin maakaapeleihin ja verkon kohteisiin. Kokonaisuutena opinnäytetyö sujui suunnitelmien mukaan. Aihe oli selkeä alusta lähtien ja työ saatiin rajattua alkuvaiheessa hyvin. Opinnäytetyöllä oli selkeä tarkoitus ja tavoite.

Maakaapeliverkon topologia on tärkeä osa opinnäytetyötä, koska sähköverkon sijaintikartoitusta tehdessä pitää osata hahmottaa maakaapeliverkon rakenne. Tärkeitä taitoja ovat kyky tulkita verkkotietojärjestelmän kaapelitietoja, muuntamoiden ja jakokaappien keskuskaavioita sekä putkituskuvia. Maanalaista infrastruktuuria on paljon, etenkin pääkaupunkiseudulla, jolloin erilaisten kanta- ja johtotietokarttojen lukutaito korostuu. Kaapeleiden paikantamiseen liittyvä teknologia on kehittynyt huimasti, mutta laitteiden antamia arvoja pitää osata lukea kriittisesti ja ymmärtää mistä erilaiset arvot tulevat. Etenkin kun kaapeliojat on peitetty, eikä kaapelireitit ole näkyvillä. Erilaisilla hakumenetelmillä voidaan päästä vaihteleviin tuloksiin, siksi on tärkeää osata soveltaa oikeita työskentelymenetelmiä erilaisissa ympäristöissä. Kaapelinäytöillä ja tontinrajojen ennakkotarkistamisella voidaan säästää kuluissa paljon ja parantaa työturvallisuutta. Hyvällä perehdytyksellä saadaan työvaihe tehtyä laadukkaasti ja luotettavasti niin tilaajan kuin muidenkin sidosryhmien näkökulmasta.

Opinnäytetyön tuotos annettiin työnantajan käyttöön alkukeväällä 2021 ja työhjeistus on siitä asti ollut uusilla työntekijöillä käytössä. Onnistuneen ohjeistuksen laatimisesta kertonee se, että uudet työntekijät omaksuivat nopeasti työvaiheen suorittamisen kannalta keskeisimmät asiat. Tuotos on tehty sellaiseen muotoon, että tulevaisuudessa tulevia muutoksia voidaan lisätä ohjeistukseen jälkikäteen. Tällä hetkellä sähköverkon sijaintikartoituksia tekee toistaiseksi tilaajan pääurakoitsija Espoon ja Kirkkonummen alueella. Tulevaisuudessa jää nähtäväksi tehdäänkö sijaintikartoitukset erillisenä työvaiheena vai saadaanko ne sisällytettyä esimerkiksi maanrakennuksen tai sähköasennusten yhteyteen. Tehokkaan työvaiheen käyttöönoton vuoksi toimeksiantaja säästää kuluja ja kokonaisprosessi saadaan luovutettua tilaajalle ajallaan.

LÄHTEET

- Eltel Networks Oy. (2021). *Tietoja Eltelistä*. Haettu 18. 4. 2021 osoitteesta <https://www.eltelnetworks.com/fi/suomi/lisatietoja-eltelista>
- Geotrim. (ei pvm). *Satelliittigeometria*. Haettu 22. 2. 2021
- Laine, H. (ei pvm). *Näin keräät syvyystiedot samaan aikaan sijaintitiedon kanssa*. Haettu 3. 4. 2021 osoitteesta Geotrim: <https://geotrim.fi/yritys/blogi/blog-mmit/nain-keraat-syvyystiedot-samaan-aikaan-sijaintitiedon-kanssa/>
- Laurila, P. (2012). *Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet*. Haettu 20. 3. 2021 osoitteesta <http://www.ramk.fi/loader.aspx?id=7fe99c68-3849-4fa8-a563-9327cf51ea79>
- Miettinen, S. (2006). *GPS käsikirja*. Porvoo: Genimap Oy.
- Monni, M. (2002). *Maakaapeliverkostotyöt katu- ja tievalaistustyöt*. Hämeenlinna: Adato Energia Oy.
- Mörsky, J. (1992). *Relesuojatekniikka*. Hämeenlinna: Otatieto Oy.
- Poutanen, M. (2016). *Satelliittipaikannus*. Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry.
- Precision multifunction cable & pipe locator operation manual*. (ei pvm). Haettu 1. 2. 2021 osoitteesta Radiodetection: https://www.radiodetection.com/sites/default/files/RD8100-OPMAN-ENG_03.pdf
- Rantanen, P. (2013). *Maanmittauslaskennan perusteet*. Kajaani: Opetushallitus.
- Rousku, H.;& Mäkinen, P. A. (2017). *SFS 6002 käytännössä*. Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry.
- SFS 6002:2015 + A1:2018*. (2018). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- Stenholm, A. (2020). Haettu 18. 1. 2021
- Sähkömarkkinalaki 588/2013 110§*. (9. 8. 2013). Haettu 15. 3. 2021 osoitteesta Finlex: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588#Pidp447190256>
- Sähkömarkkinalaki 588/2013 52§*. (9. 8. 2013). Haettu 18. 4. 2021 osoitteesta Finlex: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- Sähkönsiirto ja voimajohdot*. (20. 1. 2021). Haettu 10. 3. 2021 osoitteesta Stuk: <https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohdot/sahkonsiirto-ja-jakelu>
- Tietosuoja laki 5.12.2018/1050*. (5. 12 2018). Haettu 25. 4. 2021 osoitteesta Finlex: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20181050#L5P30>
- Tikkanen, T. (2021). Espoo. Haettu 10. 2. 2021
- Tikkanen, T. (2021). Espoo. Haettu 8. 1. 2021

Tikkanen, T. (2021). Espoo. Haettu 15. 2. 2021

Tikkanen, T. (2021). Espoo. Haettu 5. 3. 2021

Tikkanen, T. (2021). Espoo. Haettu 8. 1. 2021

Tikkanen, T. (2021). Espoo. Haettu 10. 3. 2021

Tikkanen, T. (2021). Ohjeistus sähköverkon sijaintikartoitukseen tilaajan sähköverkossa.

Kaapelinhakulaitteet. Haettu 10. 3. 2021

Tikkanen, T. (ei pvm). *Ohjeistus sähköverkon sijaintikartoitukseen tilaajan sähköverkossa (Osa/vuosik.*

Perehdytys työvaiheeseen). Haettu 2. 4. 2021

Trimble Nis. (ei pvm). Haettu 25. 2. 2021 osoitteesta Trimble: <https://utilities.trimble.fi/trimble-nis-sahkoverkoille.html>

(2021). *Trimble Nis*. Haettu 17. 4. 2021

(2021). *Trimble Nis*. Haettu 3. 1. 2021

(2021). *Trimble Nis*. Haettu 3. 1. 2021

(2021). *Trimble Nis*. Haettu 17. 4. 2021

Trimnet VRS-palvelu. (ei pvm). Haettu 10. 3. 2021 osoitteesta Geotrim: <https://geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs/>

Työryhmä. (2014). *YJ 16:14 Kaapeleiden sijaintitietojen tarkkuus, tallennusmuoto, järjestelmävaatimukset ja näyttöpalvelu*. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Työryhmä. (2016). *Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4-45 kV RK 1:16*. Helsinki: Energiateollisuus ry.

Utility to go. (ei pvm). Haettu 25. 4 2021 osoitteesta Trimble: <https://utilities.trimble.fi/utility-to-go.html>

Uusi määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta. (5. 5. 2020). Haettu 20. 3 2021 osoitteesta Traficom: <https://www.traficom.fi/fi/ajankohtaista/uusi-maarays-verkkotietojen-ja-verkon-rakentamissuunnitelmien-toimittamisesta>

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009 33§. (26. 3. 2009). Haettu 27. 1 2021 osoitteesta Finlex: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205#Pidp446887088>

Vuosiraportti 2018. (2018). Haettu 25. 4. 2021 osoitteesta Caruna: https://images.caruna.fi/caruna_annual_report_2018_in_finnish.pdf