

Aleksi Ohtamaa

SÄHKÖNJAKELUVERKON MAASTOSUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN MAAN- RAKENNUKSEN NÄKÖKULMASTA

SÄHKÖNJAKELUVERKON MAASTOSUUNNITTELUN KEHITTÄMINEN MAAN- RAKENNUKSEN NÄKÖKULMASTA

Aleksi Ohtamaa
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

Tekijä: Aleksi Ohtamaa

Opinnäytetyön nimi: Sähkönjakeluverkon maastosuunnittelun kehittäminen maanrakennuksen näkökulmasta

Työn ohjaajat: Ensio Sieppi (Oamk Oy) ja Sami Laine (Despro Engineering Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2022

Sivumäärä: 64

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä sähköjakeluverkon maastosuunnitteluun sekä kehittää maakaapeliverkon maastosuunnittelua maanrakennuksen näkökulmasta.

Opinnäytetyössä käydään läpi maastosuunnittelun keskeisimmät työvaiheet sekä menettelytavat. Maastosuunnitteluun perehdyttiin maanrakennukselliset työvaiheet huomioiden. Työssä maastosuunnittelun kehittämisen pääpaino kohdistuu kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmien käyttömahdollisuuksien selvittämiseen.

Työn tuloksena saatiin kattava selvitys maastosuunnittelun kehityksen tarpeista. Työssä on esitelty koneohjausjärjestelmien käyttömahdollisuudet sähköverkon rakentamisen parissa.

Asiasanat: maastosuunnittelu, sähkönjakeluverkko, maakaapeli, maakaapeliverkko, koneohjausjärjestelmä, maastosuunnittelun kehittäminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

Author: Aleksi Ohtamaa

Title of thesis: Development of Terrain Planning of Electricity Distribution Network from Earthworks Standpoint

Supervisors: Ensio Sieppi (Oamk Oy) and Sami Laine (Despro Engineering Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022

Number of pages: 64

The purpose of this thesis was to get acquainted with the terrain planning of the electricity distribution network and to develop the terrain planning of the underground cable network from the standpoint of earthworks.

The thesis reviews the most important work phases and procedures in terrain planning. The terrain planning was studied considering the earthworks work phases. The focus of the terrain planning development work on finding out the possibilities of using excavator control systems.

The result of the work is a comprehensive study of the development needs of terrain planning. The possibilities of using machine control systems in the earthworks of an electrical network are presented in the work.

Keywords: field planning, electricity distribution network, underground cable, underground cable network, machine control system, field planning development

ALKULAUSE

Haluan kiittää työnantajaani Despro Engineering Oy:tä ja erityisesti esimiestäni Sami Lainetta opin-
näytetyön aiheesta sekä kannustavista neuvoista. Kiitokset myös Oulun ammattikorkeakoulun yli-
opettajalle Ensio Siepille työn ohjauksesta.

Lopuksi vielä suuri kiitos vaimolleni tuesta ja joustamisesta aikaa vievän työn aikana.

Oulussa 14.4.2022

Aleksi Ohtamaa

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	SUOMEN SÄHKÖVERKKO	10
2.1	Sähkönjakelu	10
2.2	Historia	13
2.3	Jakeluverkkoyhtiöt	13
3	MAASTOSUUNNITTELU	14
3.1	Projektin aloitus	14
3.2	Esiselvitykset	15
3.3	Työalueeseen tutustuminen maastossa	16
3.4	Reittisuunnittelu	17
3.5	Laitteistojen sijoitussuunnittelu	17
3.6	Lupaprosessit	18
3.6.1	Sijoitusluvut yksityisille kiinteistöille	20
3.6.2	Sijoituslupa yleisen maantien tiealueelle	22
3.7	Työpaketti	23
3.8	Suunnitelmien merkintä maastoon	24
3.8.1	Maakaapeliverkon merkkkaus	24
3.8.2	Rajat ja rajamerkit	25
3.8.3	Puiden poistot	26
4	MAANRAKENNUSVAIHE	27
4.1	Maanrakennuksen kustannustehokkuuden huomiointi	27
4.1.1	Maaperän selvitys	27
4.1.2	Haittarakenteet	29
4.2	Maakaapeliverkon rakennus	30
4.2.1	Puuston poisto	30
4.2.2	Kaapelin asennustavat	31
4.3	Kaapelireitti maantien tiealueella	35
4.3.1	Kaapelireitti yksityistien tiealueelle	38

4.3.2	Kaapelireitti taajamassa	39
4.3.3	Kaapelireitti peltoalueella	40
4.3.4	Kaapelireitti piha-alueilla	41
4.3.5	Teiden ja liittymien alitukset	41
4.3.6	Vesistöjen alitukset	44
5	KONEOHJAUSJÄRJESTELMIEN HYÖDYNTÄMINEN	46
5.1	Koneohjausjärjestelmät	46
5.2	Tietomallinnus	47
5.3	Suunnitelmat koneohjausjärjestelmiin	48
5.4	Rajatietojen vienti koneohjausjärjestelmään	49
5.5	Haittarakenteiden sijaintitiedot	51
5.6	Haittarakenteiden vienti koneohjausjärjestelmään	52
5.7	Sijaintitietojen kartoitus	54
5.8	Sijaintitietojen kartoitus koneohjausjärjestelmän avulla	57
5.9	Hyödyt	58
5.9.1	Suunnittelijalle	58
5.9.2	Maanrakennusurakoitsijalle	58
5.9.3	Verkkoyhtiölle tai työn tilaajalle	59
6	POHDINTA	60
	LÄHTEET	61

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää sähköjakeluverkon maakaapelointiprojektien maastosuunnittelun kehitystarpeita maanrakennukselliset työvaiheet huomioiden. Maanrakennusvaiheen huomiointi on erityisen tärkeää laadukkaan maastosuunnittelun toteuttamisessa, sillä maanrakennus on keskeinen osa sähköverkon rakentamista. Maastosuunnittelun tavoitteena on suunnitella kaapeleille, muuntamoille, jakokaapeille sekä muille sähköverkon rakenteille maanrakennuksellisesti toteutuskelpoiset reitit ja sijainnit. Opinnäytetyössä keskitytään maanrakennusvaiheen huomioimiseen ja siinä käsitellään kattavasti maastosuunnittelun tärkeimmät perusteet, sijoituslupaprosessit ja asennusympäristöt.

Yhtenä isona osa-alueena opinnäytetyössä perehdytään kaivinkoneiden koneohjausjärjestelmien hyödyntämisen mahdollisuuksiin maakaapelointiverkon rakennustyömailla. Koneohjausjärjestelmät ovat yleistyneet huomattavasti infrarakentamisen kohteissa, mutta sähköverkon rakentamisen parissa niitä hyödynnetään verrattain vähän. Tulevaisuudessa laajempi koneohjausjärjestelmien käyttöönotto sähköverkon rakentamisen parissa toisi mahdollisuuksia entistä laadukkaampaan ja kustannustehokkaampaan rakentamiseen.

Olen työskennellyt useampia vuosia maanrakennustyössä jakeluverkon rakennustyömailla. Tuon opinnäytetyössäni esiin omaan maanrakennuskokemukseen pohjautuvia kehitysideoita säädökset ja ohjeet huomioon ottaen sekä tuon esiin tärkeimmät maanrakennuksen kustannustehokkuutta edesauttavat ja maanrakentajaa helpottavat menetelmät, joihin laadukkaalla maastosuunnittelulla voidaan vaikuttaa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Despro Engineering Oy:n jakeluverkot toimiala. Despro Engineering Oy on vuonna 2015 perustettu, valtakunnallisesti toimiva sähkö-, tele- ja valaistusinfrantuntijapalveluita tarjoava yritys. Despro tunnetaan sloganista ”intohimoiset insinöörit”. Sloganin paikkansa pitävyys nähdään asiakastyytyväisyydessä, sillä opinnäytetyön tekohetkellä asiakastyytyväisyyskyselyn mukaan asiakkaista 98% oli tyytyväisiä tai erittäin tyytyväisiä saamaansa palveluun sekä 96% koki intohimoisen palveluasenteen näkyvän desproilaisten työskentelyssä. Toimipisteitä on yhteensä 13, ja ne sijoittuvat kattavasti ympäri Suomen palvelun mahdollisimman

joustavasti jokaista asiakasta paikkakunnasta riippumatta. Henkilöstöä on monipuolisesti eri toimialoilla ja tällä hetkellä yrityksessä työskenteleekin yli 100 asiantuntijaa. (1.)

2 SUOMEN SÄHKÖVERKKO

Sähköjärjestelmä Suomessa koostuu sähköntuotantolaitoksista, kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista, keskijännitejakeluverkoista, pienjännitejakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Suomen, Ruotsin, Norjan ja Itä-Tanskan sähkönsiirtoverkot muodostavat yhdessä yhteispohjoismaisen sähköjärjestelmän. Pohjoismainen sähköjärjestelmä yhdistyy tasasähköyhteyksin Suomen kautta Venäjän ja Baltian voimajärjestelmään. Yhteispohjoismainen sähköjärjestelmä kytkeytyy tasasähköyhteyksin myös Keski-Euroopan järjestelmään. (2.)

2.1 Sähkönjakelu

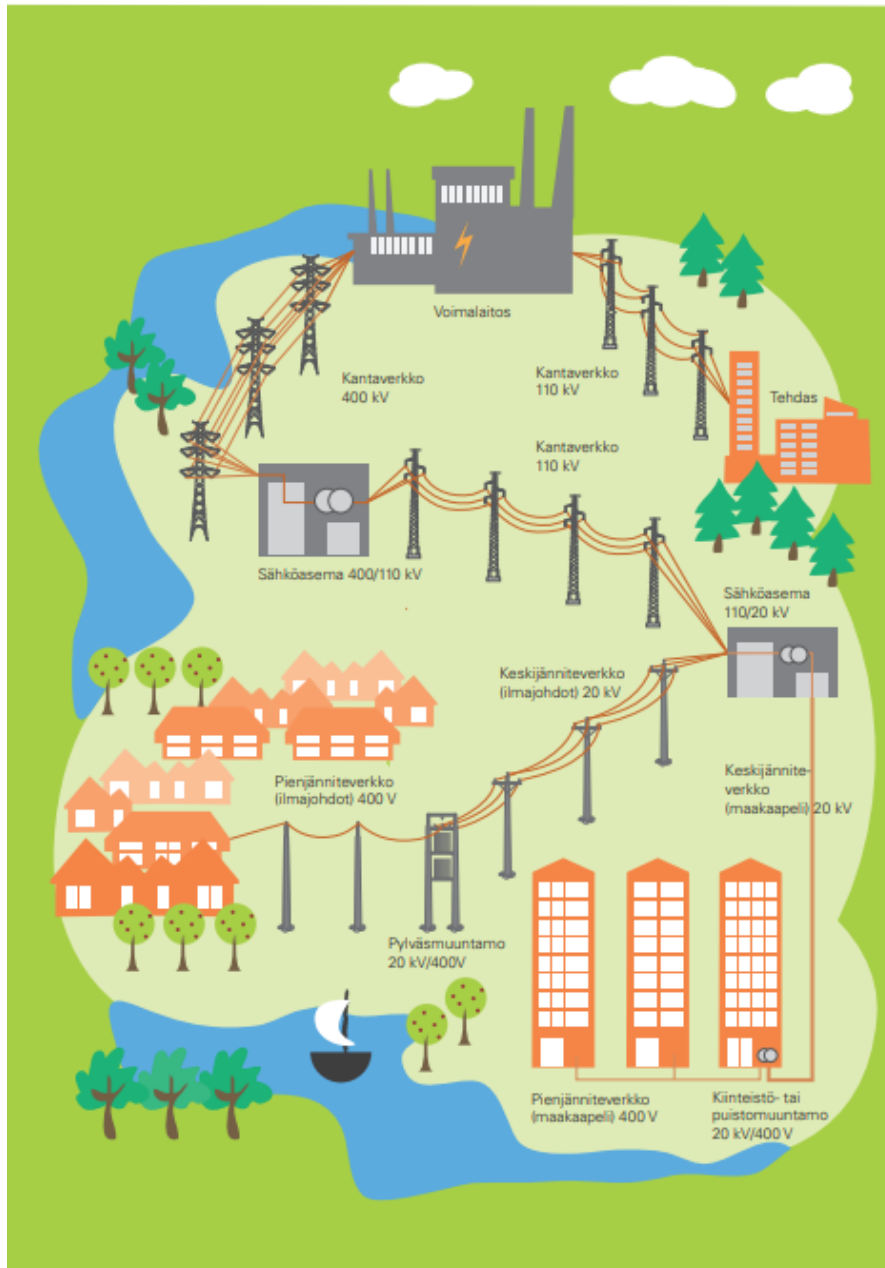
Suomen kantaverkkoa hallitsee ja kantaverkon toimivuudesta vastaa kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj. Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, johon on liitetty alueelliset jakeluverkot sekä suuremmat voimalaitokset ja tehtaot. Kantaverkkoon kuuluu 116 sähköasemaa. Kantaverkko koostuu pääasiassa ilmajohtolinjoista ja jännitetasot ovat 110 kV, 220 kV ja 400 kV. Kantaverkon sähkönsiirrossa hyödynnetään suurjännitteitä, koska suurjännitteillä saadaan minimoitua jännitehäviöt. Voimajohtolinjoja on yhteensä noin 14 400 kilometriä, josta 5 100 km 400 kV:n, 1 300 km 220 kV:n ja 7 300 km 110 kV:n voimajohtoja (Kuva 1). Fingrid vastaa myös kantaverkon valvonnasta, käytön suunnittelusta, verkon ylläpidosta, rakentamisesta ja kehittämisestä, tasepalveluista sekä sähkömarkkinoiden toiminnan edistämisestä. (2.)



KUVA 1. Fingrid Oyj:n hallinnoima Suomen kantaverkko kartalla (2)

Suurjännitteinen jakeluverkko muodostuu kantaverkkoon kuulumattomista 110 kV:n voimajohtoista. Suurjännitteiset jakeluverkot ovat liittyneinä kantaverkkoon ja siirtävät sähköä alueellisesti yhdellä tai useammalla 110 kV:n johdolla. (2.) Keskijännitejakeluverkko koostuu sähköverkkoyhtiöiden omistamista, tyypillisimmin 20 kV:n sähkönsiirtoverkoista. Myös 10 kV:n keskijännitejakeluverkkoja on käytössä. Keskijännitejakelu on toteutettu sekä ilmajohto- että maakaapeliverkkona. Keskijänniteverkon avulla siirretään sähkö sähköasemilta lähemmäs pienkuluttajia. Keskijännite

muunnetaan yleensä kotitalouksiin suoraan 0,4 kV:n pienjännitteeksi. Jonkin verran hyödynnetään myös 1 kV:n pienjännitejakelua, etenkin syrjäisillä, harvaan asutuilla ja pitkillä ilmajohtosiirtymillä. Tällöin 1 kV:n jännite muunnetaan ennen käyttöpaikkaa vielä 0,4 kV:n jännitteeksi. Kuvassa 2 on esitetty Suomen sähkönsiirron periaate kaaviokuvana.



KUVA 2. Periaatekuva Suomen sähkönsiirrosta (3)

2.2 Historia

Suomessa sähkön tuottamista kokeiltiin ensimmäisen kerran vuonna 1877 Helsingissä VR:n konepajalla. Viisi vuotta myöhemmin Finlaysonin kutomosali Tampereella valaistiin jo pysyvästi sähkövalaistuksella. Seuraavana tuotettua sähköä alettiin kohdistamaan kaupunkitalouksiin. Suurimissa kaupungeissa oli alueellisia sähkötehtaita 1920-luvulla ja pienemmissä taajamissa teollisuusyritykset tuottivat vesivoimalla sähköä lähialueille. 1920-luvulla eri puolilla Suomea noin neljäosassa kotitalouksista oli jo hehkulamppuvalaistus. Kantaverkko alkoi syntyä vuonna 1929, kun Turku ja Viipuri yhdistettiin suurjännitesiirotjohdolla Imatrankosken voimalaitokseen. Tästä alkoi koko Suomen sähköistys ja 1970-luvun puolella välissä sähköttömiä kotitalouksia oli enää noin 35 000. Viimeinen sähköä saanut kylä oli Enontekiö vuonna 1981. (4.)

2.3 Jakeluverkkoyhtiöt

Kantaverkon ja jakeluverkon välissä toimivia suurjännitejakeluverkon haltijoita on Suomessa vajaa 10 ja jakeluverkkoja ylläpitäviä sähköverkkoyhtiöitä yhteensä noin 80. Suurimpia jakeluverkkoyhtiöitä ovat Caruna Oy, Elenia Verkko Oyj ja Helen Sähköverkko Oyj. Viisitoista suurinta jakeluverkkoyhtiötä omistaa yli 70 prosenttia Suomen jakeluverkoista. Suurin osa verkkoyhtiöistä onkin pieniä ja kunnan tai kuntaenemmistöisen osakeyhtiön omistuksessa. Pienimmillä verkkoyhtiöillä voi olla sähkökuluttajia vain muutama tuhat ja toimialueena yhden kunnan alue. (5.)

3 MAASTOSUUNNITTELU

Maastosuunnittelu on yksi tärkeä osa-alue sähkönjakeluverkon rakennus- ja saneerausprojekteissa. Maastosuunnittelua lähdetään toteuttamaan yleensä rakennettavan tai saneerattavan verkon sähköteknisen suunnitelman pohjalta. Isona osana maastosuunnittelijan työtä ovat eri toimijoiden kanssa erilaisille alueille solmittavat sijoituslupaprosessit. Sähköteknisen suunnitelman toteuttaja suunnittelee alustavat reitit, joiden mukaan hän mitoittaa esimerkiksi kaapeleiden poikkipinnat. Maastosuunnittelussa pyritään etsimään ja suunnittelemaan maakaapeloinnille tai ilmajohtoverkolle mahdollisimman kustannustehokas, turvallinen ja kaikkia osapuolia miellyttävä sijainti. Tässä työvaiheessa joudutaan huomioimaan hyvin suuri määrä suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä, kuten suunnittelua ohjaavat standardit, lupien ja sopimusten vaatimukset, tilaajien ohjeistukset, lupien myöntäjien erityisvaatimukset, tulevaisuudessa tapahtuvien kaivuutöiden mahdollisuus, asennuspaikan sekä -hetken olosuhteet, haittarakenteet ja maanomistajuudet (6, s. 8). Laadukasta maastosuunnittelua työstävällä suunnittelijalla täytyykin olla hallussa monipuolista tietotaitoa sähköverkon perusteista ja rakenteista, keskustelu- ja neuvottelutaitoja sekä maanrakennuksellista ajattelukykyä.

3.1 Projektin aloitus

Maastosuunnitteluprojekti käynnistyy tutustumalla projektin lähtötietoihin. Ennen varsinaista työn aloittamista pidetään tilaajan kanssa projektin aloituspalaveri. Aloituspalaverissa käydään läpi projektin lähtötiedot, aikataulus, suunnittelun tavoitteet ja sovitaan yleiset toimintatavat, kuten projektin etenemisen tiedottaminen tilaajalle sekä seurantalaverien säännöllisyys. Sähköverkkoyhtiöillä on lähes poikkeuksetta yhtiökohtaisia toimintatapoja, jotka ovat ensisijaisen tärkeitä tiedostaa ja käydä läpi ennen maastosuunnittelun aloittamista. Projektin alkaessa järjestetään myös yrityksen sisäinen aloituspalaveri suunnittelijan tai suunnittelijoiden ja projektinjohdon kanssa. Sisäisessä palaverissa käydään läpi vielä projektissa työskentelevien kanssa yrityksen sisäiset toimintatavat ja muut käytännön asiat, kuten budjetoinnit, sisäiset raportoinnit ja mahdolliset vastuualueet. Tärkeänä osana aloituspalavereita on perehtyä yhdessä mahdollisiin työnaikaisiin riskitekijöihin ja miettiä turvalliset toimintatavat, joilla riskit saadaan minimoitua. Riskitekijöitä voi olla konkreettisia sekä välillisiä. Konkreettisia riskejä liittyy muun muassa sähköturvallisuuteen ja maastossa

liikkumiseen ja välillisiä riskejä esimerkiksi talvisuunnittelun haasteisiin havainnoida riittäväällä tarkkuudella maaston muotoja ja rakenteita.

3.2 Esiselvitykset

Ennen maastokäyntiä esiselvitysvaiheessa selvitetään alueelle osuvat erityistoimia vaativat kohteet, rakentamista vaikeuttavat tai estävät tekijät sekä erikoislupia vaativat kohteet. Rakentamisen luvanvaraisuutta silmällä pitäen selvitetään alueelta mahdolliset pohjavedensuojaukset, museoalueet, luonnonsuojelu- ja Natura-alueet, yleiset maantiet, rautatiet, kantaverkon sähkönsiirtoverkot, maaperä ja vesistöt. Olemassa olevan tekniikan haittakarttojen hankkiminen on tärkeää heti suunnittelun varhaisessa vaiheessa, jotta uusi sähköverkko voidaan suunnitella huomioiden olemassa olevat rakenteet. Esiselvitykset on tehtävä huolellisesti, sillä esimerkiksi pohjavesisuojausten päällä ei saa ajaa työkoneella eikä suojausten kohdalle saa asentaa kaapeleita tai tehdä maaperäkairauksia (7, s. 35.) Pohjavesisuojaus ulottuu yleensä ulkoluiskan yläreunaan, joten kaapelireitti voidaan sijoittaa rajoitukset huomioon ottaen tiealueen rajalle kuvan 3 mukaisesti. Pohjavedensuojausten kohdalla alitukset asennetaan suuntaporauksen avulla ulkoluiskan päältä niin, että alituksen syvyys ojan pohjasta on noin 1,5 metriä. (8, s. 11.)



KUVA 3. Kaapelireitti sijoitetaan pohjavesisuojatulla alueella suojausten ulkopuolelle, tiealueen rajalle (8)

3.3 Työalueeseen tutustuminen maastossa

Työalueeseen tutustuminen paikan päällä maastossa on tärkeä osa maastosuunnittelua, sillä maaston kaikki ominaisuudet ja maastossa olevat rakenteet eivät selviä kartta- ja tiekuvapalveluiden avulla. Ennen maastokäyntiä on hyvä olla esiselvitykset tehtynä, jolloin ne voidaan huomioida maastossa. Maastokäynnillä perehdytään sähköisten suunnitelmien mukaisiin sähköverkon rakenteiden ja reittien toteutuskelpoisuuksiin. Maastossa varmistetaan suunniteltujen muuntamoiden, jakokaappien ja muiden maanpäällisten rakenteiden sijainnit. Maastokäynnistä laaditaan muistiinpanot, joihin koostetaan alustavalle reitille osuvat muutoksia vaativat kohdat sekä haastavat maastonmuodot, maaperä ja muut huomioon otettavat asiat.

Alustavat kaapelireitit on hyvä kuvata mahdollisimman tarkasti helpottamaan toimistossa tapahtuvaa suunnittelua. Kaapelireitin tullessa tienvarteen kannattaa tien varsi kuvata molemmin puolin, vaikka alustava asennuspuoli olisikin selvillä. Näin toimittaessa pystytään tarkemmin havaitsemaan haittarakenteet ja muut huomioitavat asiat silloinkin, kun tien puolta joudutaan muuttamaan alustavasta suunnitelmasta. Maastokäynniltä tuotettua kuvamateriaalia voidaan hyödyntää lupahakemuksien liitekuvina sekä suunnitelmien tarkekuvina. Kuvamateriaaleista on hyötyä silloinkin, jos kaivuutöiden jälkeen ilmenee maanomistajan tai muun osapuolen taholta reklamaatioita aiheutuneista vahingoista tai kaivuutöiden viimeistelyn huonosta laadusta. Laadukkaan kuvamateriaalin avulla pystytään osoittamaan kaivuureitin välittömän läheisyyden alkuperäinen kunto.

Maastokäynti järjestetään yksityisten maanomistajien kanssa, maanomistajan pyynnöstä tai suunnittelijan toimesta. Käytäessä maanomistajan kanssa paikan päällä pystytään sovittamaan suunniteltava reitti ja rakenteet molempien tarpeet huomioiden kerralla niin, että lähetettäessä asiaa koskevat sopimukset allekirjoitettavaksi ei ilmene yllättäviä ongelmia. Maanomistajilla on yleensä tieto kiinteistöllä sijaitsevista maanalaisista rakenteista, joten näitä kannattaa maastokäynnillä tiedustella.

Mikäli työalueelle osuu ELY-keskuksen hallinnoimia yleisiä maanteitä, on järkevää yhdistää maastokäynti tienpitäjän edustajan kanssa pidettävään esikatselmukseen. Esikatselmuksella ELY-keskuksen edustajan kanssa ei ole pakollinen, jos kaapelit ja rakenteet saadaan sijoitettua tiealueelle tai tiealueen läheisyyteen selkeästi liikenneviraston määräysten mukaisesti. Jos tiealueelle sijoitettavalla kaapelireitillä on hankaluuksia, kuten haittarakenteiden määrä on suuri tai tiealue on kapea tai

muuten haastava, kannattaa esikatselmus järjestää. Tienpitäjän edustaja kirjaa esikatselmuksesta muistion, joka liitetään sijoituslupahakemukseen liitteeksi. Pidetty esikatselmus sujuvoittaa lupahakemuksen käsittelyä, kun suunniteltu reitti saadaan laitettua haettavaksi tienpitäjän edustajan kommentailla. (9, s. 19). Esikatselmuksessa on esimerkiksi hyvä mahdollisuus perustella tienpitäjän edustajalle kaapelireitti tien tyhjälle puolelle tapauksessa, jossa toinen puoli tiestä on jo täynnä tekniikkaa tai muuten haastava.

3.4 Reittisuunnittelu

Reittisuunnittelun tavoitteena on löytää kaapelille turvallinen, kustannustehokas ja mahdollisimman vähän haittaa aiheuttava reitti. Ensimmäisen tärkeää on saada suunniteltua asennus- ja toteutuskelppoinen reitti, joka ei aiheuta turhia haasteita maanrakennusvaiheessa. Suunnitteluprosessin sujuvoittamiseksi on kannattavaa suosia sellaisia reittejä, joissa päästään mahdollisimman vähäisillä sijoituslupasopimuksilla. Erityisesti kannattaa suosia yleisten maanteiden teialueita, kunnan tai kaupungin omistamia teialueita ja kiinteistöjä, yksityisteiden teialueita sekä suurempien maanomistajien kiinteistöjä. ELY-keskuksen hallinnoimien teiden teialueita hyödyntäen päästään monesti hyvinkin pitkiä matkoja yhdellä sopimuksella. Lupaprosessi on työläämpi ELY-keskuksen kanssa kuin esimerkiksi yksityisen maanomistajan kanssa, joten lyhyessä siirtymässä yleisen teialueen suuntaisesti on järkevää miettiä mahdollisuutta viedä reitti yksityisen maanomistajan puolelle.

3.5 Laitteistojen sijoitussuunnittelu

Suunniteltaessa sijaintia maakaapeliverkon maanpäällisille rakenteille, kuten maaseutu- tai puistomuuntamoille sekä jako- ja haaroituskaapeille tulee huomioida monia asioita. Rakenteita ei tule sijoittaa sellaisille paikoille, joissa niistä voi aiheutua perusteetonta haittaa ympäristölle. Maastosuunnittelijan tulee huomioida maastossa maaperän rakenne sekä mahdolliset tulvaherkät alueet. Maaperä tulee selvittää, sillä esimerkiksi pinnassa oleva kallio voi estää muuntamon tai jakokaapin perustamisen. Tulvaherkät sijoituskohdat voivat jäädä huomaamatta sähköisessä suunnittelussa, joten on ehdottoman tärkeää varmistaa muuntamoiden ja jakokaappien turvallinen sijainti tulvaveden näkökulmasta (10.)

Muuntamoiden sijainnit suunnitellaan sähköisen suunnittelun yhteydessä, sillä muuntajan sijainti vaikuttaa keskeisesti verkon mitoittamiseen. Maastosuunnittelussa varmistetaan muuntamon sijoittamisen mahdollisuus suunnitellulle paikalle sekä haetaan tarvittavat luvat sijoittamiselle. Muuntamon sijainnin tulee olla sellainen, että siitä on mahdollisimman vähän haittaa ympäristölle ja mahdollisimman vähän riskitekijöitä, jotka voisivat vaarantaa muuntamon turvallisen toiminnan. Erityisesti tulee huomioida tulva-alueet sekä pohjavesialueet. Pohjavesialueilla muuntamot täytyy varustaa valuma-altailla, jotka estävät muuntajan mahdollisesta vaurioitumisesta johtuvan muuntaja-öljyn valumisen maaperään.

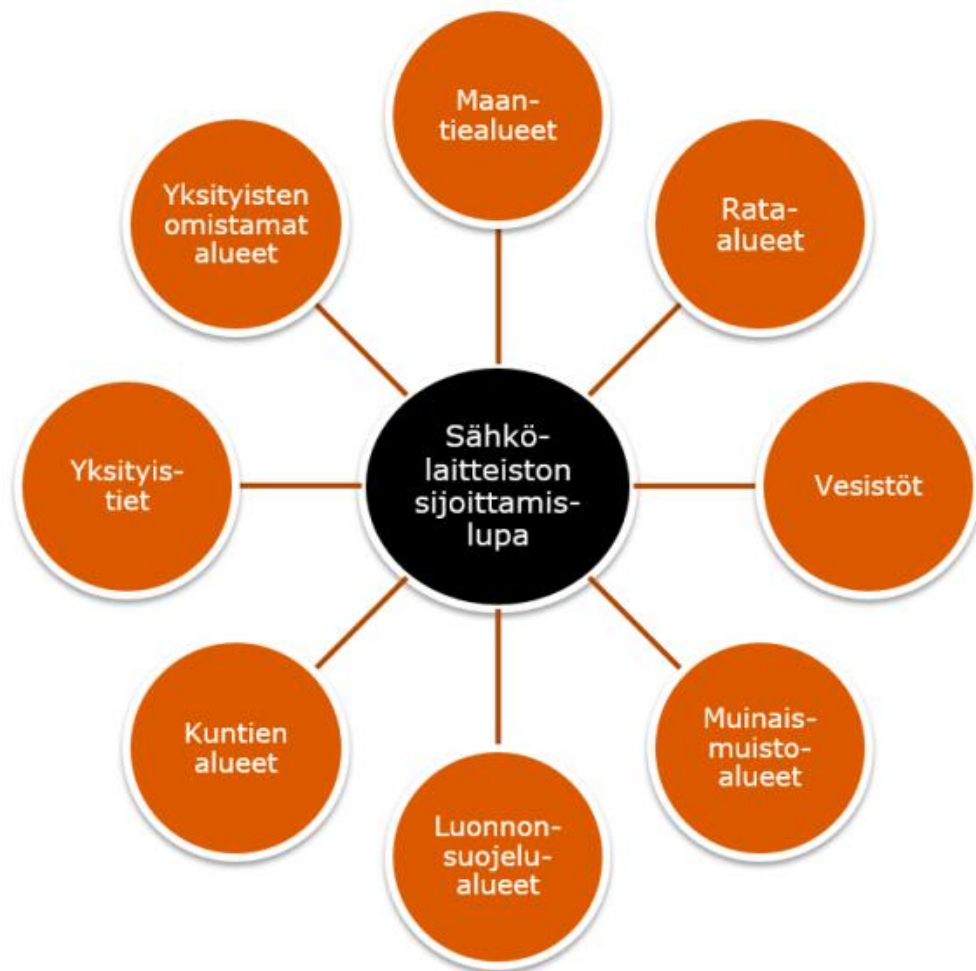
Muuntamoiden sijoittamisen mahdollistaa maankäyttö- ja rakennuslain 161 §. Muuntamon sijoittamisluvan lupaprosessi vaihtelee kunnittain. Kunnan käytännöt muuntamon sijoittamisluvan suhteen tulee selvittää kunnasta. Kuntakohtaisesti sijoittamisluvan lisäksi tarvitaan yleensä rakennus- tai toimenpidelupa, kun muuntamo suunnitellaan sijoitettavaksi yleiselle alueelle kuten puistoon. Tuetuksi toimintatavaksi on muodostunut toimenpidelupa. (11, s. 9.)

3.6 Lupaprosessit

Yksi maastosuunnittelun keskeisimmistä työvaiheista on moninaiset sijoituslupaprosessit. Sijoituslupaprosessit eroavat suunniteltavalle reitille osuvan ympäristön mukaan. Kuvan 4 mukaisesti erilaisia sijoituslupia vaativia ympäristöjä ja alueita on useita (11, s. 4). Lupaprosessit joidenkin virastojen ja suurempien toimijoiden kanssa voivat olla raskaita ja käsittelyajat pitkiä, joten lupahakemukset kannattaa laittaa hyvissä ajoin vireille. Lupahakemuksien sisältöihin ja vaatimukseen on perehdyttävä huolellisesti, jotta välttyttäisiin lisäselvityksiltä ja korjauksilta. Huolimattomasti vireille laitettut lupahakemukset voivat pitkittää lupaprosessia merkittävästi ja näin ollen venyttää myös suunnitteluprosessin aikataulua. Lupia haettaessa on huomioitava, että joillakin viranomaisilla on luvanvaraisen rakentamisen aloittamisen aikatauluun liittyviä vaatimuksia.

Maankäyttöluvat ja lausunnot on haettava sekä sijoittamissopimukset on solmittava alla olevien tahojen kanssa ennen kaivuutöiden aloittamista:

- maanomistajat (yksityiset, yhtymät, kunnat, kaupungit, seurakunnat, Metsähallitus, metsäyhtiöt)
- vesialueen omistajat, osakaskunnat ja tarvittaessa Aluehallintovirasto
- Museovirasto (muinaismuistoalueet)
- ELY-keskus (yleisten maanteiden tiealueet, perinnemaisemat, suojelualueet, ammattikalustusalueet)
- tiekunta tai kiinteistönomistaja (yksityistiet) (6, s. 14; 12).



KUVA 4. Sijoituslupia haetaan useille erilaisille ympäristöille ja alueille (11)

Risteämä- ja pitkittäisasennusluvut on haettava ja lupa on saatava ennen kuin kaivuutyöt aloitetaan sillä kohdalla. Risteämäluvissa on noudatettava lupaehdoissa mainittuja ilmoitusvelvollisuuksia ja toimintaohjeita. Risteämä- ja pitkittäisasennusluvut kuuluu hakea seuraavilta tahoilta tarvittaessa:

- Aluehallintovirasto (vesilain mukaiset luvat, kuten laivaväylien alitukset)
- Liikenneviraston määräämä taho (rautateiden risteämäluvat sekä rata-alueella rakentamisen luvat)
- Liikenneviraston määräämä taho (yleisten teiden risteämäluvat)
- kaasuyhtiöt (kaasuputkien risteämäluvat)
- Fingrid tai paikallinen verkonhaltija (110 kV:n alueverkon risteämäluvat)
- vesiosuuskunta (putkien ylitysluvat). (6, s. 14–15.)

3.6.1 Sijoitusluvut yksityisille kiinteistöille

Yksi yleisimmistä lupaprosesseista on yksityisten maanomistajien kanssa laadittavat ja sovittavat johtoalueen käyttöoikeussopimukset. Yksittäisellä verkonrakennustyömaalla suunnitellulle johtoreitille voi mahtua jopa satoja yksityisten omistamia kiinteistöjä. Maastosuunnittelijan neuvottelutaitojen onkin syytä olla kunnossa, sillä erilaisia ihmispersoonia on yhtä monta kuin maanomistajiakin. Johtojen sijoittaminen yksityisten maanomistajien kiinteistöille on joskus haastavaa monista erisyistä. Tyypillisesti haasteita tuottavat sähköverkon rakentamista kiinteistölleen vastustavat maanomistajat, kuolinpesät tai perikunnat.

Maankäyttö- ja rakennuslain 161 §:ssä säädetään johtojen sijoittamisesta yksityisen maanomistajan kiinteistölle, että kiinteistön omistaja ja haltija on velvollinen sallimaan yhdyskuntaa tai kiinteistöä palvelevan johdon sijoittamisen omistamalleen tai hallitsemalleen alueelle, jollei sijoittamista muutoin voida järjestää tyydyttävästi ja kohtuullisin kustannuksin. Sama koskee johtoihin liittyviä vähäisiä laitteita, rakennelmia ja laitoksia. Johtoa tai muuta laitetta ei saa rakentaa niin, että vaikeutetaan alueen kaavoitusta tai kaavan toteuttamista. (13.)

Suunniteltaessa sijoitettavaksi johtoreittiä tai muuta laitteistoa, kuten jakokaappeja tai muuntamoita yksityisille kiinteistöille kannattaa maanomistajiin olla jo varhaisessa vaiheessa yhteydessä, jotta

voidaan ottaa huomioon mahdolliset reittiä ehdottomasti vastustavat maanomistajat. Ensisijaisesti kannattaa koittaa neuvotella sijoituslupaa maanomistajien kanssa, mutta jos sopimukseen ei päästä tai maanomistaja ei tavoiteta, voidaan hakea sijoittamismääräystä kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta. Laki velvoittaa rakennettavan sähköverkon verkonomistajaa korvaamaan maanomistajalle aiheutuvat vahingot ja haitat. Korvausten suuruus ei ole lain määräämä, vaan korvaukset ovat yleensä verkkoyhtiökohtaisia. Mikäli maanomistajan kanssa ei päästä sopimukseen maksettavista korvauksista tai sijoituslupa on hankittu sijoittamismääräyksenä, määrittää maanmittauslaitos lunastuslain mukaisella lunastustoimituksella korvauksen suuruuden (Kuva 5) (11, s. 6).



KUVA 5. Lupaprosessi yksityisten maanomistajien kiinteistöille (11)

Verkkoyhtiöillä on käytössä omia yhtiökohtaisia sopimus pohjia johtoalueen käyttöoikeussopimuksiin. Sopimusten pohjana voidaan käyttää Energiategollisuuden yleisiä sopimus pohjia (10, s. 6). Johtoalueen käyttöoikeussopimukset on perinteisesti toteutettu paperisina sopimuksina. Sopimuksista luodaan kaksi identtistä sopimusta, jotka allekirjoitetaan maanomistajan ja verkon omistajan edustajan kesken. Sopimukseen haetaan allekirjoitukset joko paikan päällä tapaamalla maanomistaja tai lähettämällä sopimukset postitse.

Lähivuosina on enenevässä määrin alettu hyödyntämään sähköisten allekirjoituspalveluiden tarjoamia palveluita. Kokemukseni mukaan tämä on erittäin toimiva ja kustannustehokas tapa, kun väl-

tytään paperisopimusten tulostuksilta, käsin kirjoitettavilta allekirjoituksilta ja postittamisilta. Maanomistajalle välittyy sähköpostiin kutsulinkki, jonka kautta pääsee tutustumaan sopimukseen sekä hyväksymään sopimuksen vahvan tunnustautumisen avulla. Ongelmatapauksia syntyy satunnaisesti, sillä etenkin vanhemmalla väestöllä ei ole välttämättä sähköpostia käytettävissä. Näissä tapauksissa sopimukset voidaan tehdä paperisopimuksina.

3.6.2 Sijoituslupa yleisen maantien tiealueelle

Viranomaisilta haettavista sijoitusluvista yleisin on maanteiden tiealueelle haettavat johtojen sijoitusluvut. Sijoituslupa tiealueelle haetaan ELY-keskukselta. Sijoituslupien käsittelystä vastaa valtakunnallisesti Pirkanmaan ELY-keskus. Sijoituslupien käsittelyaika vaihtelee kausiluonteisesti. Talvikaudella päätös hakemuksesta voi tulla parhaimmillaan muutamassa päivässä, kun taas kevät-, kesä- ja syyskaudella käsittelyajat voivat venyä muutamista viikoista useampiin kuukausiin. ELY-keskuksen sijoituslupa tarvitaan silloin, kun maantien tiealueelle suunnitellaan sijoitettavaksi sähkö- ja telekaapeleita, ilmajohtoja tai maakaasu- tai kaukolämpöputkia. Myös tiealueen ulkopuolelle rakennettava ilmajohto tarvitsee sijoitusluvan, jos ilmajohdon johtoalue ylittää tiealueen sisäpuolelle. Myönteinen sijoituslupapäätös antaa luvan sijoittaa johtoja, kaapeleita, suojaputkia sekä näihin liittyviä muita rakenteita kuten jakokaappeja tiealueelle. Myönteisellä sijoitusluvalla saadaan työskennellä tiealueella sekä tarvittaessa muuttaa maantien nopeusrajoituksia työnteon ja liikenteen yhteensovittamisen turvaamiseksi. (14.)

Sijoituslupahakemukset laitetaan vireille ensisijaisesti ELY-keskuksen sähköisen asiointipalvelun kautta. Sijoituslupahakemus on monivaiheinen prosessi, mutta ELY-keskuksen verkkosivuilla hakemuksen laatimiseen on kattavat ja selkeät opastusvideot sekä käyttöohjeet. Järjestelmään tallentuvat avoimet sekä käsitellyt hakemukset, joten hakemuksen tekemisen pystyy keskeyttämään tarvittaessa ja jatkamaan myöhemmin sekä tarkastelemaan valmiita, aikaisempia hakemuksia. Jos sähköisen asiointipalvelun käyttö ei ole mahdollista, haetaan lupaa tulostettavien ja postitettavien lomakkeiden avulla. (14.)

Sijoituslupahakemukseen vaaditaan laajasti selvityksiä suunniteltavasta hankkeesta ja rakentamistavoista. Seuraavassa listassa on lueteltu hakemukseen liitteeksi lisättävät selvitykset ja suunnitelmat:

- esiselvitysten tarkistuslista, joka sisältyy sähköisessä asiointipalvelussa hakemuksen täyttöön
- suunniteltavan alueen lähestymiskartat, joissa mittakaavat noin 1:200 000 ja 1:50 000
- suunnitelmaportaat tiealueelle sijoitettavista kaapeleista ja suoja-putkista; suositeltava mittakaava 1:5 000 ja kaava-alueilla 1:2 000
- maaperäkartta
- poikkileikkaukset alituskohdista
- siltakiinnityssuunnitelma ja silta-asiantuntijan lausunto, kun kaapeli tai putki asennetaan siltaan
- työsuunnitelmat ja -menetelmät sekä valokuvat erikoiskohteista, kuten mahdollinen pohjavedensuojauksen läheisyydessä työskentely
- työnaikainen liikenteenohjaussuunnitelma, joka sisältyy sähköisessä asiointipalvelussa hakemuksen täyttöön
- perustelut tapauksista, joissa olisi tarkoitus toimia Liikenneviraston määräyksen tai ohjeen vastaisesti
- esikatselmusmuistio, mikäli pidetty
- tarvittaessa poikkeuslupahakemuksen liitteet (14).

Vapaaehtoisesti voi lisätä myös muita mahdollisia luvan käsittelijää helpottavia liitteitä, kuten kuva-
liitteitä maisemallisesti arvokkaiden puiden poistotarpeista.

3.7 Työpaketti

Työpaketillä tarkoitetaan työn tilaajalle toimitettavaa aineistokokonaisuutta. Työpaketin sisältö vaihtelee tilaajasta ja suunniteltavasta kohteesta riippuen. Työpaketin sisällöstä sovitaan tilaajan kanssa ennen suunnittelutyön aloittamista. Tyypillisiä työpakettiin kuuluvia aineistoja ovat muun

muassa työkartat, maanomistajakartat, puunpoistokartat, alituskartat, alituslistat, Kj-kaaviot, jako-kaappikaaviot, maadoituskaaviot, määräluettelot, purkukartat, toimenpideluvat, ELY-lupapäätökset, johtoalueen käyttöoikeussopimukset sekä haittakartat.

3.8 Suunnitelmien merkintä maastoon

Suunnitelmien selkeällä maastoon merkkauksella helpotetaan maanrakentajan työtä ja vältetään rakennusvaiheessa syntyviä virheitä. Pelkästään suunnitelmien pohjalta toteutettavan kaivuutyön vaarana on muun muassa rakenteiden asentaminen väärälle puolen sopimusten mukaisia kiinteistöjen rajoja. Olennaisena osana suunnitelmien merkkauksessa onkin rajalinjojen ja -merkkien merkkauksella. Suunnitelmien merkkikepein merkkauksella maastoon selkeyttää maanrakentajan käsitystä, miten maastosuunnittelija on ajatellut ja sopinut kaivuutyön tapahtuvan etenkin haastavissa kaivuumaastoissa, kuten ahtailla ja koristeellisilla piha-alueilla. Tärkeää on merkata myös tiedossa olevat, kaivuureille osuvat suojellut puut ja pensaat sekä muut ehdottomasti varottavat asiat.

Suunnitelmien maastoon merkkauksessa käytetään tyypillisesti puisia yläpäästä maalattuja merkkikeppejä. Merkkikeppiin kirjataan teksti, mitä merkkikeppi kulloinkin kuvaa. Maanrakentajaa helpottava tekijä on merkata kiinteistöjen rajalinjat ja -merkit sekä rakenteita ja reittejä kuvaavat merkkikepit omilla väreillään. Näin toimittaessa kaivinkoneenkuljettaja pystyy havaitsemaan kaivinkoneen ohjaamosta asti, kuvaako merkkikeppi kiinteistönrajaa vai reittiä tai rakennetta.

3.8.1 Maakaapeliverkon merkkauks

Maakaapelointityömailla on suositeltavaa merkata merkkikepein kaivuureitti, alituskohdat, putkituksen tai kourituksen alku- ja päätepisteet sekä jako- ja haarotuskaappien ja muuntamoiden sijainnit. Merkkauksella tarkkuus korostuu reiteillä, joissa kaivuureitti on suunniteltu tai sovittu maanomistajan kanssa erityisen tarkaksi. Merkkikeppeihin on hyvä kirjata selkeästi kepin kuvaama rakenne tai asia. Esimerkiksi jakokaapin numeron tai alitusputkien lukumäärän merkkauksella helpottaa rakentajaa maanrakennusvaiheessa.

Kaivuureittia merkatessa tulee merkkikepit asentaa sellaiselle etäisyydelle toisistaan, että kaivuureittiä kuvaavalta merkkikepiltä näkee seuraavalle. Näin toimittaessa kaivuulinja pysyy varmemmin tarkoitetun mukaisena. Merkattaessa rakenteita, kuten jakokaappia, lähelle kiinteistön rajaa tai muutoin sellaiseen kohtaan, jossa sijainnin tarkkuus on erittäin tärkeää, kannattaa merkkikeppi asettaa jakokaapin taakse tietyn keppiin kirjattavan etäisyyden päähän jakokaapista. Näin saadaan varmistettua jakokaapin sijainti silloinkin, kun kaivanto on pitkään auki ennen jakokaapin asennusta.

3.8.2 Rajat ja rajamerkit

Tyypillisenä ongelmana maanrakennusvaiheessa sähköverkonrakennustyömailla on kiinteistöjen rajojen epäselvyys. Omasta kokemuksesta tiedän, että lähes jokaisella suuremmalla sähköverkonrakennustyömaalla maanrakentaja joutuu olemaan tekemisissä hävinneen rajamerkin kanssa. On jopa todistetusti ilmennyt maanomistajan yrityksiä vierittää maanrakentajan vastuulle olemattomien rajamerkkien katoamisia. Rajamerkkejä häviääkin helposti kaivuutöiden seurauksena, mikäli niitä ei ole tarkasti merkattu maastoon. Uudemmat rajamerkit ovat yleensä oransseja, metallisia putkipyykkejä, jotka ovat helposti havaittavissa, mutta vanhemmat kivi- ja kivi- ja kiviröykkiömerkit voivat olla haastavia maastoon sulautuneina ja näin ollen niitä on vaikea löytää ilman koordinaattitietoja (Kuva 6).



KUVA 6. Erilaisia maastossa esiintyviä rajamerkkejä (16)

Kadonneen rajamerkin uudelleen merkkauttamiseen hyväksytään vain Maanmittauslaitoksen suorittama rajankäynti, joten maanrakentajan ylös kaivama tai kadottama rajamerkki aiheuttaa aina turhia kustannuksia. Maanmittauslaitoksen rajankäynnin hinta voi nousta helposti satoihin tai jopa

tuhansiin euroihin. Rajankäynnin hinta määräytyy kiinteistön rajaa määävien merkkien tai pisteiden ja osallisena olevien kiinteistöjen määrästä sekä käydyn rajan pituudesta. Jos suunniteltavalla kaivuureitillä on selvästi haittana oleva rajamerkki eikä sitä voida kiertää, kannattaa se siirättää ennen kaivuutöiden aloitusta. Rajamerkin siirto tällaisessa tapauksessa on edullisempaa verrattuna kadotettuun rajamerkkiin. (15.)

Maanrakennuksen näkökulmasta olisi tärkeää merkata kaikki suunnitellun reitin välittömään läheisyyteen osuvat rajamerkit merkkikepein. Maanrakennusvaiheessa joudutaan usein näkemään vaiavaa etsiessä ja varoessa merkkamattomia rajamerkkejä. Mikäli maastoon merkkamamisen yhteydessä ei löydy selvää rajamerkkiä, kannattaa koordinaattien osoittama kohta kuitenkin merkata, sillä rajamerkki voi olla hautautuneena maanpinnan alla. Näin toimittaessa rajamerkin paljastumiseen osataan varautua kaivuutöiden yhteydessä. Merkatessa kaivuureittiä kulkemaan rajalinjan mukaisesti rajalinjan tuntumassa on järkevää merkata ennemmin kiinteistönrajaa kuin kaivuureittiä ja määrätä haluttu etäisyys rajalinjasta merkkikeppiin. Kun merkataan rajalinja kaivuureitin sijasta, maanrakentaja pystyy kierrettävän haitan osuessa kohdalle havaitsemaan tarkasti rajalinjan sijainnin, jolloin vältetään asentamasta kaapelia tai muuta rakennetta rajalinjan väärälle puolelle.

3.8.3 Puiden poistot

Kaadettavaksi sovitut yksittäiset puut ja suuremmat johtoalueen raivaukset tulee merkata maastoon selkeästi. Yksittäiset poistettavat puut merkataan merkkausmaalilla tai kuitunauhalla ja laajemmat raivaukset kuitunauhan avulla. Merkkaustavasta sovitaan tarvittaessa tarkemmin puuston poistosta vastaavan urakoitsijan kanssa. Suojeltavat puut merkataan suojattavaksi tai säästettäväksi kuitunauhan tai merkkikepin avulla. (17, s. 23.)

4 MAANRAKENNUSVAIHE

Maanrakennustyöt ovat olennainen osa sähköjakeluverkkojen rakennusprojekteja. Maanrakennustyöt toteutetaan pääsääntöisesti alihankintana sähköurakointiyhtiön tai verkkoyhtiön tilauksesta. Jonkin verran löytyy myös toimijoita, jotka pystyvät tarjoamaan kokonaisurakointia suunnittelusta maanrakennukseen ja sähköasennuksiin. Maanrakennusvaihe on työmäärältään ja kustannuksiltaan suuri osa sähköjakeluverkkojen rakennusprojekteja, joten maanrakennustöiden kustannustehokkuuteen ja sujuvoittamiseen on järkevää panostaa.

4.1 Maanrakennuksen kustannustehokkuuden huomiointi

Kustannustehokkuuden huomioon ottaminen on jokaisen toimijan etu. Maanrakennuksen kustannustehokkuuteen voidaan vaikuttaa tasokkaalla maastosuunnittelulla. Kun maanrakennuksellisia kustannuksia saadaan minimoitua, se hyödyttää rakennettavan verkon omistajaa sekä verkon rakentajaa. Kustannustehokkuus otetaan huomioon säädöksiä noudattaen. Suurimpina maanrakennuksen kustannuksiin vaikuttavina tekijöinä voidaan pitää maaperää koostumusta sekä sähköverkon reitille osuvaa maastoa ja rakenteita. Optimaalisimmat olosuhteet ovat hienojakoinen maaperä, kaivuuystävällinen maasto ja haittarakenteiden vähäisyys.

4.1.1 Maaperän selvitys

Maaperän selvitys on maanrakennuksen näkökulmasta tärkeää tehdä ennen reittisuunnittelun aloittamista. Geologian tutkimuskeskus GTK:n tarjoamassa kaikille avoimessa Maankamara-palvelussa voidaan karkeasti tutkia alueen maaperä. Jos suunniteltavalle alueelle osuu kalliopaljastumaa, on asiaan erityisesti perehdyttävä tarkemmin maastokäynnillä. Kalliopaljastumia ei pystytä tulkitsemaan tarkasti karttojen avulla, joten paikan päällä maastossa tehtävän maastosuunnittelun tärkeys korostuu. Kallioisilla alueilla reitin huolellinen suunnittelu korostuu, sillä maanrakennusvaiheessa voi esiintyä yllättäviä haasteita kaapeleiden upotussyvyyden saavuttamisessa. Kriittisimpiä asennuskohtia kallioisella maaperällä ovat ojanpohjat ja teiden sekä liittymien alitukset. Teiden ali-

tuskohdat kannattaa pitää mahdollisuuksien mukaan vähäisinä, sillä huonossa tapauksessa pinnassa oleva kallio estää tien alittamisen paineilmamyyrällä tai suuntaporalla, jolloin tie joudutaan alittamaan auki kaivuuna.

Suunniteltaessa kaapelireittiä alueilla, joissa kaapeleille ei saada standardinmukaista 70 cm:n tai tilaajan tai lupaehdon edellyttämää asennussyvyyttä, täytyy kaapeleiden määräysten mukainen suojaus ottaa huomioon. Kaapeleiden asennussyvyyttä voidaan pienentää määräykset ja ehdot huomioiden mekaanisten suojausten avulla. Asennusolosuhteista ja vaatimuksista johtuen kaapelireiteille voidaan joutua louhimaan kallioon riittävä asennussyvyys. (6.) Sellaisilla alueilla, joissa olosuhteet, lupaehdot ja tilaaja mahdollistavat kaapelin asentamisen vajaasyvyisenä lujuusluokan A suojausputkeen kuvan 7 mukaisesti, kannattaa kyseistä asennustapaa hyödyntää. Kaapelin asentaminen suojausputkeen on huomattavan kustannustehokasta ja työteknisesti helpompaa verrattuna louhittavaan reittiin.



KUVA 7. Lujuusluokan A suojausputken asennus vajaasyvyiseen ja kivikkoiseen kaivantoon (18)

Suojauksena voidaan käyttää standardoimattomia kouruja, putkia ja muita suoja, jotka vastaavat taulukon 1 mukaisia lujuusluokkia. Käytettävien putkien tulee täyttää seuraavat rengasjäykkyysvaatimukset:

- lujuusluokka A: Suomen olosuhteissa putken rengasjäykkyys oltava vähintään 16 kN/m²
 - lujuusluokka B: Suomen olosuhteissa putken rengasjäykkyys oltava vähintään 8 kN/m²
 - lujuusluokka C: Suomen olosuhteissa putken rengasjäykkyys oltava vähintään 4 kN/m²
- (6.)

TAULUKKO 1. Pienjännitekaapeleiden, joissa ei ole metallista kosketussuojaa, ja keskijännitekaapeleiden suojausvaatimukset (6)

Kaapelin tai suoja-putken asennussyvyys h asennusalustan yläpinnasta	Standardin SFS-EN 61386-24 mukaisen iskunkestävyyden ja puristuskestävyyden mukaan	Standardin SFS-EN 50520 mukaisen iskunkestävyyden mukaan	Standardoimattomien suoja-putkien rengasjäykkyys
$h \geq 0,7 \text{ m}$	varoituskauha	varoituskauha	C-luokka
$0,5 \text{ m} < h < 0,7 \text{ m}$	L 450	suoja-levy, -kouru tai -kauha	C-luokka
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ piha ja puistoalueilla	N 750	suoja-levy, -kouru tai -kauha	A-luokka
$0,3 \text{ m} \leq h \leq 0,5 \text{ m}$ muilla alueilla	N 450	suoja-levy, -kouru tai -kauha	B-luokka
pinta-asennus $0 \text{ m} \leq h < 0,3 \text{ m}$ ei normaalisti liikennöitävät alueet	Pinta-asennuksissa esim. kalliolla tulee suoja-uksen kestää ympäristön rasitusta ja mahdollista satunnaista liikennöintiä. Suoja-uksena voi olla esim. 16 kN/m ² rengasjäykkyyden omaava kaapelinsuoja-putki ja riittävä betonointi tai vastaavan suoja-ajan antava muu suoja-us esim. > 60 kN/m ² rengasjäykkyyden omaava muoviputki.		

4.1.2 Haittarakenteet

Yksi yleisimmistä sähköverkon rakentamisen maanrakennustöitä vaikeuttavista tekijöistä on maan- alaiset haittarakenteet. Haittarakenteita ovat muun muassa sähkö- ja telekaapelit, maakaasu- ja kaukolämpölinjat, vesijohdot sekä hulevesi- ja viemäriputkistot. Maastosuunnittelussa haittaraken- teiden perusteellisella selvityksellä ja huomioon ottamisella saadaan merkittävästi sujuvoitettua

maanrakennustöitä. Haittarakenteiden huomiointi on ensisijaisen tärkeää taajama- ja kaupunkialueella tapahtuvan kaivuutyön suunnittelussa. Kaupunkien keskuksissa haittarakenteiden määrä kasvaa ja infrastruktuurin ollessa vanhaa, kaikkea maan alla olevaa tekniikkaa ei ole dokumentoitu. Maanrakennuksen näkökulmasta kaapelireitit kannattaisi suunnitella reiteille, joissa on mahdollisimman vähän haittarakenteita. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista. Esimerkiksi ELY-keskuksen hallinnoimien teiden tiealueille sijoitettavat kaapelit tulee ensisijaisesti suunnitella samalle puolen kuin jo olemassa oleva tekniikka. Mikäli kaapelille ei ole riittävä tilaa, voidaan kaapelireitti suunnitella tyhjälle puolelle. (19, s. 11.)

Suunnitteluprosessiin hankitaan haittakartat alueellisesta sähköverkkoyhtiöstä, kunnalta sekä johtotietopalveluista kuten johtotietopankki.fi, kaivulupa.fi ja verkkoselvitys.fi. Lisäksi ELY-keskuksen hallinnoimien teiden tiealueella sijaitsevat haittakaapelit ja johdot saadaan tietoon Liikenne- ja viestintäviraston Traficomin verkkotietopisteestä. (19.)

4.2 Maakaapeliverkon rakennus

Jakeluverkkojen maakaapelointi on yleistynyt vuonna 2013 säädetyn sähkömarkkinalain uudistuksen myötä. Vanhoja ilmajohtoverkkoja saneerataan kovaa vauhtia maakaapeliverkoksi, sillä maakaapeloinnilla saavutetaan sähkömarkkinalain uudistuksen tuomia laatuvaatimuksia, joiden tavoitteena on luoda käyttövarmuutta ja luotettavuutta sähkönjakeluun. (20.) Maakaapelointi alkoi Suomessa lähinnä maaseutujen keskijänniteilmajohtoverkkojen saneeraamisella maakaapeliverkoiksi. Näin saatiin laajimpia sähkökatkoja aiheuttavat sähköverkot suojaan luonnon aiheuttamilta myrsky- ja tykkylumivahingoilta. Nykyisin jakeluverkon saneerausprojekteissa kaapeloidaan yleisesti ottaen myös pienjänniteverkot maahan.

4.2.1 Puuston poisto

Rakennustyöt alkavat yleensä haittana olevan puuston poistolla. Yhtenä osana maastosuunnittelua onkin kaivuureitille osuvan puuston huomiointi. Puuston poistosta tulee olla valmis suunnitelma ennen kaivutöiden aloitusta. Puustonpoistokartta tehdään etenkin silloin, kun puustoa joudutaan poistamaan suurempia määriä. Puustonpoistokartasta on hyvä ilmetä lisätiedot puustonpoiston merkkauksista, raivattavan johtoalueen leveys, maanomistajien yhteystiedot, mahdolliset toivotut

pinoamispaikat ja muut tärkeät huomiot kuten suojellut puut ja luonnonsuojelualueet. Johtoalueelta kaadettavasta puustosta tulee aina sopia maanomistajien kanssa. Piha-alueilla ja muutoin maisemallisesti arvokkailla alueilla kaadettavat puut on merkattava erityisen huolellisesti.

Suurempien maanteiden tiealueilla puusto on yleensä lunastettuna tienpitäjälle. Jos puustoa on myyntiin kelpaava määrä, se myydään ja tilitetään valtiolle. Maisemallisesti arvokas puusto tulee huomioida ja tarvittava poisto havainnollistaa ELY-keskuksen sijoituslupaprosessissa. Taajama-alueilla tiealueen puiden poistoista tulee sopia kunnan rakennusvalvonnan kanssa ja tarvittaessa hakea maisematyölupaa. Viisinumeroisten maanteiden tiealueella sijaitsevat puut ovat yleensä maanomistajien omaisuutta. Tällaisten teiden tiealueelta kaadettavien puiden käsittelystä ja sijoituspaikasta sovitaan ennen kaatamista maanomistajan kanssa. Jos puita on merkittävä määrä eikä maanomistajaa tavoiteta, sovitaan asiasta paikallisen metsänhoitoyhdistyksen kanssa. (7, s. 40.)

4.2.2 Kaapelin asennustavat

Kaapelin asennustavan valitseminen kuuluu harvemmin maastosuunnittelijan tehtäviin ja vastuu valinnasta jää maanrakennusurakoitsijalle. Maanrakennusurakoitsijan tulee toimia ja noudattaa sähköverkkoyhtiökohtaisia määräyksiä. Osa verkkoyhtiöistä ei esimerkiksi salli K_j-kaapeleiden asentamista aurausmenetelmän avulla ollenkaan. Tällaiset tiedot ovat ensisijaisen tärkeitä saattaa maanrakentajan tietoon. Maastosuunnittelijan on hyvä tiedostaa asennustapojen erityistarpeet ja mahdolliset edut sekä haitat. Kaapelin asennus kaivamalla on työläämpi ja monivaiheisempi asennustapa, joten maanrakennuksellisesti ajateltuna suunnittelijan on hyvä suunnitella mahdollisuuksien mukaan kaapelireitti niin, että se voidaan tehdä auraamalla. Joissakin tapauksissa asennustapa voidaan määrätä tai suositella jo suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi museoalueilla tai muutoin arkeologisia toimenpiteitä vaativissa kohteissa museoviranomainen voi määrätä asennustavaksi kaivamisen sekä osoittaa erityisehtoja, jotka suunnittelijan tulee saattaa urakoitsijan tietoon.

Kaapelin asennus kaivamalla on yleisempi asennustapa kaupunkialueilla sekä tiheään rakennetuissa taajamissa. Kaapelit asennetaan tyypillisimmin kaivamalla, kun reitille asennettavien kaapeleiden määrä, maanalainen tekniikka tai haastava maaperä estää auraamisen (Kuva 8). Kaapelit on asennettava kaivamalla myös silloin, kun kaapelille ei ilman lisäsuojausta saavuteta vaadittua

upotussyvyyttä tai kaapelille on määrätty lisäsuojaksi esimerkiksi putkitus tai kourutus. Kaivuunetelmän avulla pystytään maksimoimaan kaapelin toimintavarmuus haastavissa olosuhteissa, sillä kaapeli pystytään suojaamaan esimerkiksi pohjätäytöllä, kaapelinsuojakourulla sekä suoja-
täytöllä (Kuva 9).



KUVA 8. Kaapeleiden suuri määrä estää aurasmenettelyn



KUVA 9. Kaapelin asentaminen kaivamalla

Maakaapelin asentaminen auraamalla on kustannustehokas sekä käytännöllinen ratkaisu silloin, kun maaperä on kohtuullisen hienojakoista ja asennettavien kaapeleiden määrä aurauksen mahdollistava. Ihanteellisimmat olosuhteet kaapelin auraukselle ovat suoraviivaiset ja vähän maanalaisia haittoja sisältävät reitit. Aurausmenetelmässä on huomattava määrä etuja verrattuna kaivuumenetelmään. Suurin etu auraamisessa on kaapelinasennustyön vähäisemmät työvaiheet, jonka ansiosta aurausmenetelmä on aikataulullisesti nopeampi. Kuvan 10 mukaisesti aurausmenetelmän hyödyntäminen vähentää jälkitöitä, sillä maasto pysyy puhtaana, kun vältetään kaivuumaiden ylösnostamiselta. Aurausmenetelmä on myös työturvallisuuden kannalta parempi vaihtoehto. Auratessa asentajien ei tarvitse kulkea kaapelikaivannossa ja näin vältetään tyypillisimmiltä vahinkoja aiheuttavilta tekijöiltä. Tyypillisimmät vahingot ovat kaivantoon putoavat kivet, kaivannon vyöryttämiset sekä kaivantoa ylittäessä, kaivantoon mentäessä taikka kaivannosta poistuttaessa tapahtuvat tapaturmat.



KUVA 10. Kaapelin asentaminen auraamalla

Maastosuunnittelija voi osaltaan olla edesauttamassa aurausmenetelmän käyttöä. Esimerkiksi suunniteltaessa kaapelireittiä tien varteen kannattaa maanrakennuksen näkökulmasta suosia säädösten ja luiskan ominaisuuksien mahdollistaessa kaapelin sijoituskohtaksi tien sisäluiskaa. Kun kaapeli sijoitetaan tien sisäluiskaan, pystytään työ operoimaan useimmiten kokonaisuudessaan tieltä. Tieltä operoitaessa ja aurausmenetelmää hyödyntäen säästetään kustannuksissa, sillä jälki-työt pysyvät vähäisinä ja työkoneiden logistinen liikuteltavuus on optimaalista.

4.3 Kaapelireitti maantien tiealueella

Maakaapelireitit pyritään usein suunnittelemaan maanteiden tiealueille, sillä maanomistajia on tällöin vain yksi ja tiealueelle kaivuutöitä tekevät rakentajat ovat ammattirakentajia, jotka pystyvät varmemmin varomaan olemassa olevaa tekniikkaa. Suunniteltaessa sähköjakeluverkon maakaapelointia maanteiden varsille noudatetaan liikenneviraston määräystä johtojen ja rakenteiden sijoittamisesta maantien tiealueelle. Liikenneviraston ohje, Sähkö- ja telejohdot ja maantiet, täydentää kyseistä määräystä. Ohjeessa käydään läpi sijoitusluvan myöntämisen edellytykset, suunnittelu- ja lupaprosessi, sijoittelun ja suojaamisen periaatteet, katselmukset sekä kaapelin asentamisen jälkeinen riskinjako. (7, s. 3.)

Kaapelireitin sijoittamisesta maantien tiealueelle tulee olla ELY-keskuksen myöntämä sijoituslupapäätös. Kaivuutöitä ei voida aloittaa ennen kuin sijoituslupapäätös on saapunut ja se on myöntävä. Sijoitusluvan mukainen suunnitelma on niiltä osin sitova, että suunnitelmien muuttuessa verkohaltijan on haettava uutta sijoituslupaa. Suunnitelmiin voidaan tietyillä ehdoilla tehdä vähäisiä muutoksia aloitus- ja välikatselmuksessa. (7, s. 94.)

Kaapelireitti suunnitellaan liikenneviraston määräyksessä ohjeistettujen yleisten sijoittamisperiaatteiden mukaisesti. Kaapelireitti tulee sijoittaa niin, että siitä on mahdollisimman vähän haittaa myöhemmin asennettaville kaapeleille, joten suositetaan suoraviivaisia reittejä ja pidetään tien alituskohdat minimissä. Uuden kaapelireitin sijoittaminen ei saa aiheuttaa jo olemassa oleville rakenteille, kuten kaapeleille, katuvalaistuksille, tiekaiteille, liikennemerkeille ja muille tierakenteille haittaa tai vaikeuttaa näiden kunnossapitoa. Vältetään sijoittamasta kaapelireittiä useasti perattavien sivuojien pohjiin sekä erityisesti ilman perusteltua syytä molemmille puolin tietä. Sijoittamista pyritään välttämään myös kaltevuudeltaan jyrkkään tai muuten haasteelliseen maastoon sekä kasvillisuutta huomattavasti vahingoittavalle reitille. (21, s. 10.)

Haittakaapelit selvitetään sijoituslupahakemusta varten, mutta myös maanrakennusvaiheen kannalta on ehdottoman tärkeää, että suunnittelija perehtyy tarkasti tiealueella jo entuudestaan oleviin töitä haittaaviin kaapelireitteihin ja muihin rakenteisiin. Selvittämättömät haittakaapelit ja niiden huomioimattomuus voivat aiheuttaa merkittäviä vaikeuksia maanrakennusvaiheessa, sillä maanrakennusvaiheessa kaapelireitille määrättyä sijaintia tienpoikkileikkauksessa ei voida enää muuttaa

ilman uutta sijoituslupahakemusta. Pienemmillä maanteillä tiealueen ollessa kapea korostuu haittakaapeleiden tarkka huomioonottaminen. Jos pienien maanteiden kapeilla tiealueilla on entuudestaan yksi tai useampi kaapelireitti, voidaan reittiä perustellusti ja helpommin hakea tien tyhjälle puolelle. Tällaisissa tapauksissa esikatselmuksen järjestäminen on kannattavaa, jolloin ELY-keskuksen edustajalle saadaan konkreettisesti esitettyä kaapelin asentamisen haastavuus muuta tekniikkaa sisältävälle puolelle.

Maanrakennuksellisesti ajateltuna helpoin sijoituskohta kaapelille olisi lähes poikkeuksetta tien sisäluiska ja se puoli tiestä, jossa ei ole vielä muuta tekniikkaa. Liikenneviraston määräys kuitenkin velvoittaa asentamaan ensisijaisesti uudet kaapelit samalle puolen tietä jo olemassa olevan tekniikan kanssa. Sisäluiskaan asentamisen ehtona on, että tie on loivaluiskainen eli maanpinnan kaltevuus sisäluiskassa on pääsääntöisesti 1:3 tai loivempi sekä sisäluiskan leveys vähintään 1,5 m. Tietyissä erityisehdoissa voidaan hyväksyä myös jyrkempi sisäluiskan kaltevuus ja kaiteen takana voidaan hyväksyä jopa 1:1,5 kaltevuus (Kuva 11). Sisäluiskaan sijoittaminen voi estyä myös tulevien tienparannushankkeiden, louheesta rakennetun luiskan tai sisäluiskassa olevan pohjaveden suojauksen vuoksi. Kaapelin sijoituskohta määritetään ELY-keskukselta haettavassa sijoitusluvassa eikä sitä voida muuttaa kaivuutyön aikana ilman uuden sijoitusluvan hakemista. Kun kaapelia päästään asentamaan tien tyhjälle puolen ja tie on loivaluiskainen, sijoitetaan ensimmäinen kaapeli 1 m:n etäisyydelle tien reunasta. Kaapelin sijainnin tienreunaan nähden tulee pysyä mahdollisimman vakiona. Jos samalla puolen tietä on jo entuudestaan olemassa olevia kaapeleita, asennetaan uusi kaapeli mahdollisimman lähelle niitä. Asennettaessa kaapelia auraamalla suositeltava asennusetäisyys olemassa oleviin kaapeleihin on vähintään 1 m. Näin toimittaessa turvataan jo olemassa olevien kaapeleiden vahingoittumattomuus. Kuvassa 12 on havainnollistettu kaapeleiden asentamista loivaluiskaisen tien sisäluiskaan. Kaapeleiden sijoittaminen tiealueelle voidaan aloittaa vaihtoehtoisesti myös tiealueen rajalta. Jos etuluiskassa on jo entuudestaan useampia kaapelireittejä ja muita haastavia rakenteita, on järkevää sijoittaa kaapelireitti takaluiskaan tai tiealueen rajan tuntumaan. (7, s. 37.)

olevalle tekniikalle. Kun kaapeli sijoitetaan rummun tai putken kohdalle, se tulee tehdä niin, että uusien kaapeleiden asentaminen myöhemmin on mahdollista. Rumpu tai putkisilta voidaan ylittää sisäluisikan puolelta, mikäli maapeite on riittävä ja rummun tai putkisillan korjaaminen onnistuu ilman kaapelin siirtämistä. Kierrettäessä rumpu tai putkisilta ojan puolelta täytyy kaapelin etäisyys rummun tai putken päästä olla vähintään 1,5 m. Jos rummun peitesyvyys on yli 1 m, täytyy kaapeli sijoittaa vähintään 2 m:n päähän rummun päästä. Ojanpohjan kautta kierrettäessä ojan kohta kourutetaan. (7, s. 59–61.)

Siltojen kohdalla kaapelit asennetaan lähtökohtaisesti sillassa oleviin suojaputkiin tai kaapelihyllyyn, jos ne soveltuvat kyseessä olevalle kaapelille. Jos sillassa olevat putket ja kaapelihyllyt eivät sovellu tai jos ne ovat jo täynnä kaapeleita, asennetaan uusi konekaivun kestävä muoviputki tai kaapelille soveltuva kaapelihylly. Putkelle tai kaapelihyllylle tulisi löytää sellainen paikka, joka ei vaikeuta tai estä sillan korjaustöitä eikä sillan ali kulkevaa liikennettä. Jos sopivaa asennuskohtaa ei löydy sillasta, täytyy se kiertää esimerkiksi suuntaporauksen avulla. Siltaan asennettavasta kaapelista on liitettävä ELY-sijoituslupahakemukseen siltakiinnityssuunnitelma ja silta-asiantuntijan lausunto. (7, s. 59–60.)

4.3.1 Kaapelireitti yksityistien tiealueelle

Yksityisteillä pätevät yleiset maakaapeliverkon asennusta koskevat lait ja standardit. Yksityisteitä ylläpitävät yksityisistä maanomistajista ja tieosakkaista koostuvat tiekunnat ja tienhoitokunnat.

Kaapelin sijoitusluvista yksityistien tiealueelle sovitaan ja tehdään sopimukset tiekunnan tai tienhoitokunnan puheenjohtajan kanssa. Tiekuuntiin on syytä olla suunnittelun varhaisessa vaiheessa yhteydessä ja tiedustella heidän näkemystensä kaapelireitin sijoittamisesta tien varteen sekä tiealueen leveyttä tai rajoja. Riippuen tiekunnasta kaapelireitin sijoittamislupa tiekunnan tiealueelle voi vaatia useiden maanomistajien hyväksymisiä ja suuremmissa tienhoitokunnissa päätösten teko voi olla hidasta ja kankeaa, joten siihen kannattaa varautua hyvissä ajoin. Tienkunnilta on järkevää tiedustella myös mahdollisia tulevia tieremontteja, rumpujen vaihtoa ja ojien perkauksia, jotta nämä voidaan ottaa huomioon kaapelireitin suunnittelussa. Tien alittavat ojarummut kierretään pääsääntöisesti ulkoluisikan puolelta, jotta kaapeleille ei aiheudu vaaraa mahdollisen rummun vaihdon yhteydessä.

Vuonna 2018 säädetyn yksityistielain 560/2018 mukaisesti kiinteistöä tai yhdyskuntaa palvelevan maakaapelien sijoituslupan yksityistien tiealueelle myöntää tiekunta, tai mikäli tiekuntaa ei ole perustettu, tieosakkaat. Kiinteistönomistajan suostumusta ei tässä tapauksessa tarvita. Yksityistien tiealue on tieoikeutta perustettaessa määrätty alue, mutta jos tien sijainti poikkeaa tästä, pidetään tiealueena vakiintunutta tiekäytössä olevaa aluetta, edellyttäen ettei tästä ole erimielisyyksiä asianomistajien kesken. (22.)

Suunniteltaessa kaapelointia yksityistien varteen on maastokäynti lähes poikkeuksetta pakollinen, sillä yksityisiä teitä ei löydy tiekuvapalveluista. Maastokäynti kannattaa sopia myös tiekunnan edustajan kanssa, jotta erityistarpeet ja toiveet voidaan huomioida kumpaakin osapuolta tyydyttävällä tavalla. (12.) Suositeltavaa on kuvata maastokäynnillä tien molemmat puolet, jolloin laadukasta suunnittelua voidaan maaston yksityiskohdat huomioon ottaen hoitaa toimistolta.

Kaapelireitti suunnitellaan sijoitettavaksi niin, ettei siitä aiheudu haittaa tien ja tiealueen normaalille kunnossapidolle (12). Maanrakennuksen näkökulmasta yksityisteiden tiealueilla kaapelit kannattaa sijoittaa sisäluiskaan, koska tällöin maanrakennustyöt ovat helpoimmin toteutettavissa. Yksityisteillä kaapelien sijoituslupa etuluiskaan saadaan helpommin kuin yleisillä maanteillä, sillä yksityisteihin ei kohdistu vastaavanlaisia määräyksiä. Sisäluiskaan asentamisella vältetään varmemmin yksityisten maanomistajien kanssa tehtäviltä johtoalueen käyttöoikeussopimuksilta ja puuston kaadolta. Maastosuunnittelijan on kuitenkin huomioitava sisäluiskan ominaisuudet. Jos tie on kapea ja sisäluiskan kaltevuus jyrkkä, on mietittävä reittiä ulkoluiskan puolelle, jotta vältetään tien rakenteiden vahingoittumiselta.

4.3.2 Kaapelireitti taajamassa

Taajamissa kadut ovat pääsääntöisesti kaupungin tai kunnan omistuksessa. Taajamissa on kannattavaa hyödyntää kunnan maa-alueita mahdollisimman laajalti, koska tällöin vältetään yksityisten kiinteistönomistajien sopimuksilta. Tämä on omiaan sujuvoittamaan lupaprosessia, sillä kunnan kanssa päästään yleensä helpommin sopimukseen kaapelointireiteistä ja maanpäällisistä rakenteista, kuten jakokaapeista ja puistomuuntamoista.

Suunniteltaessa maakaapelointireittiä taajama-alueilla on otettava huomioon suuri määrä erilaisia haittatekijöitä. Etenkin uudemmilla sekä jo osittain maakaapeloiduilla taajama-alueilla on maanalaista tekniikkaa paljon. Kaapeloitavalta alueelta selvitetään kaiken olemassa olevan tekniikan, kuten kunnallistekniikan, kaukolämpöputkien ja kaapeleiden sijaintitiedot. Tärkeää on myös perehtyä kunnan voimassa ja vireillä oleviin kaavoituksiin. Kaavoitustiedot saadaan kunnasta kysymällä tai kunnan verkkosivuilta. Kaapelireitit ja maanpäälliset rakenteet on suunniteltava niin, että niistä aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa kaavoitetuille kiinteistöille ja rakenteille. Suunnittelun yhteensovittamisessa kaavoituksen kanssa kannattaa tehdä tiivistä yhteistyötä kunnan kanssa. Tiiviin yhteistyön avulla vältetään sopimusten allekirjoitusvaiheessa kunnan puolelta ilmeneviltä reitin muutostarpeilta.

Taajamissa maanrakennuksellisia haasteita tuovat alitettavien katujen, teiden ja pihaliittymien sekä haittarakenteiden suuret määrät. Eteneminen kaivuuteknisesti taajamassa on yleensä työlästä, kun joudutaan varomaan olemassa olevaa tekniikkaa ja rakenteita sekä alittamaan teitä ja asfalttiliittymiä. Asutusalueilla pihaliittymien ja teiden tiheys hankaloittaa kaapelointia huomattavasti. Maasto-suunnittelussa kannattaa mahdollisuuksien mukaan minimoida teiden ja liittymien alituskohdat. Maanrakennustyötä asutusalueilla voidaan helpottaa suunnittelemalla pihaliittymien alitukset auki kaivuuna, jolloin kaapeleiden asentaminen helpottuu. Auki kaivettavista liittymistä on sovittava kuitenkin kunnan ja liittymänomistajan kanssa.

4.3.3 Kaapelireitti peltoalueella

Pellon reuna on tavanomainen kohta maakaapeloinnin sijoittamiselle. Pellot rajoittuvat useasti tienvarsiin, jolloin kaapeloitaessa ulkoluiskaan tai ulkoluiskan päälle ollaan tekemisissä pellon kanssa. Monesti pellot saattavat yleisten maanteiden varsilla ylettyä tiealueen sisäpuolelle. Tällaiset tapaukset eivät vaadi luvallisia toimenpiteitä, jos kaapelille on saatu sijoituslupa ELY-keskukselta. Kaapeloinnin sijainnin osuessa viljellylle alueelle on perusteltua merkata suunnitelmiin asennussyvydeksi vähintään 1 m, jotta pellon maanmuokkaustöissä kaapeliin kohdistuva vaara voidaan minimoida. (7, s. 41.)

Suunniteltaessa kaapelireittiä peltoon on otettava huomioon mahdollinen pellon salaojitus. Salaojaputkien asennussyvyys on tyypillisesti noin 1,0–1,2 m (23, s. 10). Salaojitetusta pellostä on

yleensä purkuputkia pellon vierustalla kulkeviin ojiin. Etenkin kaapelireitin kulkiessa reilusti pellon puolella tai pellon lävitse on salaojat ensisijaisen tärkeää huomioida. Mahdollisten salaojien, sala-ojakaivojen ja purkuputkien tarkempaa sijaintia on järkevää tiedustella pellon omistajalta, jolloin näistä voidaan kirjata huomioita työkarttoihin sekä tarpeen tullen merkata maastoon. Suuri aineellisen vahingon vaara syntyy, jos maanrakentaja asentaa kaapelia aurasmenetelmän avulla peltoon, joka on salaojitettu eikä salaojituksia ole tiedossa. Salaojien rikkoontuminen ei ole maastosuunnittelijan vastuulla, mutta on kaikkien kannalta suotuisaa selvittää salaojat suunnitelmavaiheessa, sekä lisätä niistä huomiota suunniteltaviin työkarttoihin. Työkarttoihin tehtäviin huomioihin kannattaa lisätä, että maanrakentaja on velvollinen korjaamaan rikkoutuneen salaojaputken vahingon tapahtuessa.

4.3.4 Kaapelireitti piha-alueilla

Piha-alueilla kaapelireitin huolellinen suunnittelu yhteistyössä kiinteistön omistajan kanssa on ehdottoman tärkeää. Piha-alueet ovat monesti haasteellisia kaivuutöiden osalta ja vaativat maanrakentajalta erityistä huolellisuutta. Kaivuureitin yksityiskohtaisen maastosuunnittelun tarve korostuu, kun piha-alueella on kasvillisuutta, laatoituksia, asfaltointeja, rakennelmia sekä maanalaista tekniikkaa. Maanomistajan toiveet kaivuureitille on syytä toteuttaa mahdollisimman kattavasti, jotta vältytään vaikeuksilta. Piha-alueilla korostuu kaivuureitin kuvaamisen tärkeys. Kuvien avulla voidaan helposti ja luotettavasti osoittaa tarkekuvana tarkka kaivuureitti. Kuvat toimivat todisteina tuissa piha-alueen kaivuiden seurauksena syntyvissä reklamaatiovaateissa.

4.3.5 Teiden ja liittymien alitukset

Yleisten maanteiden tiealituksien rakentamistapaa ohjaa Liikenneviraston määräys johtojen ja kaapeleiden sijoittamisesta maanteiden tiealueilla. Määräys velvoittaa valitsemaan alituskohdan lähtökohtaisesti niin, että alituksen toteuttaminen onnistuu ilman maantien auki kaivamista. Kaivamalla toteutettava alitus sallitaan ainoastaan sorapintaisilla maanteillä, joissa keskivuorokausiliikenne on enintään 100 ajoneuvoa vuorokaudessa sekä katumaisten teiden, jalankulkuväylien ja pyöräteiden alituksissa silloin, kun alituskohta on perustellun ahdas ja liikennemäärään nähden on käytettävissä tarpeen täyttävä kiertotie. Erityisestä ja perustellusta syystä lupaviranomainen voi myöntää luvan

auki kaivettavalle alitukselle myös silloin, kun alitus kaivamatta ei ole lähialueella mahdollinen maaperän haastavuuden tai muun esteen vuoksi. Alituskohdan valinnassa tulee huomioida, että alitusmenetelmä ei saa aiheuttaa vahinkoa tien pintaan eikä johto, suojarakenne tai kaivantotäyte aiheuttaa painumaeroja tai routanousueroja. Alituskohta suunnitellaan kallioisilla alueilla mahdollisuuksien mukaan sellaiseen kohtaan, jossa vältytään louhinnalta tien läheisyydessä. (7.)

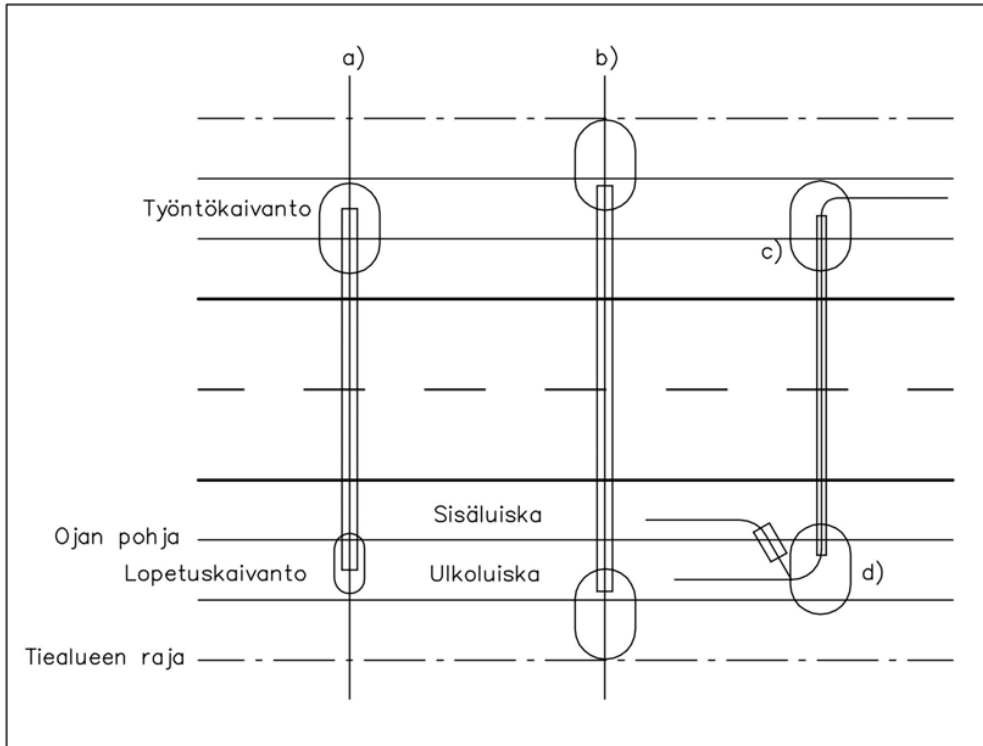
Yksittäiset maanteiden tai siihen kuuluvien jalkakäytävien ja pyöriteiden alitukset eivät välttämättä tarvitse ELY-keskukselta haettavaa sijoituslupaa, vaan alituksista tehdään ilmoitus ELY-keskuksen ilmoitusmenettelyn kautta. Yksittäiset alitukset ovat luvanvaraisia, jos alitus koskee moottori- tai moottoriliikennetietä, alueella on pohjavedensuojaus, toimenpide vaatii louherakenteen käsittelyä tai alituksen etäisyys rummun, alikulkusillan tai putkisillan rakenteesta on alle 5 m tai muun sillan rakenteesta vähemmän kuin 25 m. (24.)

Haettaessa ELY-keskukselta kaapeleiden sijoituslupaa täytyy mahdolliset tien alitukset ilmoittaa hakemuksessa. Alituskohta lisätään sähköisen asiointipalvelun ”Lisää pistemäinen kohde” -toiminnon avulla. Toiminnolla alituskohta voidaan valita kartalta, jolloin tieosoitetta ei tarvitse syöttää käsin. Toiminnon ilmoittama alituksen tieosoite merkitään hakemukseen liitteeksi lisättävään työkarttaan alituksen kohdalle. Lisättäessä alitusta hakemukseen valitaan asennustyyppiä tien alitus ja asennettavaksi kaapeliksi alituksesta kulkevan kaapelin tai kaapeleiden jännitetaso, esimerkiksi 0,4/20 kV maakaapeli. Alituskohdista on suotavaa lisätä hakemukseen kuvan 13 mukainen liitekuva. Kuva havainnollistaa hakemuksen käsittelijälle alituksen toteutettavuuden. Hakemuksessa ilmoitettuja alituskohtia voidaan siirtää ilman erillistä lupaprosessia tai ilmoitusmenettelyä maksimissaan 100 metriä ja lisätä uusia tien alituskohtia 1–3 kappaletta. Näistä työn urakoitsijan tulee sopia ELY-keskuksen edustajan kanssa maastossa käytävässä aloitus- tai välikatselmuksessa. (4.)



KUVA 13. Tien alituskohta kuvallitteenä ELY-keskuksen sijoituslupa hakemukseen

Kun alituksia merkataan maastoon, tulee huomioida ELY-keskuksen vaatimukset alituksen toteuttamisesta. Kuvassa 14 on kuvattu erilaiset alitustavat. Kaapelireitin jatkuessa tavan b tyyllisesti alituksen jälkeen tiealueen ulkopuolelle, tulee suojaputken ulottua ojanpohjan ulkopuolelle vähintään yhden metrin. Jos tilanpuutteen tai muun syyn vuoksi alituskavantoa ei voida kaivaa tavan a mukaisesti ojan pohjan ulkopuolelle, täytyy kaapelit suojata sisäluiskassa, ojanpohjassa ja ulkoluis-kassa A-luokan suojaputkella tai -kourulla. Loivaluiskaisella tiellä kaapelin jatkuessa alituksen jäl-keen sisäluiskassa, voidaan alituskavannot kaivaa tavan c mukaisesti. Tavassa c alituskavantojen etäisyyden tulee olla vähintään metri sisäluiskan yläreunasta. Jos kaapeli kulkee alitukseen tavan d mukaisesti ojan pohjan ali, täytyy kaapeli suojata A-luokan suojaputkella tai -kourulla. (7.)



KUVA 14. Yleisten maanteiden alitustavat (7)

Maanteistä haarautuu paljon alitettavia maa-, metsätalous-, tontti- ja yksityistieliittymiä, jotka voidaan alittaa joko auki kaivuuna tai koneellisena alituksena. Auki kaivettavia alituksia on järkevää hyödyntää etenkin sorapintaisissa liittymissä ja liittymissä, joissa asfalttilipan kiertäminen onnistuu. Auki kaivuuna toteutettavat alitukset helpottavat kaapelin asennustyötä huomattavasti maanrakennusvaiheessa. Kun liittymä on päivittäisessä käytössä, kaivettavista alituksista ja mahdollisesta asfalttipäällysteen rikkomisesta on sovittava aina liittymän omistajan tai käyttäjän kanssa. Päällyste korjataan viipymättä vastaavalla päällysteellä. (7, s. 62.) Asfalttiliittymät korjataan yleensä aluksi öljysorapaikoilla, jotka työmaan loppuvaiheessa, kaikkien liittymien katkaisujen jälkeen korjataan virallisilla asfalttipaikoilla. Liittymissä kaapelin sijoituskohtaan vaikuttaa mahdollinen liittymärummun sijainti, sillä kaapelit täytyy asentaa vähintään 1,5 metrin päähän rummun kyljestä (31).

4.3.6 Vesistöjen alitukset

Johdon sijoittamisesta vesialueella on säädetty vesilaissa 12.4.2019/505. Lain mukaan johdon sijoittamisesta vastaavalla on oikeus sijoittaa johto valtaväylän tai puron alitse, jos sen sijoittaminen

ei vaadi lupaa lain 3. luvun 2 §:n nojalla, sijoittamisesta ei määrätä ympäristösuojelulain nojalla tai sijoittamisesta ei aiheudu vähäistä suurempaa haittaa alueen omistajalle. Vesialueen omistajalle on ilmoitettava tehtävästä toimenpiteestä vähintään 60 vuorokautta etukäteen. (25.)

ELY-keskukselle tehdään ilmoitus johdon asentamisesta purojen ja valtavyölin kuten jokien, vesistökaikkeiden sekä salmien alitse. ELY-keskus ohjaa ilmoituksen perusteella joko hakemaan AVI:n lupaa tai antaa reunaehdot asennustoimenpiteelle. (26.) AVI:n lupaprosessissa käsittelyajat voivat olla erittäin pitkiä, joten lupaa ei kannata lähteä hakemaan ilman varmuutta sen tarpeellisuudesta.

Alitettaessa tai ylitettäessä sellaista vesistöä, jota pidetään yleisenä kulku- tai valtavyölinä, tarvitaan lupa AVI:lta. Jokien alitukset vaativat lähes poikkeuksetta AVI:n luvan. Joen määritelmä täytyy, kun joen valuma-alue on vähintään 100 km². AVI:n luvan tarpeellisuuteen vaikuttaa myös toteutettava työmenetelmä. Jos vesistöön aiheutuva haitta on olematon tai hyvin vähäinen, kuten vesistön alittaminen suuntaporaamalla tai kaapelin laskeminen vesistön pohjaan, ei yleensä tarvita lupaa, pois lukien edellä mainitut luvanvaraiset vesistöt. (11, s. 12–13.) Kun AVI:n lupaa ei tarvita, sovitaan ja keskustellaan johdon sijoittamisesta maanomistajan kanssa ongelmien välttämiseksi (26). Etenkin alitettaessa vesistöä suuntaporauksen avulla voidaan perustella maanomistajalle tai muulle taholle, että toimenpide ei vaikuta vesistöön.

Suuntaporattavat alitukset ovat yleistyneet niin, että lähes jokaisella maakaapelointityömaalla osa alituksista toteutetaan suuntaporausmenetelmän avulla. Maakaapelointityömailla kaapelireitille osuu lähes poikkeuksetta suuria oja ja puroja, jotka teknisesti ajatellen voidaan alittaa kaivamalla. Omaan kokemukseen pohjautuen suosittelen suuntaporauksen hyödyntämistä laajemmin näiden alittamisessa. Etenkin keväisin ja syksyisin ojien ja purojen alitukset kaivamalla ovat haastavia, kun vettä on paljon. Kaivamalla alitettaviin vetisiin ojiin liittyy työturvallisuutta ja asennettavan kaapelin turvallisuutta vaarantavia tekijöitä. Auki kaivettava oja tai puro joudutaan patoamaan kaivuumailla, jotta estetään kaivannon täyttyminen vedellä. Kun vettä on paljon, maapadolla on suurehko riski vyöryä ja näin ollen suojaputkea, kaapelia tai suojakourua asentava henkilö on vaarassa joutua kiven tai muun maa-aineksen töytäisemäksi. Asennettaessa kourutettavaa kaapelia vetiseen kaivantoon on myös riski, että kaapelin asianmukainen asennustapa tai turvallisuus kärsii, kun asentaja ei pysty näkemään kaapelin alle mahdollisesti jääviä teräviä kiviä. Kaivettavaa alitusta vaikeuttaa myös se, että virtauksen vuoksi ennallistamisen tulokset eivät ole pysyviä.

5 KONEOHJAUSJÄRJESTELMIEN HYÖDYNTÄMINEN

Tällä hetkellä sähköjakeluverkkojen rakennustyömailla koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen kaivinkoneissa on verrattain vähäistä. Infrarakentamisen parissa koneohjaus on yleistynyt merkittävästi ja koneohjausjärjestelmien käytöstä on tullut etenkin suuremmilla työmailla välttämätöntä. Koneohjausjärjestelmillä tavoitellaan maanrakennusprojektien kustannustehokkuuden ja laadun maksimointia. Koneohjausjärjestelmiä käytetään jo hyvin monipuolisesti suuremmilla infrarakentamisen työmailla, kuten tie-, katu- ja pohjarakennustyömailla. Kustannustehokkuus lisääntyy erityisesti suuremmilla maanrakennustyömailla, kun mittalaitteen avulla vältetään maa-ainesten yllättyöiltä ja ylikavetuilta leikkauksilta sekä työt saadaan toteutettua tarkasti suunnitelmien mukaisesti. Kaivinkoneiden 3D-koneohjauksen avulla voidaan työskennellä ilman maastoon merkittäviä sijainteja ja korkoja, mikä osaltaan pienentää kustannuksia, kun maastoon merkkamiselta ja mitatenkilön fyysiseltä paikalla olemiselta vältetään. (27.)

5.1 Koneohjausjärjestelmät

Maarakentamisen digitalisoinnin ja tietomallinnuksen yhtenä osana on kaivinkoneiden ja muiden työkoneiden tietokonepohjainen hallinta koneohjauksen avulla. Koneohjauksessa työkoneen kuljettaja pystyy reaaliaikaisesti havainnoimaan näytöltä työkoneen suhdetta rakennettavan kohteen työmaasuunnitelman pohjalta tehtyyn digitaaliseen malliin (Kuva 15). (28.) Kaivinkoneissa koneohjaus seuraa kauhan sijaintia ja korkoa. Koneohjauksessa mallin avulla voidaan kaivaa, asentaa rakenteita ja toimia suunnitelmissa määrättyjen sijaintien (x-y) ja korkojen (z) mukaisesti sekä tallettaa tarvittaessa toteumatietoja. Toteumatietojen tallettamista voidaan hyödyntää esimerkiksi putkien, putken päiden, kaivojen, kaapelireittien sijaintitietojen ja muiden ennalta määrättyjen tarketietojen talteen ottamisessa. Koneohjaus perustuu RTK-GNSS-satelliittipaikannukseen. 3D-koneohjaukselta kaivinkoneesta tekeytyy tarkka mittalaite, sillä verkkokorjauspalvelun tuottaman korjaussignaalin tai työmaalla sijaitsevan tukiaseman avulla saavutetaan jopa senttimetriluokan tarkkuus. (27.)



KUVA 15. Koneohjausjärjestelmän näytöltä välittyvä kaivinkoneenkuljettajalle reaaliaikainen sijainti suunnitelmien pohjalta tehdyssä mallissa (30)

Mallit ja taustakuvat ajetaan koneohjausjärjestelmään joko muistitikulta tai pilvipohjaisen palvelun kautta. Koneohjausjärjestelmiin on saatavana pilvipohjainen verkkoliittymäsovellus, joka yleisesti on jo laajassa käytössä. Pilvipalvelun kautta voidaan etäyhteyden avulla jakaa paikannustietoja, malleja sekä toteutustietoja koneohjausjärjestelmään. (29.) Pilvipalvelun käyttö mahdollistaa tiedostojen tarvittavat järjestelmään ajot sekä päivitykset etänä, eikä näin ollen vaadi paikan päällä käyntiä.

5.2 Tietomallinnus

Tietomallinnuksella BIM (Building Information Model) tarkoitetaan rakennuskohteiden ja niiden rakennusteknisten ominaisuustietojen havainnollistamista kolmiulotteisesti digitaalisessa muodossa. Tietomalli mahdollistaa rakennelmien, kuten rakennusten ja infrarakenteiden, elinkaaren hallin-

noimisen suunnittelusta aina purkuvaiheeseen asti. Infra-alan tietomallinnuksen eli inframallinnuksen yleisinä ohjeistuksina ja vaatimuksina toimii Building SMART Finlandin ja sen Infra-toimialaryhmän julkaisema Yleiset inframallivaatimukset (YIV)-ohjeisto yhdessä InfraBIM-nimikkeistön ja tiedonsiirtoformaattien määrittelyjen kanssa. Tietomallintamisesta käytetään maarakentamisen kohteissa nimitystä inframallintaminen ja rakennettavan kohteen tietomallista nimitystä inframalli. Merkittävänä osana maarakentamisen inframallinnuksissa on moninaiset paikkatietoaineistot, kuten ympäristö- ja kaavoitustiedot, joita voidaan havainnollistaa 3D-mallissa. Tavoiteltavina hyötyinä inframallintamisessa on suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävän kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaariprosessin tukeminen. (31.)

5.3 Suunnitelmat koneohjausjärjestelmiin

Maakaapeliverkon rakentaminen koneohjausmalleja hyödyntäen on harvinaista. Tarkkojen koneohjausmallien avulla saavutettaisiin maanrakennusvaihetta hyödyttäviä etuja. Mallien toteuttaminen vaatii suunnitteluun lisää työvaiheita, sillä tarkkojen mallien saavuttamiseksi suunniteltujen kaapelireittien ja maanpäällisten rakenteiden sijainnit tulisi kartoittaa GNSS-mittalaitteen avulla ennen mallin luontia. Tarkan koneohjausmallin avulla maanrakentaja pystyy kaivamaan kaapeliojat sekä sijoittamaan maanpäälliset rakenteet tarkalleen maastosuunnittelijan osoittamaan kohtaan, ilman maastomerkkauksia.

Koneohjausmalliin voidaan määritellä kaapelikaivannon syvyys ja tällöin koneenkuljettaja pystyy tarkasti havaitsemaan riittävän asennussyvyyden. Poikkeavat lupaehtojen tai tilaajan vaatimat asennussyvyudet saadaan varmuudella oikeiksi, kun tarkka syvyys on määritelty malliin. Kaivannon syvyystiedon saamiseksi malliin tulee suunnitelman kartoitusvaiheessa maanpinnan korkeus mitata tarkasti ja tällöin GNSS-mittalaitteen antennin korkeussäätöjen tulee olla kohdillaan.

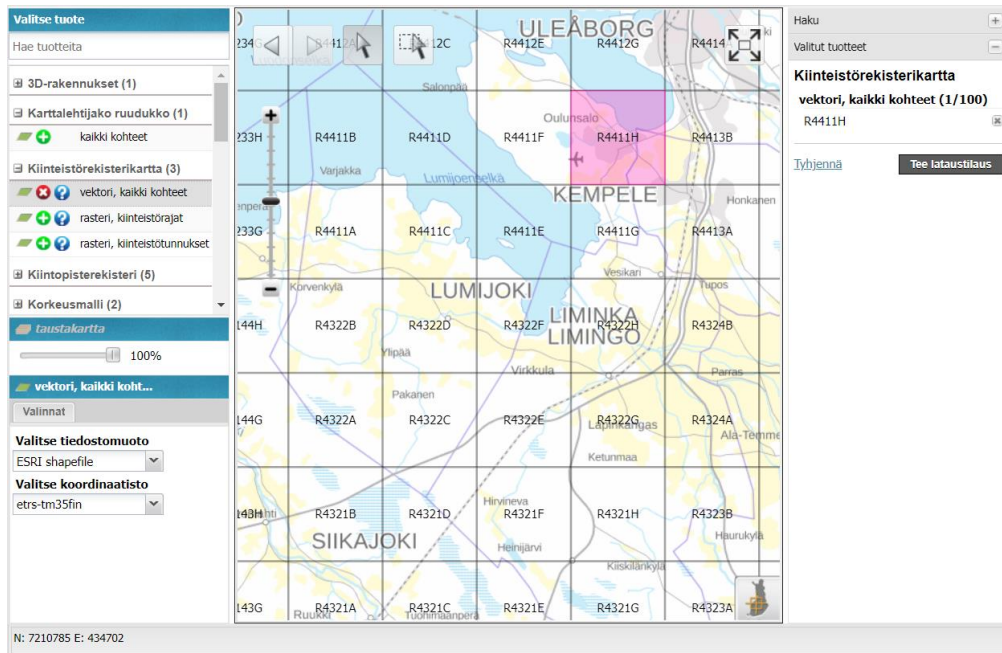
Koneohjauksen avulla saadaan muuntamoiden pohjat vaadittuun kohtaan ja korkoon. Etenkin kaupunki-, kaavoitus- ja taajama-alueilla muuntamoiden sijaintiedot voivat vaatia jopa senttimetriluokan tarkkuutta. Rakennettaessa koneohjauksen avulla tulee varmistua, että kaivinkoneessa käytössä oleva kauha on kalibroitu koneohjausjärjestelmään ja että koneohjauksen tarkkuus on riittävä.

Suurin koneohjauksen etu on koneohjausmallien tuoma rakentamisen tarkkuus, joka osaltaan parantaa työn laatua. Koneohjausta hyödynnettäessä voidaan suunnitelmiin tehdä reaaliaikaisesti muutoksia. Suunnitelmat päivitetään pilvipalvelun avulla. Eduiksi voidaan laskea myös maastoon merkkäämisen vähentyminen. Maakaapelointityömailla maasto kuitenkin usein heikentää koneohjauksen tarkkuutta, koska puusto ja rakennukset luovat katvealueita satelliittipaikannukseen. Toisena haasteena voidaan pitää piha-alueita, jotka vaativat pienempiä kaivinkoneita ja näissä harvemmin on vielä koneohjausjärjestelmiä asennettuna. Tällaiset kohteet vaativat koneohjauksen lisäksi osittaista maastoon merkkäystä.

5.4 Rajatietojen vienti koneohjausjärjestelmään

Rajatietojen vientimahdollisuutta koneohjausjärjestelmiin kannattaa ehdottomasti hyödyntää. Kaivuureitit kulkevat usein rajalinjojen ja -merkkien läheisyydessä, joten on suuri etu, että kaivinkoneenkuljettaja pystyy koneohjausjärjestelmän avulla havainnoimaan rajalinjojen ja -merkkien sijaintia. Koneohjauksella vältetään rajalinjojen ja -merkkien maastoon merkkäämiseltä. Merkkikepein merkätun rajalinjan seuraaminen esimerkiksi pimeässä kelissä tai pusikkoisessa maastossa on haastavaa, joten etenkin kaivuureitin tullessa rajalinjan läheisyyteen on huomattavan suuri apu, kun kaivinkoneenkuljettaja pystyy reaaliaikaisesti seuraamaan näytöltä kauhan sijaintia rajalinjaan nähden. Koneohjausta hyödynnettäessä vältetään varmemmin asentamasta kaapelireittiä tai muita rakenteita rajalinjan väärälle puolelle.

Kiinteistöjen rajatiedot saadaan haettua ilmaiseksi Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalveluista (32). Tuotavaksi tuotteeksi valitaan kiinteistörekisterikartta vaihtoehdoista ”vektori, kaikki kohteet”. Tiedostomuoto valitaan ennen karttalehtien valintaa. Tiedostomuodoksi valitaan ”ESRI shapefile”. Kun tuote on valittu, saadaan näkyville karttalehtijaot. Karttalehtijaosta valitaan työalueelle osuvat karttalehdet, jonka jälkeen voidaan tehdä lataustilaus sähköpostiin (Kuva 16). DXF- tai DWG-formaatissa rajatiedot voidaan viedä koneohjausjärjestelmään taustakuvaksi. Tiedostomuoto muunnetaan Shapefile-muodosta DXF- tai DWG-formaattiin. Tiedostomuodon konvertointi Shapefile-muodosta DXF-formaattiin ei vaadi maksullista työkalua, sillä muuntaminen voidaan suorittaa verkkosivulta ”GISConvert.com” löytyvällä muuntimella (Kuva 17). Tuodut tiedot ovat ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa. Tarvittaessa koordinaatisto voidaan muuttaa esimerkiksi 3D-Win-ohjelman avulla.



KUVA 16. Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta saadaan kiinteistöjen rajatiedot (32)

Input File:

Valitse tiedosto Q4113A (1).zip

For shapefiles, upload a ZIP containing a single shapefile with .SHP, .SHX, .DBF, .PRJ files. For other formats please upload a single file at a time.

Output Format:

AutoCAD Drawing Exchange (DXF)

Subscriber Key (e-mail address):

Leave blank for free mode. [Subscribe to lift limits and support development!](#)

Privacy note: Uploaded files are not permanently stored and are deleted within 30 minutes of conversion.

Convert File

KUVA 17. Verkkosivulta GISConvert.com löytyvällä muuntimella voidaan konvertoida rajatietotiedosto Shapefile-muodosta DXF- formaattiin (33)

5.5 Haittarakenteiden sijaintitiedot

Sähkömarkkinalain 110 §:ssä on säädetty maakaapeleita vaarantavasta työstä ja sijaintitietojen selvittämisestä. 110 §:ssä edellytetään, että ennen maanrakennustyöhön, metsätyöhön, verkonrakennustyöhön tai muuhun sähkökaapeleita vaarantavaan työhön ryhtymistä täytyy työtä suorittavan selvittää, sijaitseeko työalueella sähkökaapeleita. Selvityksien avulla pyritään turvaamaan työtä suorittavien työturvallisuus sekä välttämään kaapeleiden vahingoittuminen ja sähkönsiirron keskeytyminen. (20.) Telekaapeleiden osalta vahingot eivät ole suoraan työturvallisuutta vaarantavia, mutta välilliset vahingot voivat olla erittäin suuria, kun tärkeitä tietoliikenneyhteyksiä vaarantuu. Tietoyhteiskuntakaari 917/2014 241 § velvoittaa selvittämään telekaapeleiden sijaintitiedot sähkökaapeleiden sijaintitietojen selvittämistä vastaavalla tavalla. (34.) Sähkömarkkinalaki ja tietoyhteiskuntakaari velvoittavat kaapeleiden omistavia tahoja antamaan työtä suorittavalle veloituksetta kaapeleiden sijaintitietoja (20; 34).

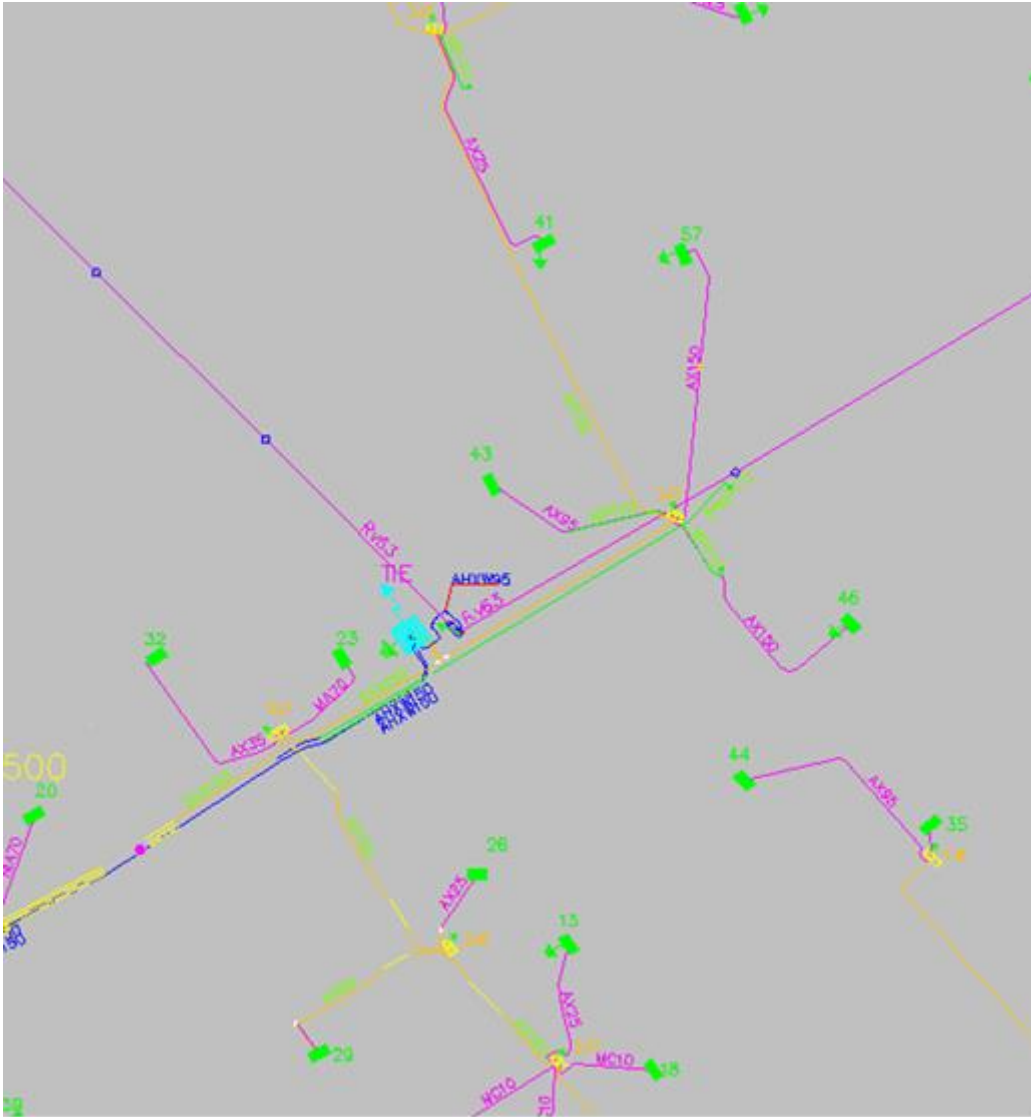
Ryhdyttäessä maanrakennustöihin hankitaan kaapeleiden ja mahdollisten kaukolämpö- ja kaasuputkien sijaintitiedot paikalliselta sähköverkkoyhtiöltä ja muilta sijaintitietopalveluita tarjoavilta tahoilta. Pyydettyessä kaapelinäyttöä maastoon toimittaa sijaintitietopalveluita tarjoava taho tilauksen yhteydessä haittakaapelikartat, mikäli alueella on heidän asiakkaidensa tekniikkaa. Sijaintitietojen merkkaja merkkaa haittakaapeleiden ja muiden haittarakenteiden sijainnit merkkimaalin avulla maastoon. Maastoon merkatuissa sijaintitiedoissa on tietty tarkkuustoleranssi, yleensä 0,5 m – 1 m, jonka sisälle merkatun rakenteen pitäisi osua. Haittakaapeleiden maastoon merkkaukset eivät ole aina täysin paikkaansa pitäviä, joten kaapeleiden läheisyydessä maanrakentajalta vaaditaan erityistä varovaisuutta.

Kun maastoon merkataan haittarakenteita maalimerkeillä, ongelmana on merkkauksen häviäminen ja sotkeutuminen näkyvistä. Etenkin kesäisin kasvillisuuden nopea kasvu ja syksyisin sekä talvisin lumentulo aiheuttavat hankaluuksia. Maanrakentajan on järkevää valokuvata maalimerkit sellaisissa kohdissa, joissa joudutaan risteämään tai kaivamaan lähelle olemassa olevaa tekniikkaa. Kuvaamisella voidaan todentaa maalattujen merkkien sijainti epätarkasti merkatun kaapelin vaurioituessa. Todisteiden ollessa kunnossa vältetään parhaassa tapauksessa vahingon aiheuttamilta korvausvaatimuksilta.

5.6 Haittarakenteiden vienti koneohjausjärjestelmään

Tilattaessa haittakaapelikarttoja suunnitteluun ovat kaapeleiden sijaintitiedot yleensä saatavilla Pdf-karttojen lisäksi myös DWG-formaatissa. DWG-tiedosto mahdollistaa koordinaatistossa olevien sijaintitietojen hyödyntämisen koneohjauksessa. Haittakaapeleiden sijaintitietoja voidaan tuoda koneohjausjärjestelmään joko pinta- tai viivamalleina tai taustakuvana. (29.) Mikäli haittakaapeleiden sijaintitiedot halutaan mallipohjaisesti koneohjausjärjestelmään, vaatii DWG-tiedosto käsittelyä esimerkiksi 3D-Win-ohjelman avulla. Mallit viedään yleensä koneohjausjärjestelmään käyttäen XML-pohjaista landXML-formaattia, joka on YIV-vaatimusten mukainen kansainvälisesti käytetty maanrakennuksen siirtotiedostomuoto infra- ja maanmittaustiedoille. (31, s. 9.)

Taustakuvana koneohjausjärjestelmään vietävät haittarakenteiden sijaintitiedot saadaan näkymään koneohjausmallin taustalla. Taustakuvat viedään järjestelmään DWG- tai DXF-formaatissa. Sähköverkkoyhtiön ja teleoperaattoreiden DWG-haittakaapelitiedostoja voidaan yhdistää esimerkiksi AutoCAD:n tai 3D-Win-ohjelman avulla yksittäiseksi taustakuvaksi. Yhdistettäessä haittarakennetiedostoja tulee huomioida taustakuvan selkeänä pysyminen. Taustakuvan selkeyttämiseksi voidaan tiedostosta poistaa tarvittaessa maanrakentamisen kannalta turhaa tietoa ja tekstiä. Sähköverkkoyhtiöstä tai sijaintitiedustelupalveluita tarjoavilta tahoilta saaduissa DWG-muotoisissa haittakartoissa eri jännitetasot ja johtotyypit on yleensä kuvattu kuvan 10 mukaisesti värien avulla ja johdon tai kaapelin lyhenteellä esimerkiksi Rv63, AHXW150 tai AX95 (Kuva 18). Taustakuvana vietävään haittarakennetiedostoon kaapelin korkeustietoa ei voida hyödyntää mallin mukaisella tavalla, mutta huomioita voidaan lisätä tekstimuotoisesti. Maanrakentajalle olennaisinta on tietää kaapelin sijainti sekä kaapelityyppi: onko kyseessä suurjännite-, keskijännite-, pienjännite- vai telekaapeli. (28.)



KUVA 18. Sähköverkko-yhtiön DWG-muotoinen kaapelisijaintitiedosto.

Yksi tapa saada työmaalla sijaitsevien häirtarakenteiden sijaintitiedot koneohjaukseen on kartoittaa kaapelinäyttäjän maastoon merkkamat reitit ja luoda tämän pohjalta koneohjausmalli. Tällä tavoin saavutetaan luotettavampi tarkkuus myös epätarkasti tallennetuille kaapelireiteille. (28.) Näin voitaisiin laajoilla työmailla tilata kaapelinäytöt kerralla koko työmaa-alueelle, mikä osaltaan helpottaisi maanrakentajan työtä, kun kaapelinäyttöjen tilaaminen harventuisi.

Haasteina sijaintitietojen hyödyntämisessä koneohjauksessa voidaan pitää sijainti- ja syvyystietojen epätarkkuutta. Korkeustiedon hyödyntämiseen haasteita tuo Traficomien määräyksen 71M/2020 avoimena oleva syvyystiedon ilmoitustapa. Määräyksessä edellytetään syvyystiedon ilmoittamista

joko asennussyvyytenä tai z-koordinaatissa. Jos syvyystieto on ilmoitettu asennussyvyytenä, täytyy mallintajan pystyä muuttamaan tieto z-koordinaattiin, mikä osaltaan luo haasteita, sillä maanpinnan tarkkaa korkeusmallia ei ole yleensä helposti saatavilla. (28.) Vuosikymmeniä vanhojen haittarakenteiden tallennettujen sijaintitietojen paikkaansa pitävyyteen ei voida luottaa eikä niiden avulla voida suorittaa kaivuutöitä. Vanhojen rakenteiden asentamisen aikaan ei ole ollut käytössä nykyaikaista tekniikkaa, kuten satelliittipaikannusta, joten vanhan tekniikan sijaintitietoihin täytyy suhtautua suurpiirteisesti. (35.) Huonossa tapauksessa vanhimpien rakenteiden sijaintitietoja ei löydy ollenkaan. Sijaintitietojen vieminen koneohjaukseen ei tällä hetkellä tuo huomattavan suurta hyötyä maakaapelointityömailla, sillä kaapeleiden sijaintitiedot on joka tapauksessa tilattava fyysisesti maastoon ja vanhempien sijaintitietojen epätarkkuuden takia haittarakenteiden sijaintiin ei voida täysin luottaa. Tulevaisuudessa sijaintitietojen hyödyntäminen koneohjauksessa voi yleistyä, sillä sijaintitietojen tarkkuus on kehittynyt huomattavasti ja 1.1.2021 lähtien Traficomien määräys 71/2020 M on edellyttänyt kaapeleiden ja putkien syvyystietojen ilmoittamista (36).

5.7 Sijaintitietojen kartoitus

Sähkönjakeluverkon sijaintitietojen kartoittamisella tarkoitetaan rakennetun verkon rakenteiden kuten kaapeleiden, putkien, muuntamoiden ja jakokaappien sijaintitietojen mittaamista GPS-mittauksen avulla. Sijaintitietojen kartoitusta ohjaa Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien määräys 71/2020 M. Määräys varmistaa verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä säädetyn lain 276/2016 vaatimusten toteutumisen. (36, s. 2.) Sijaintitietojen kartoitukseen liittyen laissa säädetään viestintäviraston tehtävästä huolehtia, että tarjolla on helppokäyttöinen ja tietoturvallinen tietopiste, jonka kautta annetaan ilman aiheetonta viivytystä digitaalisessa muodossa tiedot kaapeleiden, putkien ja niihin verrattavien aktiivisten verkon osien sijainneista (37). Keskitetyllä tietopisteellä tarkoitetaan lain 276/2016 edellyttämiä, Traficomien tarjoamia Verkkotietopiste.fi -palvelua ja Sijaintitietopalvelua. Traficomien määräyksellä varmistetaan tietopisteeseen toimitettavien sijaintitietojen tarpeellinen tarkkuustaso ja yhteentoimivuus. Määräyksellä tavoitellaan verkkojen yhteisrakentamisen ja -käytön edistymistä sekä maanrakennustöissä tapahtuvien verkkoinfrastruktuuria vahingoittavien vaurioiden vähentymistä. (36, s. 2.)

Traficomien määräystä noudattaen sähköverkon kaapeleiden ja johtoteiden, kuten suojaputkien, kaapelikourujen ja kaapelihyllyjen sijaintitiedoista tulee ilmetä rakenteiden x- ja y-koordinaatit. x- ja

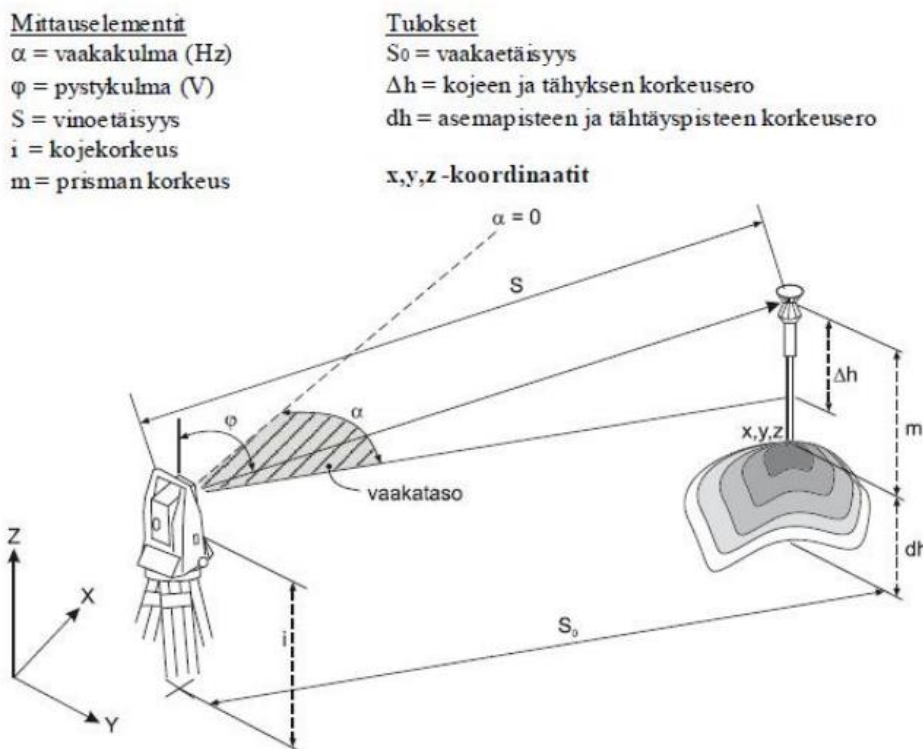
y-koordinaateilla kuvataan tapauskohtaisesti joko pistemäisen kohteen keskikohtaa, viivamaisen kohteen keskilinjaa tai aluemaisen kohteen reunaviivoja. 1.1.2021 tai sen jälkeen rakennetun verkon sijaintitiedoissa tulee selvittää mitattu kaapelin tai johtotien korkeustieto, jos se poikkeaa suunnitellusta asennussyvyydestä tai jos tieto on muusta syystä mitattu. Korkeustieto ilmoitetaan z-koordinaatin tai sijainnin syvyystiedon avulla. Syvyystieto kuvaa rakenteen yläpinnan syvyyttä maanpinnasta, kun taas z-koordinaatti kaapelin tai muun rakenteen yläpinnan korkoa N2000-korkeusjärjestelmässä. Koordinaatit ilmoitetaan ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa niin, että x-koordinaatti ilmoittaa itäkoordinaatin ja y-koordinaatti pohjoiskoordinaatin. Mitatuista sijaintitiedoista on ilmoitettava x- ja y-koordinaattien sijaintitarkkuus. z-koordinaatin tai syvyystiedon tarkkuus täytyy ilmoittaa, jos mitattu korkeustieto on ilmoitettu suunnitellun asennussyvyyden lisäksi. Fyysisen infrastruktuurin tai aktiivisen verkon osien x- ja y-koordinaattien tarkkuuden taajamissa täytyy olla ilmoitettu vähintään ± 10 cm:n tarkkuudella ja taajamien ulkopuolella vähintään ± 50 cm:n tarkkuudella. z-koordinaatin sijainnin tarkkuuden täytyy olla vähintään ± 10 cm. Muita sähköverkoista ilmoitettavia tietoja ovat:

- tieto ilmoitetaanko kaapelireitti vai yksittäinen kaapeli
- verkkotyyppi
- verkkotyypin tarkenne (pien-, keski-, suurjännite- vai ulkovalaistusverkko)
- kaapelin tyyppi (maa-, ilma- vai vesistökaapeli)
- rakennusvuosi
- käyttötila
- kartta-alue
- näyttöalue
- kaapelikiepit
- tieto näyttöpyynnön toimittamisesta. (36.)

Jos kaapelit ilmoitetaan kaapelireittinä, täytyy ilmoittaa myös kaapeleiden lukumäärä. Kaapelireitillä kulkevien kaapeleiden korkeustietojen poiketessa toisistaan ilmoitetaan lähimpänä maanpintaa olevan kaapelin korkeustieto. (36.)

Maakaapeliverkon sijaintitietojen kartoitus toteutetaan tyypillisesti mittahenkilön erillisenä työtehtävänä. Kartoittaja mittaa dokumentoitavien rakenteiden sijaintitiedot GNSS-vastaanottimen ja tallen-

timen avulla. Tiheästi kasvavan metsän tai esimerkiksi kaupunkialueilla rakennusten luodessa katvealueita täytyy mittauksen apuna käyttää takymetriä vaaditun tarkkuuden saavuttamiseksi. Takymetri on maanmittauksessa hyödynnettävä mittauskoje, jonka toimintaperiaate perustuu etäisyysmittarin mittaussäteeseen (Kuva 19). Takymetri lähettää prismalle mittaussäteen, joka heijastuu takaisin takymetriin. Takaisin heijastuvan säteen avulla takymetri lukee kaltevan etäisyyden millimetrin tarkkuudella. Trigonometrian avulla kalteva etäisyys muunnetaan vaakaetäisyydeksi. (38, s. 31.)



KUVA 19. Takymetrimittauksen toimintaperiaate (39)

Maakaapeliverkon rakenteet kartoitetaan kaivuutyön yhteydessä avoimesta kaivannosta, aurausviillosta tai kaivannon peittämisen jälkeen maanpinnalta. Luotettavin mittaustapa on kartoittaa kaapelit avoimesta kaivannosta, mutta tämä ei aina ole mahdollista, sillä se vaatisi mittahenkilön jatkuvaa läsnäoloa työmaalla. Kaivannosta kartoitetun kaapelireitin sijainti- ja korkeustiedot saadaan täsmälleen oikeiksi, kun pystytään huomioimaan pienimmätkin esimerkiksi kiven kiertämisestä aiheutuvat mutkat, joita on maanpinnalta kartoittaessa vaikea havainnoida. Avoimesta kaivannosta kartoitettaessa putkien päät, kaapeleiden jatkot ja kiepit sekä muut erityishuomioita vaativat tekijät

pystytään tallentamaan erityisen tarkasti. Peitetystä kaivannosta kaapeleiden sijainti- ja korkeustiedot paikannetaan kaapelinhakulaitteen ja signaalilähettimen avulla. Kartoitettaessa kaapeleita maanpinnalta tulee maanrakentajan merkata peittelyvaiheessa merkkikepein suojaputkien ja -kourujen alku- ja päätepiisteet sekä kaapelijatkot.

5.8 Sijaintitietojen kartoitus koneohjausjärjestelmän avulla

Väylärakennuskohteissa koneohjausta hyödynnetään toteumamittauksin ja niillä valvotaan työn etenemistä ja toteutuneiden työnaikaisten rakenteiden mittatarkkuuden laatua. Kaivinkoneen koneohjauksen avulla tehtävällä toteumamittauksella tarkoitetaan toteutetun rakenteen, järjestelmän, varusteen, titorakenteen paikkatiedon tai laatutekijän työnaikaista mittausta. Toteumamittausten avulla voidaan todentaa työn eteneminen laadukkaasti ja suunnitelmien mukaisesti. Mitattaessa toteumatietoja kaivinkoneen koneohjauksella täytyy varmistaa, että käytettävä kauha tai muu työväline, kuten kaapelaura, on kalibroitu, paikannusjärjestelmä on kytkeytynyt vastaanottamaan paikannustarkkuutta lisäävää RTK-korjausviestiä sekä mitattavan mallin tai rakenneosan koodin valinta on tehty. (31.) Toteumapisteiden mittauksessa käytettävien kauhojen mittatiedot tulee määrittää järjestelmään sekä kalibroida säännöllisesti kauhan kulumisen takia. Kauhassa on tyypillisesti kolme mittauspistettä: kauhan keskikohta sekä huulilevyn molemmat reunat. (40.)

Verkonrakennustyömailla koneohjauksen toteumapisteiden mittausta ei vielä juurikaan hyödynnetä. Koneohjauksen mittaustarkkuus täyttää Traficommin vaatimukset sijaintitietojen tarkkuudesta, joten toteumapisteiden mittauksen avulla kaapelireittien sijaintitietoja voitaisiin kartoittaa koneohjauksella kaapeleiden kaivuun ja aurauksen yhteydessä (28.) Sijainti- ja syvyyssiedot saadaan kartoitettua vaivattomasti ja tarkasti, sillä kaivinkoneenkuljettaja pystyy välittömästi asennustyön yhteydessä mittamaan sijainnit. Koneohjauksella tehtävää kartoitusta on järkevää hyödyntää etenkin silloin, kun kaapelointireiteistä on tehty koneohjausmalli, jota kaivinkoneenkuljettaja seuraa. Koneohjausjärjestelmään tuodaan tai luodaan eri kaapeleita, suojaputkia ja muita rakenteita kuvaava koodilista, josta kaivinkoneenkuljettava valitsee kartoitettavaa rakennetta kuvaavan koodin.

Koneohjauksesta on hyötyä erityisesti pidemmillä suoraviivaisilla kaapelireiteillä. Kaapelireittien kartoitus kokonaisuudessaan koneohjauksen avulla vaatisi maanrakennusurakoitsijalta huomattavia investointeja, sillä esimerkiksi ahtailla pihilla käytettävissä pienemmissä kaivinkoneissa on harvemmin koneohjausjärjestelmää.

5.9 Hyödyt

Koneohjausjärjestelmien käytön vähäisyys sähköverkonrakentamisen maanrakennustöissä on huomattavaa verrattuna muihin infrarakennushankkeisiin. Omaan kokemukseen pohjautuen koneohjauksen laajemmalla hyödyntämisellä saavutettaisiin kuitenkin laadullisia sekä kustannuksellisia hyötyjä. Koneohjaus tarjoaa hyötyjä niin maanrakentajalle, suunnittelijalle, kuin rakennettavan sähköverkon omistajalle eli yleensä sähköverkkoyhtiölle.

5.9.1 Suunnittelijalle

Suunnittelijalle kohdistuvat hyödyt liittyvät maastoon merkkauksen vähentymiseen, kun työvaihe voitaisiin korvata joko osittain tai kokonaisuudessaan koneohjausjärjestelmään luotavalla koneohjausmallilla. Suunnittelija pystyy varmistumaan työn toteutumisesta suunnitelmien mukaisesti, jos rakennettava kaapelireitti ja maanpäälliset rakenteet on kartoitettu ennen kaivuuta tarkasti mallin luomista varten. Koneohjauksen hyödyntäminen tuo suunnitteluvaiheeseen lisätöitä ja yhteistyötä maanrakennusurakoitsijan kanssa voidaan kehittää esimerkiksi sopimalla kartoitustietojen käsitteilystä tai koneohjausmallien ja muiden koneohjaukseen vietävien tietojen luonnista.

5.9.2 Maanrakennusurakoitsijalle

Maanrakennusurakoitsijalle etuja koneohjauksesta on huomattavasti. Parhaassa tapauksessa kaivinkoneenkuljettaja pystyy havaitsemaan koneen ohjaamosta haittarakenteiden sijainnit, kiinteistöjen rajat ja toteuttamaan kaivuutyöt koneohjauksen avulla sekä kartoittamaan välittömästi kaivuutyön yhteydessä rakennetun verkon sijaintitiedot. Kiinteistöjen rajatietojen tuonti koneohjaukseen helpottaa kaivinkoneenkuljettajaa huomattavimmin ja tämä onkin tällä hetkellä yleisin koneohjauksen hyödyntämisen tapa maakaapeliverkon rakennuskohteissa.

5.9.3 Verkkoyhtiölle tai työn tilaajalle

Koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen tuo mahdollisuuden seurata reaaliaikaisesti työmaan etenemistä. Rakennettavan verkon sijainti- ja korkotietojen tarkkuus saadaan varmistettua, kun sijaintitiedot mitataan avoimesta kaivannosta. Tarkkojen sijaintitietojen ansiosta rakennetun infran tarkat sijaintitiedot helpottavat tulevaisuuden rakennushankkeita.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää sähköverkon maakaapeloinnin maastosuunnittelua maanrakennuksen näkökulmasta. Työssä käytiin läpi maastosuunnittelun perusteet ja paneuduttiin syvemmin maanrakennuksen eri työvaiheisiin, maanrakentajaa helpottaviin tekijöihin ja koneohjausjärjestelmien hyödyntämiseen. Koneohjausjärjestelmien hyödynnettävyyteen perehdyttiin pintapuolisesti, eikä työn laajuuden takia lähdetty laatimaan tarkkoja toimintaohjeita esimerkiksi kaivuusuunnitelmien pohjalta toteutettavalle koneohjausmallille. Uskon, että koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen on potentiaalinen vaihtoehto kehittää maastosuunnittelua tulevaisuudessa. Koneohjausjärjestelmiin verkonrakennustyömailla olisi kannattavaa perehtyä syvemmin jatkotutkimuksen muodossa. Jatkotyössä voisi ottaa tarkemman tutkimuksen kohteeksi koneohjausmallin luomisen suunnitelmasta valmiiksi malliksi, joka sisältäisi kaivuusuunnitelman, haittarakenteiden sijaintitiedot sekä kiinteistöjen rajatiedot. Myös koneohjauksella suoritettavaan sijaintitietojen kartoitukseen olisi kannattavaa tutustua tarkemmin ja ottaa kyseinen prosessi kokeiltavaksi.

Aikaisempi työkokemukseni maanrakennuksen parissa antoi hyvät lähtökohdat työn toteuttamiselle, mutta opinnäytetyö tarjosi kuitenkin suhteellisen paljon haasteita, sillä aloitin työni maastosuunnittelijan tehtävissä samoihin aikoihin opinnäytetyön tekemisen kanssa. Haasteita toi myös tietolähteiden löytäminen, etenkin tiettyjen maanrakennuksellisten työvaiheiden osalta. Jälkeenpäin ajateltuna suurin hyöty toimeksiantajayritykselle olisi saatu keskittymällä ainoastaan koneohjausjärjestelmien hyödyntämiseen. Koen että sain kuitenkin käytyä läpi työssäni kattavasti maastosuunnittelun maanrakennuksellisesti tärkeät kehityskohteet ja toimintatavat.

LÄHTEET

1. Despro. Hakupäivä 14.2.2022. <https://www.despro.fi/>
2. Fingrid Oyj. Suomen sähköjärjestelmä. Hakupäivä 14.4.2022. <https://www.fingrid.fi/kanta-verkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>
3. STUK. Sähkön siirto ja -jakelu. Hakupäivä 14.4.2022. <https://www.stuk.fi/aiheet/sahkonsiirto-ja-voimajohtot/sahkonsiirto-ja-jakelu>
4. Caruna 2020. Miten sähkö tuli Suomeen? Hakupäivä 14.4.2022. <https://www.caruna.fi/ajan-kohtaista/miten-sahko-tuli-suomeen-pikakertaus-historiasta-nykypaivaan>
5. Energiateollisuus ry. Sähköverkkoyhtiöt. Hakupäivä 14.4.2022. <https://energia.fi/energi-asta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiot>
6. RK 1:16 Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4–45 kV. Energiateollisuus ry.
7. Liikennevirasto 2018. Sähkö- ja telejohtot ja maantiet. 23.10.2018.
8. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Pirkanmaan ELY-keskus 2019. Sijoituspaikan valinta, sähkö ja tele. Hakupäivä 8.4.2022. <https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/45096/Sijoitus-paikan+valinta+-ohje+fin+p19/3d925afa-894d-43b3-9f3f-1b031f865a69>
9. Liikennevirasto 2018. Määräys johtojen ja rakenteiden sijoittamisesta maantien tiealueelle. 12.10.2018
10. Kurhela, Jiri 2021. Vastuullisuus sähköverkon sähköisessä suunnittelussa. Tampereen ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 12.4.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/508424>
11. YJ 18:16 Ohje sähkölaitteistojen sijoituslupien hakemiseen. Energiateollisuus ry.

12. YJ 14:13 Suositus sähköverkkojen sijoittamisesta yksityisteiden varsille. 10.12.2012. Energia-teollisuus ry.
13. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Hakupäivä 18.3.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>
14. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Sijoituslupa, sähkö, tele, kaukolämpö ja maakaasu. Hakupäivä 8.4.2022. <https://www.ely-keskus.fi/sahkojohdon-telekaapelin-kaukolampojohdon-ja-maakaasuputken-sijoittaminen>
15. Maanmittauslaitos. Kiinteistön rajojen selvittäminen. Hakupäivä 17.3.2022. <https://www.maanmittauslaitos.fi/huoneistot-ja-kiinteistot/maanmittauspalvelut/maanmittaustoimituksen-hakemisen/rajojen>
16. Maanmittauslaitos 2013. Rajat ja rajamerkit. Hakupäivä 17.3.2022. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/03/rajat%20ja%20rajamerkit.pdf>
17. Valtonen, Tatu 2021. Maastosuunnittelijan käsikirja. Savonia ammattikorkeakoulu. Opinnäyte-työ. Hakupäivä 20.3.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/495227>
18. Pipelife. Rocky-kaapelinsuojaputki. Hakupäivä 11.4.2022. <https://www.pipelife.fi/content/dam/pipelife/finland/marketing/general/brochures/Rocky-kaapelinsuojaputki.pdf>
19. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2019. Suunnitteluvaiheen esiselvitykset Mitä, milloin ja missä muodossa? Pirkanmaan ELY-keskus. 4.12.2019.
20. Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588. Hakupäivä 24.3.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>
21. Liikennevirasto 2018. Määräys johtojen ja rakenteiden sijoittamisesta maantien tiealueelle. 12.10.2018

22. Yksityistielaki 13.7.2018/560. Hakupäivä 1.3.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180560>
23. Salaojayhdistys ry 2015. Peltosalaojitus. https://salaojayhdistys.fi/pdf/Peltosalaojitus_10_2015.pdf
24. Maantielaki 23.6.2005/503. Hakupäivä 6.4.2022. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503>
25. Vesilaki 27.5.2011/587. Hakupäivä 21.3.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>
26. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (2022). Ilmoitus vesistön alituksesta. 16.2.2022. Hakupäivä 21.3.2022. <https://www.suomi.fi/palvelut/ilmoitus-vesiston-alituksesta-elinkeino-liikenne-ja-ymparistokeskus/0fe4d54f-bf61-49ff-a867-3a9f71102b82>
27. Novatron Oy. Mitä on koneohjaus? Hakupäivä 14.3.2022. <https://novatron.fi/mita-on-koneohjaus/>
28. Nokelainen, Tomi 2021. Koneohjausjärjestelmien hyödyntäminen rakennustyömaiden kaapelien näytössä ja kaapelisijaintitiedon ylläpitämisessä. Lapin ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Hakupäivä 16.3.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/501368>
29. Kola, Ville 2018. Opinnäytetyö. Koneohjausjärjestelmien ja mittalaitteiden käyttöönotto. Kaakois-Suomen ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 18.3.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/149304>
30. Novatron Oy. Koneohjaus kaivinkoneisiin. Hakupäivä 16.3.2022 <https://novatron.fi/koneohjaus/kaivinkoneisiin/xsite-pro-edistynyt-3d/>
31. Building SMART Finland 2021. Yleiset inframallivaatimukset YIV. Hakupäivä 23.3.2022. https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2021/10/Yleiset_inframallivaatimukset.pdf

32. Maanmittauslaitos. Avoimien aineistojen tiedostopalvelu. Hakupäivä 17.3.2022. <https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>
33. GISConvert.com. Hakupäivä 18.3.2022. <https://www.gisconvert.com/>
34. Tietoyhteiskuntakaari 917/2014. Hakupäivä 24.3.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140917>
35. YJ 16:14 Kaapeleiden sijaintitietojen tarkkuus, tallennusmuoto, järjestelmävaatimukset ja näyttöpalvelut. Energiateollisuus ry.
36. Traficom 2020. Määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta 71/2020 M.
37. Verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentaminen ja -käyttö 276/2016. Hakupäivä 1.4.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160276>
38. Tikkanen, Tuomas 2021. Sähköverkon sijaintikartoitus tilaajan sähköverkossa. Savonia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Hakupäivä 2.4.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/497908>
39. Mäkinen, Panu 2012. Mittamies-ohjelman käyttöönotto maanrakennusyrityksessä. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Hakupäivä 19.4.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/62800>
40. Tappola, Mikko 2016. Koneohjauksen käyttäminen laadunosoitukseen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Hakupäivä 5.4.2022. <https://www.theseus.fi/handle/10024/105661>