



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Kalle Ilomäki

Sijaintimittaus jakeluverkon suunnittelussa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

4.10.2021

Tekijä Otsikko	Kalle Ilomäki Sijaintimittaus jakeluverkon suunnittelussa
Sivumäärä Aika	27 sivua 4.10.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Tuomo Heikkinen Toimitusjohtaja Tomi Suhonen
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli selvittää tostek oy:lle eri keinoja toteuttaa sijaintimittausta jakeluverkon suunnittelussa ja dokumentoinnissa sekä hankkia vaadittu laitteisto tälle.</p> <p>Jakeluverkon tarve paikkatiedon keräämiselle ja dokumentoinnille selvitettiin lakien ja muiden säädösten pohjalta. Sähköturvallisuus- ja sähkömarkkinalait asettavat vaatimukset rakennettavalle jakeluverkolle turvallisuuden ja toimivuuden näkökulmasta. Näitä vaatimuksia tarkennetaan eri säädöksissä.</p> <p>Yleisin tapa toteuttaa jakeluverkon kartoitusta on käyttää satelliittijärjestelmien paikannusta. Työssä perehdyttiin satelliittijärjestelmien teoriaan ja eri paikannustyyliin.</p> <p>Laajemman näkökulman saavuttamiseksi haastateltiin kumppaniyritysten asiantuntijoita. Tutkimusten ja haastatteluiden perusteella yritykselle hankittiin tarvittavat laitteistot satelliittipaikannusta varten, jotka käyttöön otettiin. Lopputuloksena sijaintimittaus otettiin osaksi yrityksen jakeluverkon suunnittelua ja dokumentointia.</p>	
Avainsanat	Sijaintimittaus, satelliittipaikannus, sähköverkkosuunnittelu

Author Title	Kalle Ilomäki Location measurement in designing of electrical distribution network
Number of Pages Date	27 pages 4 October 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Electrical power engineering
Instructors	Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer Tomi Suhonen, CEO
<p>The goal of this project was to research different ways to map location of electrical distribution network as part of designing and documentation for <i>tostek oy</i> and acquire required equipment for that.</p> <p>The need and requirements to map distribution network was researched from laws and other regulations. Electricity Safety and Market Act set the requirements for distribution networks location measuring from safety and functionality perspective. These requirements are more defined in different regulations.</p> <p>The most common way to map distribution networks is to use satellite surveying. Theory of satellite systems and their use in positioning was researched in this study.</p> <p>Experts from partner companies were interviewed for larger perspective. After research and interviews, required equipment was acquired and commissioned for the company. As a result, mapping of distribution network was made a part of designing and documentation for the company.</p>	
Keywords	Location mapping, satellite surveying, power grid designing

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Jakeluverkko	1
3	Jakeluverkon paikkatietovaatimus	3
3.1	Lait	3
3.2	JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen	4
3.3	Verkostosuositus	6
3.4	Standardit	7
3.5	Traficom määräys M71	9
3.6	Fyysinen infrastruktuuri	10
3.7	Aktiiviset verkon osat	11
3.8	Rakentamissuunnitelmat	11
3.9	Tietojen muoto, toimittaminen ja sijaintitarkkuus	11
4	Satelliittijärjestelmät	12
4.1	GPS-järjestelmä	13
4.2	GLONASS-järjestelmä	14
4.3	BeiDou-järjestelmä	15
4.4	GALILEO-järjestelmä	15
4.5	Muut-järjestelmä	16
5	Mittausmenetelmät	17
5.1	Koodiin perustuva paikannus	17
5.1.1	Differentiaalipaikannus	18
5.1.2	Alueelliset parannusjärjestelmät	19
5.2	Kantaaaltpaikannus	19
5.2.1	Kinemaattinen paikannus	20
5.2.2	Staattinen paikannus	21
6	Sijaintimittauksen haasteet	21

7	Laitteistot	23
7.1	Verkko-RTK	23
7.2	GNSS-vastaanotin	24
7.3	Kaapelinhakulaite	25
8	Yhteenveto	26
	Lähteet	28

Lyhenteet

EUREF-FIN: Euroopan terrestrisen vertausjärjestelmän suomalainen versio.

ETRS-TM35FIN:

Suomalainen tasokoordinaatiojärjestelmä.

GNSS: Global Navigation Satellite System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.

GPS: Global Positioning System. Yhdysvaltain puolustusministeriön satelliittipaikannusjärjestelmä.

JHS: Julkisen hallinnon suositukset.

N2000: Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.

RTK: Real time kinematic. Satelliittimittaustekniikka, jossa mittaavan vastaanottimen ja tukiasemavastaanottimen vaihevaihtoja hyväksi käyttäen ratkaistaan reaaliajassa tarkka sijainti.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää tostek oy:lle eri keinoja toteuttaa sijaintimittausta jakeluverkon suunnittelussa ja dokumentoinnissa. Työssä käydään läpi jakeluverkon perusteet, velvoittavat tahot ja niiden vaatimukset jakeluverkon sijaintitiedoille sekä menetelmiä toteuttaa ne. Tarkasteluiden pohjalta hankitaan tarvittavat laitteistot ja käyttöön otetaan ne sekä luodaan ohjeistus yritykselle.

Eri näkökulmien ja kokemusten saamiseksi, työhön haastatellaan kumppaniyritysten asiantuntijoita. Tarkoituksena on jakaa tietoa ja kehittää toimintaa paremman verkon rakentamiseksi.

Useat lait ja standardit vaativat verkon osille tarkasti määritetyt sijaintitiedot, joten sijaintimittaus ei ole verkon rakentamisessa mikään uusi asia. Standardien tiukentuminen ja uudet määräykset ovat kuitenkin nostaneet mittauksen vaatimuksia, ja verkkoyhtiöiden tarve saada yhä laadukkaampaa paikkatietoa verkostaan on kasvanut. Näistä syistä on tarve tutkia sijaintimittauksen käyttämistä jo suunnitteluvaiheessa, eikä vain rakentamisen työkaluna, jossa todennetaan suunnitelmien toteutuminen.

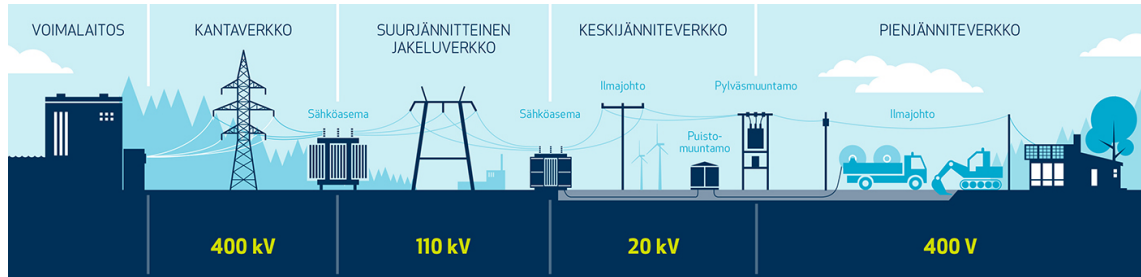
Tostek oy tekee sähköverkon suunnittelu-, konsultointi- ja projektinhoitopalveluita pääasiassa Etelä-Suomen alueella. Yritys on toiminut vuodesta 2010, ja nyt kasvaneen tarpeen vuoksi aikoo lisätä sijaintimittaustoimintaa suunnittelun työkaluksi sekä rakentamisen dokumentointiin.

2 Jakeluverkko

Kokonaisuudessaan sähköverkko koostuu useasta eri osuudesta; voimalaitoksista, suurjännitteisestä jakeluverkosta, jakeluverkosta ja erilaisista sähkön kuluttajista, jota on havainnoitu kuvassa 1. Jakeluverkolla tarkoitetaan sähköverkon osuutta, jossa sähkö jaetaan kantaverkosta kuluttajille.

Suomessa kantaverkkoa rakentaa, kehittää ja hallinnoi Fingrid Oyj, ja suurin osa suurjännitteisestä jakeluverkosta on osa tätä kantaverkkoa. Sähkö siirretään verkossa

vaihtojännitteenä, ja siirtohäviöiden minimoimiseksi käytetään useita eri jännitetasoja. Jännitetasot on jaettu sähkönjakelussa kolmeen eri luokkaan. Suurjänniteluokkaan kuuluvat yli 36 kV:n jännitteet, keskijänniteluokkaan 1–36 kV:n jännitteet ja pienjänniteluokkaan alle 1 kV:n jännitteet. Suomen kantaverkossa ja suurjännite jakeluverkossa käytettävät jännitetasot ovat 110, 220 ja 400 kV:n. Jakeluverkot ovat eri verkkoyhtiöiden hallussa, ja näistä sähkö jaetaan sähkön kuluttajille 0,4, 1, 10 ja 20 kV:n jännitetasoilla. (1; 2.)



Kuva 1. Sähköverkon havainnointi (3).

Jakeluverkko koostuu esimerkiksi; sähköasemista, muuntamoista, jakokaapeista ja johdoista sekä näiden tukirakenteista. Sähköasemilla eri jännitetasot voidaan muuntaa tarvituiksi tai keskittää sähkön jakelua, sinne missä on tarvetta. Muuntamot voivat olla pylväisiin rakennettavia pylväsmuuntamoita, puistomuuntamoita tai erilaisiin rakennelmiin sijoituvia muuntamoita, kuten kiinteistömuuntamoita. Näillä muuntamoilla yleensä muunnetaan jännite käyttäjille pienjännitteeksi tai haaroitetaan keskijänniteverkkoa. Jakokaapit ovat maahan rakennettavia kaappeja, joilla yhteyksiä voidaan jakaa. Näihin kaappeihin on mahdollista lisätä erillisiä suojauslaitteita tai tapauskohtaisesti mittalaitteita. Sähkö siirretään lopulta ilmajohtoja tai maakaapeleita pitkin kuluttajille. Jakeluverkon osiin lukeutuu ilmajohtoja tukevat pylväät ja niiden tukirakenteet. Maakaapeloinnilla tarkoitetaan maahan kaivettua kaapelia, joka kaivetaan eri syvyyksiin riippuen maaperästä ja kaivannon sijainnista. Maakaapelit voidaan myös suojata eri mekaanisilla suojuuksilla riippuen sijainnista tai verkon kriittisyydestä. (1; 2.)

Jakeluverkot ovat eri sähköverkkoyhtiöiden ylläpitämiä. Suomessa toimii noin 80 eri yhtiötä, näistä suurimmat Caruna Oy, Caruna Espoo Oy, Elenia Verkko Oyj ja Helen Sähköverkot Oy. Suurimmat 15 yhtiötä omistavat yli 70 % jakeluverkoista, ja pienimmät yhtiöt kattavat yleensä kunnallisen alueen sekä palvelevat muutamia tuhatta käyttäjää. (2.)

3 Jakeluverkon paikkatietovaatimus

Useat eri lait, asetukset ja standardit velvoittavat verkonhaltijoita ylläpitämään paikkatietoa omistamastaan verkosta. Verkon paikkatiedot dokumentoidaan verkonhaltijan verkotietojärjestelmään. Tämä tieto on tärkeä työturvallisuuden kannalta, sillä virheellinen kaivaus voi olla hengenvaarallista. Varsinkin kaupunki ja taajama-alueilla sijaintitiedon tarkkuus on nykypäivänä säädetty hyvin tarkaksi.

Sähköverkon kohteiden tarkat sijainnit ovat tärkeässä asemassa verkon suunnittelun kannalta myös lupien hankinnassa, rakentamisessa ja käytön aikana. Paikkatiedon tarkkuus vaikuttaa suoraan rakentamisprojektin kustannusyksiköiden määrään.

Vaikka monet lait, asetukset ja standardit asettavat vaatimukset paikkatietojen keräämiselle ja dokumentoinnille, voivat verkonhaltijat halutessaan vaatia tiukempaa mittausdataa verkon rakentamisessa. Vaatimukset voivat poiketa huomattavastikin verkkoyhtiöiden välillä, ja jopa yhtiöiden sisällä tilauskohtaisesti riippuen työalueesta.

3.1 Lait

Sähkömarkkinalaki ohjaa sähköverkkotoimintaa niin että sähköllä on hyvä toimitusvarmuus, kilpailukykyinen hinta ja että kohtuulliset palveluperiaatteet on turvattu kuluttajille. Laki koskee sähkön tuotantoa, tuontia, vientiä ja toimitusta sekä sähkönsiirtoa ja -jakelua. (4, §1–2.) Sähköturvallisuuslaki velvoittaa sähkölaitteistot suunniteltaviksi, rakennettaviksi ja korjattavaksi niin että se täyttää olennaiset turvallisuusvaatimukset. Vaaditut turvallisuusvaatimukset katsotaan täyttyvän, kun sähköverkko rakennetaan sähköturvallisuusviranomaisen julkaiseman standardiluettelon mukaisia standardeja noudattaen. (5, §31–32.) Suomessa sähköturvallisuusviranomaisena toimii Turvallisuus- ja kemikaalivirasto Tukes.

Sähköverkon sijainnista työturvallisuuden näkökulmasta määrätään Valtioneuvoston asetuksessa rakennustyön turvallisuudesta, siten että ennen kaikkea maanrakentamista, ja muuta vastaavaa työtä, on selvitettävä sijaitseeko työalueella sähkökaapeleita maassa (6, §33). Sähkömarkkinalaissa on myös kirjattu verkonhaltijan vastuuksi toimittaa veloituksetta työtä tekeville taholle sijainnit sähköverkostaan digitaalisessa

muodossa, sekä kaikki muut tarvittavat tiedot, että työn voi tehdä turvallisesti. Sijaintitietojen tarkkuudesta ja tallennusmuodosta voi säätää erillisellä valtioneuvoston asetuksella. Näitä tietoja on käsiteltävä siten, ettei niiden tietoturva vaarannu. (4, §110.)

3.2 JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen

JHS-suosituksilla eli julkisen hallinnon suosituksilla ohjeistetaan kuntien ja valtioiden toimintatapoja. Näiden suositusten pohjalta on luotu myös mallit, kuinka paikkatietoaineistot ja -palvelut toteutetaan Suomessa. (7.)

JHS 185 antaa suositukset siitä millä menetelmillä Suomessa luodaan pohjakarttoja, ja mitkä ovat vaatimukset laadulle. Näihin suosituksiin pohjautuu useat standardit ja määräykset, mitkä ovat määrittäneet sijaintimittauksen vaatimukset.

Suositus jakaa kartoitusalueet eri mittausluokkiin, joka määrittää mittaus- ja kuvaustarkkuuden:

- Mittausluokka 1
 - Taajama-alueet
 - Maa on arvokasta
 - Sitovan tonttijaon asemakaava
 - Rakennuskielto asemakaavalle
- Mittausluokka 2
 - Taajama-alueet
 - Asemakaava ei edellytä sitovaa tonttijakoa
- Mittausluokka 3
 - Ranta-alueet
 - Haja-asutusalueet

Pohjakarttojen luomiseksi JHS 185 määrää käytettäväksi valtakunnallista koordinaatti- ja korkeusjärjestelmää. Nämä ovat EUREF-FIN tai sen pohjalta laaditut ETRS-GK:n tai ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto ja N2000-korkeusjärjestelmä. Samat koordinaatistot on tämän suosituksen pohjalta määrätty muissa määräyksissä käytettäväksi. (8, s. 5.)

Paikkatiedon laadulle on määritelty neljä tekijää:

- Sijaintitarkkuus
- Täydellisyys
- Looginen eheys
- Temaattinen tarkkuus

Sijaintitarkkuus

Suurta sijaintitarkkuutta vaadittaessa JHS 185 suosittelee käytettäväksi takymetri-laitetta tai RTK-mittausmenetelmää. Suurta sijaintitarkkuutta vaativat kohteet ovat rajamerkit ja rakennukset. (8, s. 7.)

Mitattavien paikkojen tasotarkkuusvaatimukset on esitetty pistekeskivirheinä. Pistekeskivirhe saadaan kaavalla:

$$\sigma_{\text{taso}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(N_{mi} - N)^2 + (E_{mi} - E)^2]}$$

- N,E on pisteen/kohteen teoreettinen keskiarvo
- N_{mi}, E_{mi} on pisteen/kohteen mitattu arvo

Pisteitä, jotka ylittävät pistekeskivirheen, saa satunnaisotoksia esiintyä korkeintaan 5 %. (9, s. 2.)

Täydellisyys

Täydellisyydellä tarkoitetaan kartan kohteiden tai näiden ominaisuuksien puuttumista. Samoin kartalla voi olla ylimääräistä tietoa, kuten kohteita joita ei todellisuudessa ole. Laatutekijän mitattavat osatekijät esitellään taulukossa 1. (8, s. 9.)

Taulukko 1. Laatutekijät

Osatekijä	Kuvaus	Mittari
Ylimääräinen tieto	Pohjakartalla olevat ylimääräiset kohteet	lukumäärä/prosenttiosuus
Puuttuva tieto	Pohjakartalta puuttuvat kohteet	lukumäärä/prosenttiosuus

Looginen eheys

Loogisella eheydellä tarkoitetaan sääntöjenmukaisuutta yleisesti, kuten rakenteisessa, ominaisuuksissa ja yhteyksissä. Kartan topologiaa ja muiden rakenteiden yhdenmukaisuutta verrataan tietomalliin. (8, s. 10.)

Temaattinen tarkkuus

Temaattisella tarkkuudella voidaan kuvata kartan kohteiden luokittelua verrattuna todellisuuteen maastossa. (8, s. 10.)

3.3 Verkostosuositus

Verkostosuositukset ovat Adato Energia Oy:n ja Energiateollisuus ry:n yhteistyössä luodut suositukset verkon rakentajille rakentamisen yhtenäistämiseksi ja helpottamiseksi. Suositukset luodaan olemassa olevien standardien ja lakien pohjalta, samalla kuunnelen alan asiantuntijoiden osaamista ja mielipiteitä.

Verkostosuosituksen RK 1:16, maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4–45 kV, on tarkoitus luoda yhtenäiset ohjeet maakaapelointityölle. Maakaapelointi yleistyy jatkuvasti kaupunkien ja taajamienkin ulkopuolella, ja toimijoiden määrä kasvaa tätä myötä. Suosituksella kerrotaan rakentajien pätevyysvaatimuksista, suunnittelusta, käytännön asentamisesta ja maaston olosuhteista. (10, s. 5.)

Sijaintimittauksen kannalta ohjeistuksessa kerrotaan dokumentoinnin vaatimuksista ja tarkkuudesta. Kaikki asennetut maakaapelit ja niiden suojaukset täytyy dokumentoida. Samaan yhteyteen asennetut muut suojaukset, maadoitukset ja mahdolliset valokuidut täytyy myös dokumentoida. Viestintävirastolla voi olla sijainnin mukaan vaatimuksia, mutta jos näitä ei ole, haja-asutusalueella täytyy sijainti mitata 50 cm:n tarkkuudella ja taajamassa 10 cm:n tai tarkemmin. (10, s. 28.)

Kaiken dokumentoinnin täytyy täyttää vaadittujen lupaehtojen ohjeet ja vaatimukset. Verkko-yhtiöllä voi olla ohjeistuksesta tarkemmat vaatimukset, mutta jos ei ole, niin dokumentoidaan vähintään kaapelityypit, jatkosten ja haaroitusten sijainnit sekä mahdolliset mekaaniset suojaustavat ja niiden sijainnit. Karttatiedostot on toimitettava tilaajalle tämän kanssa sovitussa tiedostomuodossa. (10, s. 28.)

Riippuen kaapeloinnin asennusalueesta on asennussyvyys myös dokumentoitava riittäväällä tarkkuudella. Tämä vaihtelee merkittävästi asennusalueen mukaan, esimerkiksi siileillä peltoaluille pistokoetarkistus riittää, mutta taajamissa ja tiealuille koko reitti täytyy mitata. Nämä mittaustiheydet määrittelee tilaaja. Samoin upotussyvyyden mittaus ja paikka täytyy dokumentoida ja toimittaa tilaajalle. (10, s. 28.)

Maakaapeloinnin dokumentoinnin kehityksen kannalta suositus kehottaa keskittymään toimintatapojen ja tekniikoiden kehittämiseen. Näitä ovat esimerkiksi sijaintimittauksessa vaadittujen ohjelmistojen käytön kehittämistä sekä lasertekniikka. Kaapelia aurattaessa täytyisi ennen aurausta maanpinnan korkeus mitata esimerkiksi lasertekniikalla, sillä aurauksen jälkeen kaivuujasta nostettava maa hankaloittaa syvyyden todentamista. (10, s. 33.)

3.4 Standardit

Standardeilla tarkoitetaan julkaisuja, jotka ovat yhdessä sovittuja vaatimuksia, suosituksia tai tuotteen ominaisuuksia. Ne voivat olla myös toimintatapojen kuten valmistuksen, testauksen tai palveluiden suosituksia ja vaatimuksia.

Sähköturvallisuuslain vaatimien oleellisten turvallisuusvaatimusten katsotaan täyttyvän, jos toimitaan Sähköturvallisuusviranomaisen julkaiseman standardiluettelon mukaisten

standardien mukaan. Poikkeuksellisissa tapauksissa standardeista voidaan poiketa, jos vaadittu turvallisuustaso saavutetaan toisin keinoin. Jokaisesta tällaisesta tapauksesta tehdään kirjallinen selvitys, jolle mahdollinen tilaaja antaa suostumuksensa. (5, §31–34.)

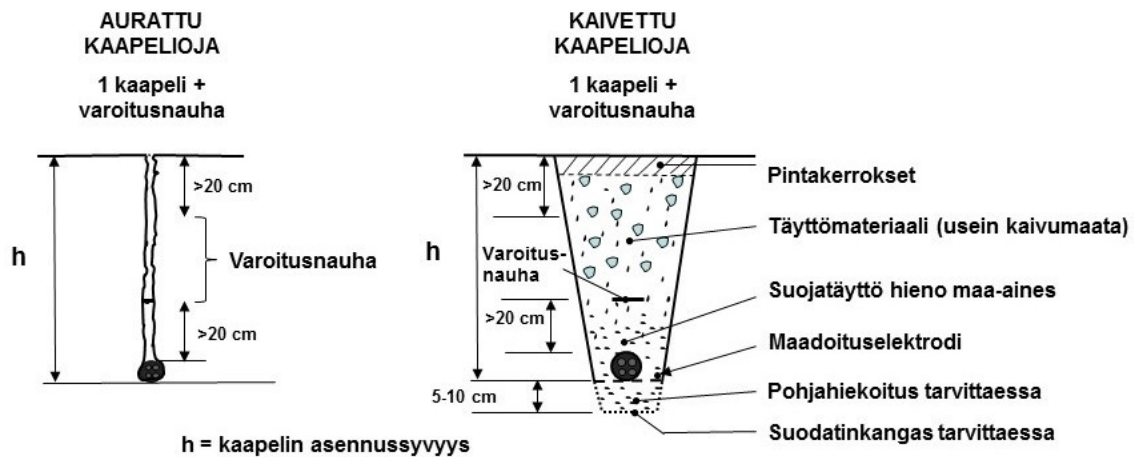
Verkon sijainnin dokumentoimisesta määrätään myös useassa eri sähköalan standardissa:

- SFS6000
- SFS6001
- SFS-EN 61082
- SFS-EN 81346

Standardi SFS 6000-8-801 velvoittaa, että jakeluverkosta tehdään verkkokartta, josta selviää verkon käytölle ja hoidolle tarvittavat tiedot:

- muuntajien ja generaattoreiden mitoitusarvot, sisäiset kytkennät ja oikosulkuimpedanssit
- johtojen pituudet, poikkipinnat ja laji, mukaan lukien liittymisjohdot
- liittymäkohtien oikosulkuvirrat
- suojiin ja suojalaitteiden laatu sekä mitoitusvirrat
- maadoituspaikat.

Tarkoituksena on, että verkkokartasta löytyisi rakenteen lisäksi mainitut tiedot helpottamaan kunnossapito- ja korjaustoimintoja (12, s. 11). Maahan tai veteen asennetut kaapelit määrätään dokumentoitavaksi kartastoon SFS 6000-8-814 standardissa. Standardi velvoittaa kaapelin sijainnin on kartassa nojaututtava pysyviin, maastossa oleviin kiintopisteisiin tai koordinaatistoon. Samassa standardissa määritetään myös maakaapelin asennussyvyys, ja sen suojaus eri tilanteissa, jota on kuvattu kuvassa 2. Nämä ovat oleelliset tiedot myös sijainnin kannalta, sillä syvyys on yksi vaadittuja dokumentoituja tietoja. (13, s. 7.)



Kuva 2. Kaapeliojan periaatteellinen poikkileikkaus (13, s. 6).

SFS6001 mainitsee erikseen, että maadoitusjärjestelmien dokumentaatiossa on järjestelmästä laadittava asemapiirros, josta käy ilmi elektrodien materiaali, sijainti, haaroitus-pisteet ja asennussyvyys (14).

SFS-EN 61082 ja 81346 määrittelevät yleisiä dokumentaatio tapoja. SFS 6000 ja 6001 vaativat näiden ohjeiden noudattamista verkkokarttojen luomisessa.

3.5 Traficom määräys M71

Traficom on eli Suomen liikenne- ja viestintäviraston tehtävänä on kehittää liikenteen ja datan liikkuvuutta parantamalla toimintavarmuutta ja palveluita (17).

Traficom on antanut uuden määräyksen verkon rakentamisesta 2019. Määräyksellä M71 Traficom on tarkoitus parantaa yhteisrakentamista ja -käyttöä sekä edelleen jatkaa verkkoinfrastruktuurin suojaamista maarakennustyöstä aiheutuvilta riskeiltä. Tähän sovelletaan verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä annettua lakia (276/2016). Tällä määräyksellä on tarkoituksena määrätä vähimmäissisältö, tietojen digitaalinen muoto sekä niiden järjestelmien yhteen toimivuus. Määräys koskee kaikkia laissa säädettyjä verkkoinfrastruktuureja, mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään vain sähköverkoja koskeviin asioihin. (18, s. 2.)

Määräyksellä määritetään tiedot, joita verkonrakentajan on toimitettava fyysisestä infrastruktuurista, aktiivisista verkon osista, rakentamissuunnitelmista ja tietojen toimittamisesta. Määräys tuli voimaan 1.6.2020, mutta fyysisen infrastruktuurin ja aktiivisen verkon osien kohdalta tiedot on oltava toimitettuna viimeistään 1.10.2022. (18, s. 10–11.)

3.6 Fyysinen infrastruktuuri

Fyysisellä infrastruktuurilla tarkoitetaan jakeluverkossa johtoteitä, kaivoja, ja erilaiset pylvää, mastot, tornit, sekä kaikki laitetilat. Määräyksessä todetaan että mainituista kohteista on toimitettava ominaistiedot, X- ja Y-koordinaatit, sijaintitarkkuus ja sijainnin määrittelytapa. Johtoteistä on säädetty muita kohteita tarkemmin vaadittuja tietoja. Johtotiet ovat suojaputkia tai kaapelikanavia, -kouruja ja -hyllyjä.

1.1.2021 jälkeen johtoteiden toimitetuista tiedoista on vähintään tultava ilmi:

- verkkotyyppi
- tieto siitä, onko kyseessä reitti vai yksittäinen johto
- X- ja Y-koordinaatit
- Z-koordinaatti tai syvyystieto, jos syvyys poikkeaa suunnitellusta tai on muusta syystä mitattu
- suunniteltu asennussyvyys
- sijaintitarkkuus ja sijainnin määrittelytapa
- rakennusvuosi
- käyttötila
- kartta-alue
- näyttöalue
- se, välittääkö Sijaintietopalvelu näyttöpyynnön verkkotoimijan näyttäjälle vai näyttötarpeen jatkoselvittäjälle.

Jos johtotiellä on useampia johtoja, täytyy tiedoista käydä myös ilmi johtojen lukumäärä. Mitatun Z-koordinaatin tai syvyyden poiketessa muista johdoista, ilmoitetaan tieto matalimmasta johdosta, kohdasta jossa johtotie on lähimpänä maanpintaa. (18, s. 3–5.)

3.7 Aktiiviset verkon osat

Verkkotyypistä riippuen aktiivisella verkolla voidaan tarkoittaa eri asioita. Sähköverkossa aktiivisilla osilla tarkoitetaan kaapeleita tai johtoja, joissa sähkö siirretään. Vaaditut tiedot ovat samat kuin johtotiellä, poiketen että lisäksi toimitetaan kaapelikieppien sijaintikoordinaatit. Kiepeistä on myös toimitettava paikannusondin tunnistetieto, jos tämä on saatavilla digitaalisessa muodossa. (18, s. 6–7.)

3.8 Rakentamissuunnitelmat

Rakentamissuunnitelmista on toimitettava seuraavat vaaditut tiedot Verkkotietopiste.fi-palveluun (18, s. 9):

- rakentamissuunnitelman nimi
- verkkotyyppi
- sähköverkkojen jännitetaso tai muu tyyppi
- hankealueen rajaus
- rakennusaikataulu
- valmiusaste.

3.9 Tietojen muoto, toimittaminen ja sijaintitarkkuus

Koordinaatistona on käytettävä ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistoa, ja N2000-korkeusjärjestelmää. Nämä ovat valtakunnalliset järjestelmät, jotka JHS185 velvoittaa käytettäväksi, ja vahvistetaan Traficomien määräyksellä.

1.1.2021 jälkeen, määräyksen ollessa voimassa, vaadittu sijaintitarkkuus tiukentuu taajamissa. Taajamissa vaadittu tarkkuus X- ja Y-koordinaateilla on ± 10 cms ja taajamien ulkopuolella ± 50 cm. Z-koordinaatti tai muuten mitattu syvyystieto on oltava vähintään ± 10 cm riippumatta alueesta. Tiedot toimitetaan Sijaintitietopalveluun vektoriaineistona verkkotoimijan sähköisestä rajapinnasta tai muulla työkalulla (18, s. 9–10).

4 Satelliittijärjestelmät

Satelliitteja käytetään yleisesti eri laitteiden navigoinnissa ja paikantamisessa. Näiden tarkkuudella päästään helposti alle metrin tarkkuuteen ympäri maailmaa hetkessä. Hyödyntämällä erilaisia verkkopalveluita tarkkuutta saadaan tarkennettua senttimetreihin. Näillä tarkkuuksilla päästään jakeluverkon rakentamisen vaatimuksiin, ja satelliittipaikannus onkin ollut suosituin tapa eri infrastruktuurien rakentamisen sijaintimittauksessa. (19.)

GPS-termi (Global Positioning System) on monelle synonyymi satelliittipaikannukselle. Järjestelmä on kuitenkin USA:n puolustusministeriön ylläpitämä ja kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä, ja nykyään muiden järjestelmien kehityttyä rinnalle käytetään yleisimmin termiä GNSS (Global Navigation Satellite System), joka kattaa koko maailmaa palvelevat satelliittipaikannusjärjestelmät. Eri valtioiden ja järjestöjen kehittämät järjestelmät eroavat ominaisuuksiltaan toisistaan, jota on kuvattu taulukossa 2. (19.)



Kuva 3. GNSS-havainnointi. (20)

Taulukko 2. Satelliittijärjestelmien ominaisuudet.

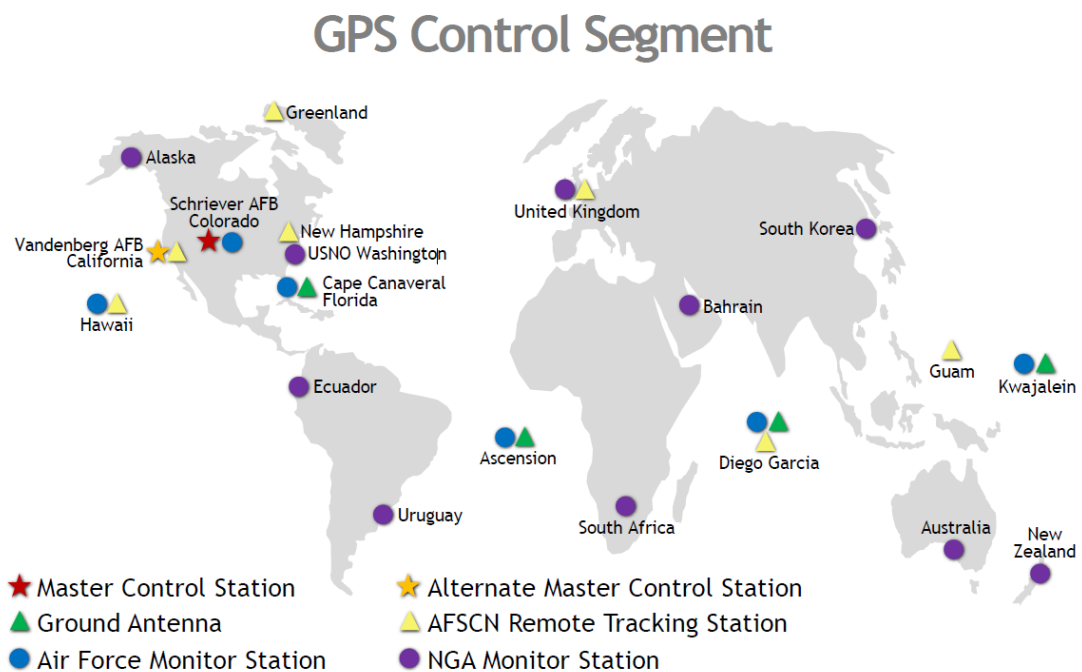
Satelliittijärjestelmät	Kansallisuus	Satelliittien määrä	Kantoaallon taajuus
GPS	Yhdysvallat	30–32	L1 (1575,42 MHz) L2 (1227,6 MHz) L5 (1176,45 MHz)
GLONASS	Venäjä	24	FDMA (1–2 GHz)
BeiDou	Kiina	35	B1 (1561,1 MHz) B2 (1207,12 MHz) B3 (1268,52 MHz)
Galileo	Eurooppa	30	E1 (1575,42 MHz) E5 (1176,45 MHz) E5a (1176,45 MHz) E5b (1207,14 MHz) E6 (1278,75 MHz)

4.1 GPS-järjestelmä

GPS-järjestelmän synty on alkanut 1960-luvulta, mutta ensimmäinen satelliitti laukaistiin 1978 ja seuraavana vuonna vastaanottimet otettiin käyttöön. Paikannusjärjestelmä on alun perin Yhdysvaltain puolustusministeriön sotilaskäyttöön kehittämä järjestelmä. Järjestelmä oli kokonaisuudessaan käytössä 1995, ja 2000-luvulla sen käyttö laajeni valtavasti, kun siviilikäytön paikannusta heikentävä häirintä poistettiin. Yhdysvallat edelleen ylläpitää järjestelmää, ja voi halutessaan kieltää muilta tämän käytön. Tästä syystä monet eri maat ovat kehittäneet omat vastaavat järjestelmänsä. (21, s. 19–22.)

Satelliitteja on kokonaisuudessaan 30–32 varasatelliitit mukaan laskien. 24 näistä kiertävät maata kuudella eri tasolla, ja näin on joka hetki näkyvissä vähintään kuusi satelliittia, jotta paikannuksen varmuus täyttyy. (21, s. 19–22.)

Järjestelmää ylläpidetään Yhdysvaltojen Coloradosta. Kontrolli- sekä seuranta-asemien määrää on lisätty vuosien varrella ympäri maailmaa, kuten kuvassa 4 näkyy, tarkkuuden lisäämiseksi. Verrattuna koko GNSS-järjestelmien asemiin on GPS-järjestelmän asemia määrällisesti vähemmän, ja sillä ei saavuteta GNSS-järjestelmän kahden sentin mittaus-tarkkuutta. (21, s. 19–22.)



Kuva 4. GPS-järjestelmän kontrolliverkko (22)

4.2 GLONASS-järjestelmä

GLONASS (Глобальная навигационная спутниковая система, Global Navigation Satellite System) on Venäjän versio GPS-järjestelmästä, jonka tavoitteet ja toteutus on hyvin samankaltainen. Alun perin Neuvostoliitossa sotilaalliseen käyttöön vuonna 1982 kehitetty järjestelmä on saavuttanut tavoitetun toiminnan 1996. Satelliitteja on lähetetty kiertoradalle muutama sataa alkuperäisten satelliittien lyhyen eliniän vuoksi. 2000-luvulla Venäjän duuman päätöksestä järjestelmää uudistettiin, ja nykyaikaisia eliniältään 10 vuoden satelliitteja valmistettiin ja otettiin käyttöön.

Satelliitteja on toiminnassa 24 kolmella eri tasolla. GPS:ään verrattuna järjestelmä on vakaampi, koska satelliitit ylittävät täsmälleen saman kohdan harvemmin. Tämä laskee virheiden määrää. Haasteita aiheuttaa valinta käyttää jokaiselle satelliitille omaa lähetystaajuutta. Käytetyillä taajuuksilla on ruuhkaa muiden käyttäjien kanssa, ja taajuuksia on jouduttu jälkikäteen vaihtamaan toimivuuden vuoksi.

GLONASS-järjestelmän kontrolliasemia on haasteellisen vähän ympäri maailmaa. Näitä on rakennettuna lähinnä entisen Neuvostoliiton alueille, sekä Brasiliaan, joten tästä syystä tarkkuudet voivat vaihdella näiden alueiden ulkopuolella. (21, s. 22–25.)

4.3 BeiDou-järjestelmä

BeiDou on Kiinan versio paikannusjärjestelmästä ja sen rakentaminen aloitettiin vuonna 2000. Alkuvaiheessa järjestelmässä oli vain kolme satelliittia ja paikannus toimi ainoastaan Kiinan alueella, mutta järjestelmän kehittyessä satelliittien määrää lisättiin. Järjestelmässä on 35 satelliittia, joista 27 kiertävät samankaltaisia ratoja kuin muutkin globaalit järjestelmät. Loput satelliitit ovat geostationarisella tai geosynkronisella radalla, mahdollistaen paikantamisen optimoinnin halutulle alueelle. Tämä alue on Kaukoitä, Oseania ja Tyynenmeren alue.

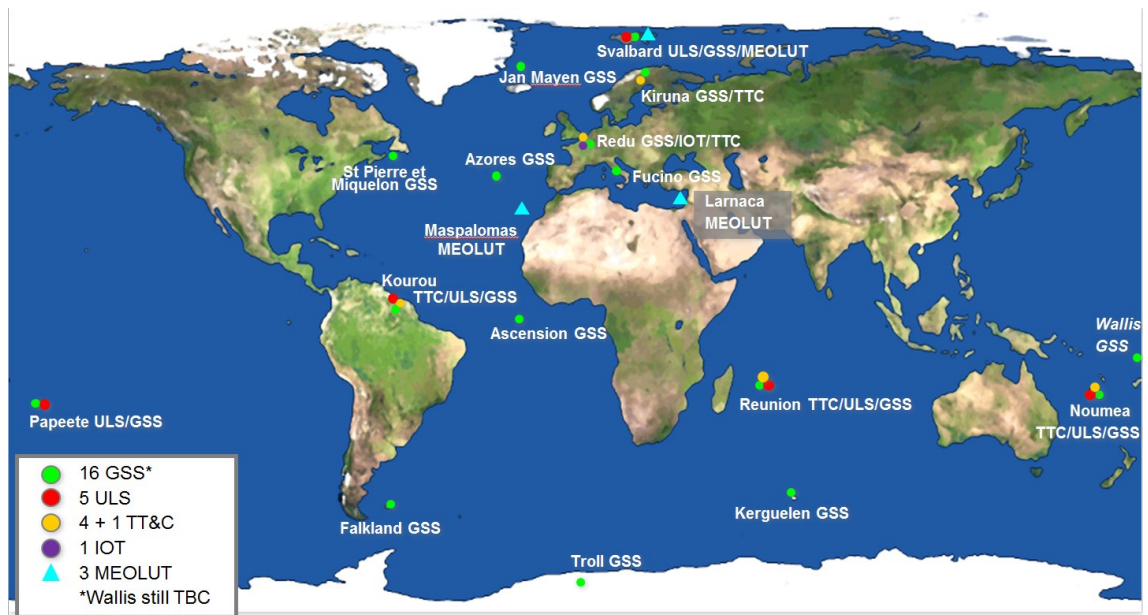
Järjestelmän käyttämät signaalit menevät osittain päällekkäin muiden GNSS-järjestelmien kanssa. Tarkkuus on sotilaskäytössä 10 cm ja avoimessa palvelussa 10 m, mutta järjestelmän käyttö Kiinan ulkopuolella on ollut vähäistä. (21, s. 27–29.)

4.4 GALILEO-järjestelmä

Galileo on eurooppalainen siviilipaikannusjärjestelmä. Poiketen GPS:stä ja GLONASS:sta se on suunniteltu avoimeksi ja vapaasti käytettäväksi, vaikka sisältää vain viranomaisille tarkoitettuja toimintoja.

Järjestelmän rakentaminen aloitettiin 2003, ja ensimmäinen testisatelliitti laukaistiin 2005. Satelliitteja on käytössä 30 kolmella eri tasolla, joista jokaisella tasolla on oma

varasatelliitti. Kokonaisuudessaan järjestelmän on tarkoitus olla käyttöönotettu vuonna 2024, vaikka suurin osa palveluista onkin jo käytössä.



Kuva 5. Galileo-järjestelmän tukiasemat. (23)

Galileon maaosuuteen kuuluu kontrollikeskukset ja maailmanlaajuinen lähetyssasemaverkko, kuten ilmenee kuvasta 5. Kontrollikeskukset ovat Saksassa ja Italiassa. Navigointitarkkuus on Galileossa luvattu 6 m, ja toimimalla yhdessä GPS:n kanssa saavutetaan 4 m. Suhteellinen paikannus toimii alle 10 cm tarkkuudella, mikä on tarkempi kuin GPS:ää käytettäessä. (21, s. 25–27.)

4.5 Muut-järjestelmä

Muita satelliittipaikannusjärjestelmiä on käytössä ainoastaan Japanilla, QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), ja Intialla, IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System). Kummatkin järjestelmät toimivat lähinnä paikallisesti maiden alueilla.

Japanin järjestelmää ei ole suunniteltu itsenäiseksi, vaan vahvistamaan GPS-järjestelmän tarkkuutta Japanin alueella. Satelliitit toimivat yhteensopivilla signaaleilla GPS-

satelliittien kanssa, joten samat vastaanottimet toimivat molemmilla järjestelmillä. Tarkkuus on paikallisella vahvistuksella parantanut varsinkin kaupunki alueilla. (21, s. 29–30.)

5 Mittausmenetelmät

GNNS-järjestelmien käyttöön on myös useita erityyppisiä mittausmenetelmiä, ja nämä sopivat eri tarkoituksiin. Joissain tapauksissa voi tarvita reaaliaikaista menetelmää, toisissa jatkuvaa havainnointia. Menetelmät voidaan jakaa tarkoituksen mukaan, tarkkuuksien tai vastaanottimien määrällä, jotka listattu taulukossa 3. (21, s. 249.)

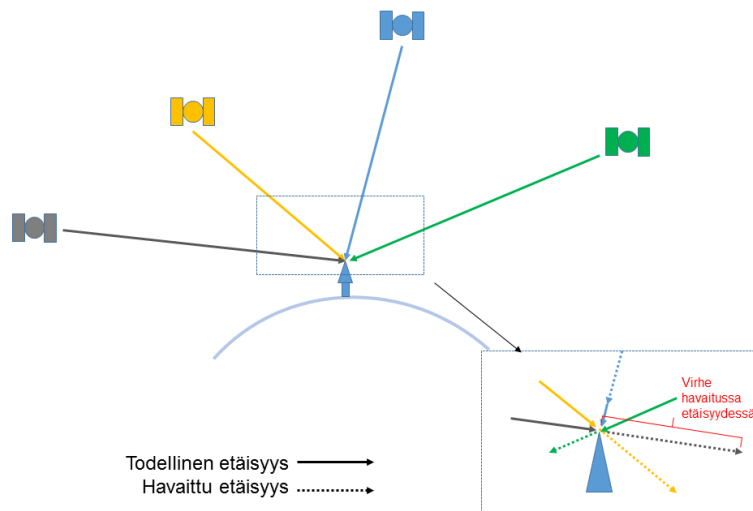
Taulukko 3. Mittausmenetelmien ominaisuuksia.

Mittaustapa	Mittaussuure	Sijainnin las- kenta	Virheiden kor- jaus	Tarkkuus
Absoluuttinen paikannus	Koodi	Satelliitteihin vertailu	Mallintaminen ja toisto	5–10 m
DGNSS	Koodi	Satelliitteihin vertailu	Tukiasemakorjaus, mallintaminen ja toisto	0,5–5 m
Kantoaalto	Kantoaalto	Vertailu vastaanottimesta	Erotushavainnot, mallintaminen ja toisto	< 0,05 m

5.1 Koodiin perustuva paikannus

Absoluuttisessa paikannuksessa eli koodiin perustuvassa paikannuksessa vastaanotetaan neljältä eri satelliitilta koodi ja näistä muodostetaan havaintomatriisi, josta sijainti ratkaistaan, jota on havainnoitu kuvassa 6. Tällä menetelmällä päästään vain muutaman metrin tarkkuuteen. Menetelmää käytetäänkin lähinnä reaaliaikaiseen navigointiin.

Menetelmä on GPS-järjestelmälle alun perin tarkoitettu menetelmä, jonka tarkkuus myös riippuu käyttäkö julkisesti avoimina olevia koodeja, vai salattuja. (21, s. 255–256.)

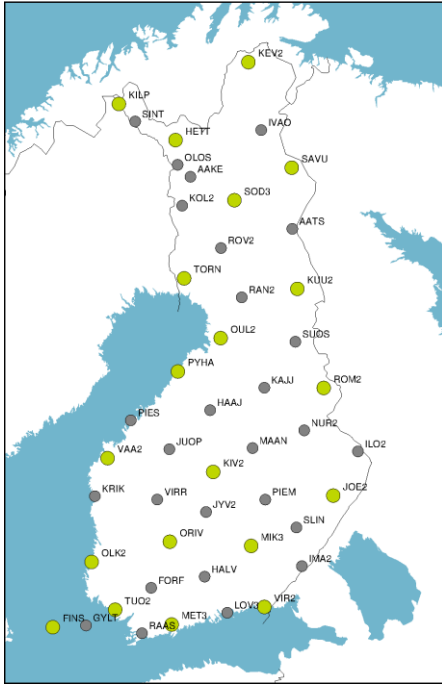


Kuva 6. Paikannuksen periaate. (24)

5.1.1 Differentiaalipaikannus

Koodiin perustuvan paikannuksen tarkkuutta voidaan parantaa käyttämällä tukiasemaa tai tukiasemaverkkoa. Tätä kutsutaan differentiaalipaikannukseksi (DGNSS). Tukiasemat mittaavat samojen satelliittien signaaleja kuin vastaanotin. Asemilla havaitaan signaalien ja signaalien kulkuun vaikuttavat tekijät ja virheet, ja nämä voidaan korjata laskennalla. Korjaukset välitetään laskennan jälkeen vastaanottimelle. (21, s. 257.)

Yhden aseman signaalien korjaukset voivat olla vielä epävarmoja, joten näiden pienentämiseksi käytetään tukiasemaverkkoa, mikä on havainnoinu Suomen kartalle kuvassa 7. Suomessa FinnRef-verkolla päästään 0,5 m:n mittaustarkkuuteen. (21, s. 258.)



Kuva 7. FinRef-verkon tukiasemat. (25)

5.1.2 Alueelliset parannusjärjestelmät

GNSS-järjestelmien toimintaa voidaan parantaa geostationaarisilla satelliiteilla koodiin perustuvissa paikannuksissa, jotka paikallisesti korjaavat järjestelmän signaaleja. Galileon ja BeiDoun mukana on näitä jo rakennettu, mutta GPS- ja GLONASS-järjestelmien rakentamisessa näitä ei ollut suunniteltu mukaan.

Euroopassa avoimena järjestelmänä toimii EGNOS-järjestelmä, joka on ollut käytössä vuodesta 2009 lähtien. Sen paikannustarkkuus on alle 3 m luokkaa, ja saatavuutta ei voida taata varmuudella joka alueella. (21, s. 259–261.)

5.2 Kantoaaltpaikannus

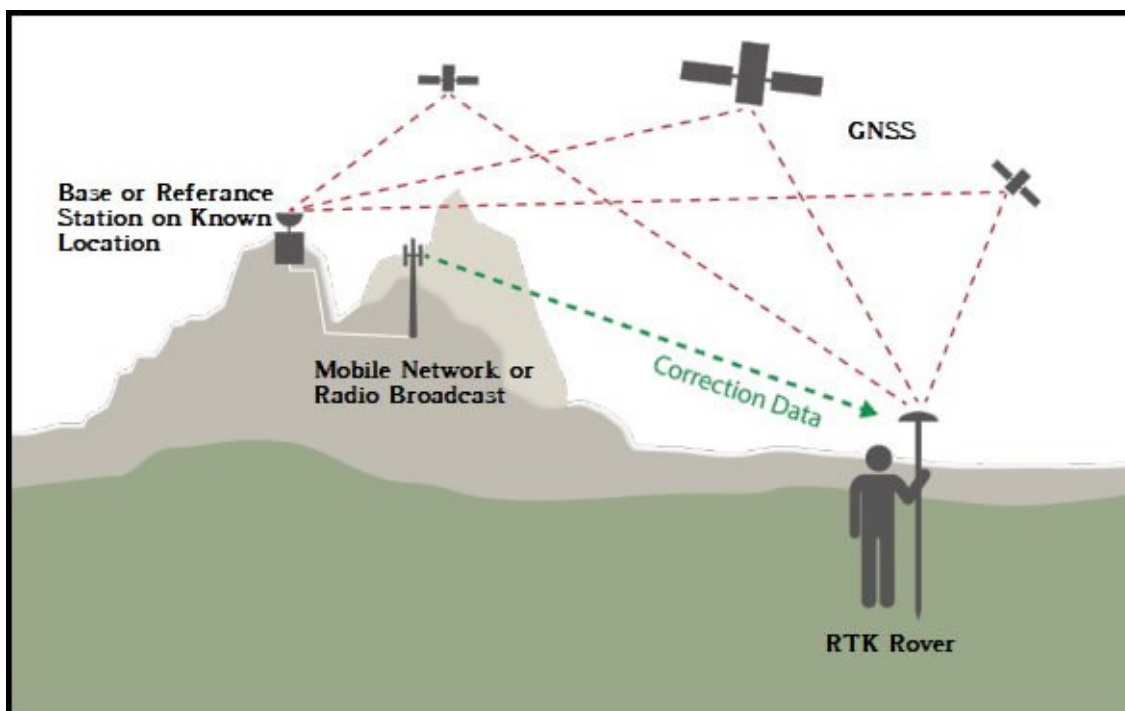
Käyttämällä koodipaikannusta ei parhaimmista tapauksista kuin 10 cm paikannustarkkuuksiin, joka ei riitä jakeluverkon haastavimmissa rakentamisalueissa. Kantoaalto mittauksissa päästään vaadittuihin senttimetri ja millimetrin tarkkuuksiin.

Verrattuna koodiin perustuvaan paikannukseen, kantoaaltoa mittaavassa paikannuksessa verrataan vastaanottimen sijaintia vertailuvastaanottimeen. Koodin lukemisen sijasta, vastaanottimet mittaavat satelliittien lähettämän signaalin aallonpituuksien lukumäärää. Jotta sijainti saadaan määritettyä, lasketaan vastaanottimet ja vertailuvastaanottimen havaittujen aallonpituuksien erotusmäärää, eli vertaillaan kahden pisteen havaintoja. (21, s. 262.)

5.2.1 Kinemaattinen paikannus

Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, RTK (Real Time Kinematic), on suosituin rakentamiseen käytetty paikannusjärjestelmä. Periaatteena on, että vastaanottimen vastaanottaman kantoaallon sijaintia verrataan jatkuvasti kiinteään tukiasemaan vastaanottamaan kantoaaltoon, jota on esitetty kuvassa 8. Sijaintien tarkkuudet voi korjata laskeamalla mittausten jälkeen tai reaaliaikaisesti.

Tukiaseman täytyy olla vastaanottimesta 10–15 km etäisyydellä, mutta käyttämällä usean tukiaseman verkkoa kasvaa etäisyys 50–80 km. Vastaanotin on yhteydessä tukiasemiin internetillä, matkapuhelinverkossa tai erillisellä radiolähtimellä. Verkko-RTK:lla päästään haluttuihin senttimetrin tarkkuuksiin. (21, s. 262–266.)



Kuva 8. RTK-periaate. (26)

5.2.2 Staattinen paikannus

Tarkimpaan mittaustarkkuuteen kantoaaltoa käyttäen päästään staattisella paikannuksella. Tässä vastaanottimen täytyy olla mittauksen ajan paikallaan, ja mittaukset voivat kestää useita minuutteja. Näiden mittauksien mittatulokset yleensä käsitellään jälkikasennassa, jolloin saadaan tarkempaa tietoa satelliittien rataelementeistä. (21, s. 266–267.)

6 Sijaintimittauksen haasteet

Sijainnimitauksessa ilmenee useita erilaisia haasteita, joita aiheutuu mittaustekniikan tai menetelmän takia. Toiset haasteet taas tulevat resursoinnista ja toimijoiden logistiikasta. (27; 28; 29; 30.)

Yhtenä suurimpana haasteena on ilmennyt maakaapeleiden asennussyvyyden todentamisen kanssa. Riippuen rakentamistavasta, ei asennettavaa kaapelia pääse mittamaan

avonaisesta ojasta, jolloin kaapeli on nähtävänä. Esimerkiksi auraamalla maakaapeli maan alle saavutetaan hyvin vähäinen rakennusjälki maalle, joka katoaa noin vuodessa, mutta samalla hankaloitetaan sijainnin todentamista. (27; 28; 29; 30.)

Avonaisesta kaivauksesta kaapelin x-, y- ja z-koordinaatit saadaan helposti mitattua GNSS-vastaanottimella. Joidenkin verkkoyhtiöiden lisävaatimuksena on koordinaattien lisäksi mitattava myös kaapelin asennussyvyys maanpinnasta. Tämä voidaan mitata avonaisesta ojasta mittaamalla. (27; 28; 29; 30.)

Jos kaapelin sijainti joudutaan todentamaan, kun se on asennettu maan alle, tapahtuu tämä käyttämällä kaapelinhakulaitetta. Hakulaitteella voidaan hakea virrallisia kaapeleita maan alta havaitsemalla sen lähettämää sähkömagneettikenttää. Lisäämällä haettavaan kaapeliin signaaligeneraattori, saadaan jännitteettömät kaapelitkin mitattua. Tällä tavoin myös saadaan mitattua kaapelin syvyys ja virta. (27; 28; 29; 30.)

Haasteita tämän kaltaiseen kaapelinhakuun tuo maassa olevat metallit. Kaikki metallit häiritsevät signaalien havaitsemista, näitä ovat muut kaapelit, metalliset rakenteet ja maan mineraaleissa ilmenevä metallisuus. Tästä syystä mittaustulokset voivat vaihdella suuresti riippuen olosuhteista, joka vaatii mittaajalta tarkkaavaisuutta. (27; 28; 29; 30.)

Toisenlaisia haasteita syvyyden mittaamisessa luo tuloksien laaduntarkastus. Riippuen syvyyden mittaustavasta, voi ulkopuolisten tarkastusten tekijä saada täysin eri mittaustuloksia. Jos alkuperäinen mittaustulos on mitattu avonaisesta ojasta ja jälkitarkastus tehdään maan pinnalta, kun maata on voitu muokata, voi tämä näkyä laatuvirheenä toimijalle. Näitä tilanteita on syytä tarkastella kaikkien toimijoiden kanssa. (27; 28; 29; 30.)

Rakentamisen aikana mittauksia tehdessä ilmenee toisenlaisia haasteita. Kun mittauksia ei suorita verkon rakentajat, vaan erillinen taho, tulee rakentamisen aikatauluttamisesta tärkeää. Useat toimijat työmaalla aiheuttavat haasteita töiden yhteen sovittamisesta. Samalla työmaalla voi olla myös useita eri mittaajia, riippuen minkälaista ja kuinka monta eri infrastruktuuria ollaan rakentamassa. (27; 28; 29; 30.)

Mittaajien ja mittauskalustojen resursseihin täytyy myös kiinnittää huomiota. Jotta mitaukset saataisiin suoritettua laajemmilta työmailta, joissa rakennetaan verkkoa

samanaikaisesti, täytyy mittauksiakin tehdä samaa vauhtia. Riittävän tarkkuuden saamiseksi täytyy laitteistossa olla käytössä verkko-RTK lisenssi. Yksi lisenssi voi olla käytössä samaa aikaa vain yhdessä mittauskalustossa, ja tämä voi aiheuttaa haasteita samanaikaisten rakennustöiden kanssa. (27; 28; 29; 30.)

Hankaluutena on myös Suomen jääminen paikannussatelliittien katvealueelle. GPS-satelliitit eivät yllä kokonaan pohjoisen Euroopan ylle, ja GLONASS-järjestelmä onkin ollut tässä tärkeä paikkaus. Verkko-RTK on ollut näissä korjauksissa hyvin tärkeä, ja tarkkuus paranee jatkuvasti Galileo-järjestelmän kehittyessä. (27; 28; 29; 30.)

7 Laitteistot

7.1 Verkko-RTK

Jakeluverkon rakentamiseen käytettävistä sijaintimittausmenetelmistä suosituin on käyttää GNSS-vastaanottimia yhdistettynä verkko-RTK-korjauspalveluun. Suomessa verkko-RTK-palveluita tarjoavat Geotrim ja Leica GeoSystem. Kolmantena vaihtoehtona on Maanmittauslaitoksen FinnRef verkko-RTK, mutta se ei ole vielä avoimena kaikille käyttäjille.

Geotrimmin Trimnet VRS (Virtual Reference Station) -palvelu on Trimblen kehittämä korjauspalvelu, joka kehittyi verkko-RTK:ksi 2000-luvulla ja on jatkanut kehitystään vuosikymmenen ajan muiden satelliittijärjestelmien ohessa. Tukiasemia löytyy ympäri Suomea yli sata, ja palveluun sisältyy tuki laitteistolle ja toiminnalle. Tukiasemien levittäytyneisyyttä on esitetty kuvassa 9. Eri tarkkuusluokan lisenssejä korjauspalvelulle löytyy lukuisia riippuen omasta käyttötarpeesta. Tarkimmillaan palvelulle luvataan yhden senttimetrin tarkkuusluokkaa. (31.)



Kuva 9. Trimnet VRS -havainnekuva (31)

Leican tarjoama SmartNet-verkko-RTK-korjauspalvelu on useilla laitevalmistajilla käytössä Suomessa. Toisin kuin Geotrimmin korjauspalvelu, SmartNetissä ei ole tarjolla eri tarkkuuksille lisenssejä, vaan useita erimittaisia lisenssejä. Tasotarkkuudeksi luvataan 2 cm ja korkeudeksi 4 cm. (32.)

Etuna Trimnet-palvelussa tulee omille laitteilleen optimoidut ohjelmistot ja datan käsittely suoraan Trimble NIS verkkotietojärjestelmään. SmartNetin vahvuuksia on useiden valmistajien monipuolisuus. Hintaluokka on tarkimmille tarkkuuksille korkeuspalveluilla lähes sama, toisin INFRA ry:n jäsenet saavat tuntuvia alennuksia SmartNetin lisensseihin.

Jakeluverkon urakoitsijoilla suosituimpana laitteistona on käytetty Trimblen laitteistoja VRS-palvelulla. Tämä voi johtua Trimblen vahvasta asemasta verkko-yhtiöiden käyttämän verkkotietojärjestelmä Trimble NIS:in takia, josta löytyy suoria yhteensopivuuksia laitteiden ja järjestelmien kesken.

7.2 GNSS-vastaanotin

Suomessa laitteita tarjoaa Leican ja Geotrimmin lisäksi useita pienempiä toimijoita, joiden määrä lisääntyy jatkuvasti. GNSS-vastaanotin kokonaisuudessaan toimii kaikilla

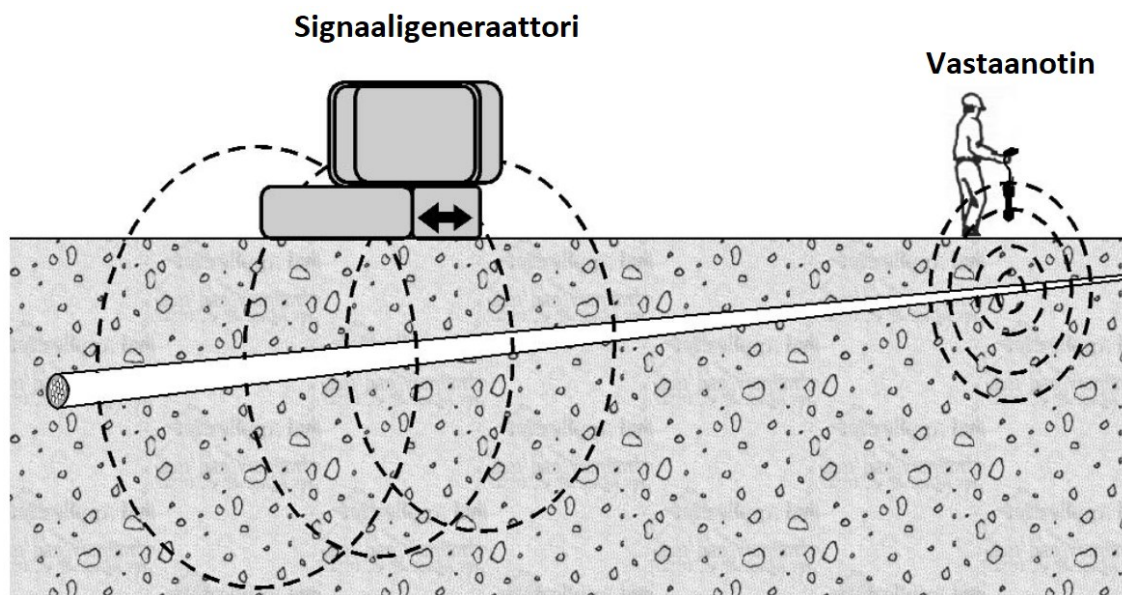
valmistajilla samoin tavoin. Valmistajalta hankitaan vastaanotin ja tämän kanssa toimiva sovellus. Sovellus toimii joko laitteiston omassa maastotietokoneessa tai muussa vastaavassa laitteella esimerkiksi tabletissa. Näiden lisäksi tarvitaan verkko-RTK-palvelu.

Laitteita kilpailutettiin tostek oy:lle eri toimittajilta, joista valittiin toiminnalle sopivin vaihtoehto. Kriteereinä valinnalle oli riittävä tarkkuus, kustannukset ja laitteiston soveltuvuus verkon suunnitteluun sekä rakentamisen eri vaiheisiin. Lisäksi haastateltiin useita kumppaniyrityksen henkilöitä kokemuksien kartuttamiseksi.

7.3 Kaapelinhakulaite

Satelliittipaikannuksen pakolliseksi aputyökaluksi tarvitaan kaapelitutka. Jotta syvyyden todentaminen on mahdollista kaikissa tapauksissa, ei yrityksen toimintaa voi jättää vain GNSS-vastaanottimen varaan. Kaapelinhakulaite täytyy olla osa sijaintimittaustoimintaa jakeluverkon käyttöönottoaiheessa. Suunnittelun aikana hakulaitteisto ei ole tarpeellinen, kun suunnitellaan täysin uutta verkkoa. Nykyisten maakaapelien selvittäminen voi kuulua suunnitteluun ja tällöin kaapeleiden löytäminen onnistuu hakulaitteella.

Kaapelinhakulaitteet ovat yleinen työkalu monelle sähköurakointiyhtiölle, ja niitä on ollut käytössä jo vuosikymmeniä. Haku perustuu sähköverkon sähkömagneettikentän mittaamiseen. Virralliset vaihtojännitettä siirtävät maakaapelit kehittävät ympärilleen sähkömagneettikentän, jota vastaanotin mittaa. Jos kaapeli ei ole jännitteinen, voidaan signaaligeneraattorilla indusoida kaapeliin haluttu ja tiedetty sähkömagneettikenttä, tätä menetelmää esitetään kuvassa 10. Tämän taajuus valitaan käyttötilanteen mukaan, ja vastaanotin hakee vain tätä taajuutta. Tällä menetelmällä voidaan löytää kaapeleita, jossa on lähettyvillä muitakin jännitteisiä kaapeleita. Samalla keinolla saadaan myös mitattavan kaapelin syvyys ja virta mitattua. (33.)



Kuva 10. Kaapelinhaku. (34)

Käytetyimpiä taajuuksia ovat 8 ja 33 kHz. Korkeammat taajuudet 512 ja 640 kHz on tarkoitettu haastavien kaapeleiden löytämiseen, sekä poikkipinnaltaan pienempien, esimerkiksi puhelinjohtojen tai kuitukaapeleiden hakuun.

Syvyyden mittaamisessa kaapelinhakulaitteella täytyy olla tarkkana mittauskohteesta ja kompensoida sen mukaan. Vastaanotin mittaa kaapelista lähtevää sähkömagneettikenttää, joka säteilee kaapelin keskilinjasta. Tällöin vastaanotin ilmoittaa mitattavaksi syvyydeksi kaapelin keskilinjan, ja verkkoyhtiöiden vaatimuksena syvyydestä on ilmoitettava kaapelin lähimmästä kohdasta maanpintaa tai suojauksesta. Mittauksessa on siis huomioitava kaapelin poikkipinta ja kompensoitava tämä etukäteen vastaanottimelle. Myös vastaanottimen etäisyys maanpinnasta on pidettävä samana jatkuvasti ja laitevalmistajan ohjeiden mukaisena. (34.)

8 Yhteenveto

Yhteiskunnan infrastruktuurin paikkatiedon tarkkuudelle asetetaan jatkuvasti tiukentuvia vaatimuksia. Tämä näkyy säännöllisin välein päivittyvistä säädöksistä ja myös sähköverkon verkkoyhtiöiden vaatimusten tiukentumisesta. Verkkoyhtiöt voivat lisätä rakentajille lisävaatimuksia saavuttaakseen haluamansa laadun paikkatiedon osalta. Esimerkiksi

voidaan vaatia sijaintimittauksen käyttämistä jo maastosuunnittelu vaiheessa. Näin välttään haastavilta ja vahingollisilta tilanteilta, joissa rakentaminen on tapahtunut väärille kiinteistöille.

Kaikki rakennusurakoitsijat eivät ole kiinnostuneita sijaintimittauksen lisäämisestä palveluihinsa tai suorittamaan sitä itse rakentamisen aikana, vaikka mittauksen tekeminen rakentamisen aikana olisikin luonnollista. Tämä korostaa mittauksen tärkeyttä maastosuunnittelun aikana, jotta suunnitellut rakenteet saadaan valmiiksi oikeille kohdille. Mittauksen suorittaminen jääkin usein suunnittelun toteuttaneiden tahojen tai muun ulkopuolisen tahon vastuulle. Tästä syystä toiminnan lisääminen tostek oy:n tuotantoon toimii luonnollisesti.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää sijaintimittauksen tarpeellisuutta ja sitä, kuinka se saadaan lisättyä osaksi yrityksen toimintaa. Teorian ja haastatteluiden pohjalta hankittiin yritykselle laitteistot, joilla mittausta pystytään toteuttamaan sekä maastosuunnittelun että rakentamisen aikana. Satelliittipaikannuslaitteet käyttöön otettiin ja sijaintimittaus lisättiin maastosuunnittelun työkaluksi.

Lähteet

1. Suomen sähköjärjestelmä. 2021. Fingrid. Verkkoaineisto. < <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>>. Luettu 21.2.2021.
2. Sähköverkot. 2021. Energiateollisuus. Verkkoaineisto. < <https://energia.fi/energia-asta/energiaverkot/sahkoverkot>>. Luettu 21.2.2021.
3. Sähköverkon kuva. 2021. Elenia. Verkkoaineisto. < <https://www.elenia.fi/yritys/s%C3%A4hk%C3%B6verkko-tutuksi> >. Luettu 21.2.2021.
4. Sähkömarkkinalaki 588/2013. 2021. Finlex. Verkkoaineisto. < <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588> >. Luettu 11.9.2021.
5. Sähköturvallisuuslaki 1135/2016. 2021. Finlex. Verkkoaineisto. < <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2016/20161135> >. Luettu 11.9.2021.
6. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. 2021. Finlex. Verkkoaineisto. < <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090205> >. Luettu 15.09.2021
7. JHS-suositukset. 2021. Suomidigi. Verkkoaineisto. <<https://www.suomidigi.fi/ohjeet-ja-tuki/jhs-suositukset>>. Luettu 19.3.2021.
8. JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. 2014. Suomidigi.
9. JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. 2014. Liite 4 Kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset. Suomidigi.
10. Verkostosuositus RK1:16. Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4 kV – 45 kV. Energiateollisuus ry.
11. SFS 6000-5-51. Pienjännitesähköasennukset. 2017. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Yleiset säännöt. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
12. SFS 6000-8-801. Pienjännitesähköasennukset. 2017. Täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
13. SFS 6000-8-814. Pienjännitesähköasennukset. 2017. Täydentävät vaatimukset. Kaapelien asentaminen maahan tai veteen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
14. SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset. 2018. Liite M. Maadoitusjärjestelmien vastaanottotarkastukset ja dokumentointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

15. SFS-EN 61082-1. Sähkötekniikassa käytettävien dokumenttien laatiminen. Osa 1: Säännöt. 2015. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
16. SFS-EN 81346-1. Teollisuuden järjestelmät, asennukset ja laitteet sekä teollisuustuotteet. Jäsentelyn periaatteet ja viitetunnukset. Osa 1: Perussäännöt. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
17. Tietoa Traficomista. 2020. Traficom. Verkkoaineisto. <<https://www.traficom.fi/fi/tahto-liikkua-ja-viestia>>. Luettu 27.3.2021.
18. Traficom M71. Määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta. 2021. Traficom Liikenne- ja viestintävirasto.
19. Satelliittipaikannus. 2021. Maanmittauslaitos. Verkkoaineisto. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus_>. Luettu 11.9.2021.
20. GNSS-kuva. 2020. everythingRF. Verkkoaineisto. <https://www.everythingrf.com/community/what-is-the-difference-between-gnss-and-gps_58>. Luettu 2.4.2021
21. Poutanen, Marko. 2016. Satelliittipaikannus. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa ry.
22. GPS-asema kuva. 2021. GPS. Verkkoaineisto. <<https://www.gps.gov/systems/gps/control/>>. Luettu 2.4.2021.
23. Galileo-kuva. 2015. Galileo. Verkkoaineisto. <<https://galileognss.eu/ttc-french-polinesia/>>. Luettu 2.4.2021.
24. Paikannuksen periaate-kuva. 2021. Maanmittauslaitos. Verkkoaineisto. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/paikannuspalvelu/paikannuspalvelun-periaate>>. Luettu 13.9.2021
25. FinnRef GNNS asemat. 2021. Maanmittauslaitos. Verkkoaineisto. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tutkimustoiminta/muut-tutkimus-ja-mittausasemat/finnref-gnss-asemat>>. Luettu 3.4.2021.
26. RTK-periaatekuva. 2021. Verkkoaineisto. <<https://docs.datagnss.com/d303-docs/common/about-rtk/>>. Luettu 3.4.2021.
27. Haastattelu Marko Hirvonen, Suomen Energia Urakointi. 18.2.2021
28. Haastattelu Tuomas Tikkanen, Eltel. 23.2.2021

29. Haastattelu Ville Nousiainen, Netel. 2.3.2021
30. Haastattelu Jukka Haakana, Caruna. 3.3.2021
31. Geotrim, Trimnet VRS. 2021. Verkkoaineisto. <<https://geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs/>>. Luettu 18.4.2021.
32. Hexagon SmartNet. 2021. Verkkoaineisto. <<https://hxgnsmartnet.com/fi-fi/services/verkko-rtk>>. Luettu 18.4.2021.
33. Theory of buried cable and pipe location. 2017. Radiodetection. Verkkoaineisto. <<https://www.radiodetection.com/sites/default/files/Theory-Buried-pipe-manual-V10.pdf>>. Luettu 18.4.2021.
34. Quick Course on Magnetic, Cable and Pipe Locating. 2003. Schonstedt Instrument Company. Verkkoaineisto. <<https://www.engineersupply.com/magnetic-pipe-cable-locating.pdf>>. Luettu 18.4.2021