

Filip Björkman

Jakeluverkkoyhtiön verkoston sijaintitiedon mitaaminen ja hallinta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkötekniikka

Insinöörityö

2.5.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Filip Björkman Jakeluverkkoyhtiön verkoston sijaintitiedon mittaaminen ja hallinta 39 sivua + 3 liitettä 2.5.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Suunnittelupäällikkö Kari Janhunen Lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Insinöörityö tehtiin Porvoon Sähköverkko Oy:n toimeksiannosta ja sen aiheena oli sijaintitiedon ja kartoituksen merkityksen tutkiminen sähköverkkoyhtiössä. Tavoitteena oli kehittää yhtiön toimintatapoja liittyen sähköverkon sijaintitietoon. Tavoitteena oli myös hankkia tietoa erilaisista satelliittimittaustavoista ja -laitteista. Yhtenä tärkeänä kohtana oli vertailla sähköverkon kartoituksen toteutusta joko ostamalla se alihankintana tai käyttämällä yhtiön omia resursseja. Tähän kuului tärkeänä osana pohtia, minkälaisia paineita kohdistuisi yhtiön organisaatioon, mikäli toteuttaisimme tulevaisuudessa verkon kartoituksen itse.</p> <p>Työ aloitettiin tutustumalla lakeihin, säännöksiin ja ohjeistuksiin liittyen sijaintitiedon keruuseen verkostoalalla. Työhön koottiin myös teoria osuus satelliittipaikannuksesta, josta mittaajan on mahdollista saada käsitys satelliittimittauksen paikannustarkkuuteen vaikuttavista tekijöistä. Muilta verkostoyhtiöltä tiedusteltiin yksinkertaisen kyselyn avulla sen tapaa toteuttaa verkon kartoitus. Työssä tarkasteltiin myös kriittisesti nykyisen mittausprosessin läpikulkua aina maastossa tehtävästä mittauksesta tiedonvientiin verkkotietojärjestelmään.</p> <p>Työn tuloksena saatiin kehitysehdotuksia mittausprosessin sujuvoittamiseksi. Projektin lopputuotoksesta muodostuu yhtiölle kattava paketti sijaintitiedon ja kartoituksen perusteista, sekä käsitys vaadittavien investointien ja kustannusten suurusluokasta. Projektin tuotosta voidaan käyttää apuna, tehtäessä päätöstä päädytäänkö jatkamaan kartoituksen ostoa alihankintana vai toteutetaanko se tulevaisuudessa itse.</p>	
Avainsanat	sähköverkon kartoitus, sijaintitieto, satelliittipaikannus

Author Title	Filip Björkman The Surveying and Management of Distribution Company Power Grid Location Information
Number of Pages Date	39 pages + 3 appendices 2 May 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical engineering
Specialisation option	Electrical power engineering
Instructors	Kari Janhunen, Planning Manager Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
<p>This bachelor's thesis was assigned by Porvoon Sähköverkko Ltd. The purpose of this study was to examine the importance of electrical grid location information and mapping in a distribution company. The aim was to develop the company's operating methods related to the electrical grid location information. The aim was also to obtain information on the various satellite measurement methods and hardware. One of key objective was to compare the implementation of the power grid mapping, either by buying it or by using the company's own resources. In this it was important to consider what kind of pressure would be subjected to the company's organization, if in the future the company would undertake the power grid mapping itself.</p> <p>The study began by looking into the laws, regulations and guidelines related to collecting of location information in the electrical field. A theoretical part in satellite surveying was compiled, from which it is possible for the measurer to gain an understanding of factors affecting the satellite measurement positioning accuracy. A simple questionnaire, in which other distribution companies were asked how they handle mapping of the power grid, was carried out. The flow of measuring process all the way from the field to importing data into the network information system was examined critically in this study.</p> <p>As a result of this study development proposals to streamline the measuring process were gathered. The final output of the study will consist of a well-covered package about the basics of power grid mapping and location information. It will give also a good estimate on the amount of investment required. The study output can be used as a starting point, when making a decision between buying the power grid mapping as a subcontracted service or by undertaking it by company itself.</p>	
Keywords	power grid mapping, geospatial data and information, satellite surveying

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sijaintitiedon keruu säännösten näkökulmasta	2
2.1	Lait	2
2.2	Standardi	4
2.3	Verkostosuositukset	5
3	Kartoituksen lähtökohdat Porvoon Sähköverkko Oy:ssä	6
3.1	Tavoite	6
3.2	Mittaus	6
3.3	CADS Planner	7
3.4	Trimble NIS	7
3.5	Kartoituksen vaihtoehtoja	9
4	Satelliittipaikannus	11
4.1	Satelliittipaikannusjärjestelmät	11
4.2	Satelliittipaikannuksen mittaustavat	11
4.3	Paikannustarkkuus satelliittimittauksissa	13
4.4	Koordinaattijärjestelmät	15
4.5	Verkkoyhtiölle sopivat mittaustavat	17
5	Käyttökokemuksia muualta	19
5.1	Porvoon kaupunki	19
5.2	Muut verkkoyhtiöt	19
6	Laitteet verkoston kartoitukseen	20
6.1	Vastaanotin- ja tallenninyhdistelmä	20
6.2	Kämmenmikro	20
6.3	Muita sovelluksia	21
6.4	Insinööri työ GNSS-laitevertailusta	22
6.5	Tukiasemaverkot	23
6.5.1	Trimnet	23

6.5.2	SmartNet	25
6.5.3	Insinööritöitä tukiasemaverkkojen vertailuista	26
7	Organisaatioon liittyvät muutokset	28
7.1	Kartoituksen työohjeistus	28
7.2	Oman laitteiston tuomat mahdollisuudet	28
7.3	Henkilöstö ja koulutus	30
7.4	Ohjelmistot	30
7.5	Aliurakoitsijat	30
8	Kustannukset (vain työn tilaajan käyttöön)	32
9	Päätelmät ja jatkotoimenpiteet	33
	Lähteet	36
	Liitteet	
	Liite 1. Trimble NIS -ohjelman tukemat tiedostomuodot	
	Liite 2. Kartoituskysely verkkoyhtiöille (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 3. Eri laitevaihtoehtoja kartoitukseen	

Lyhenteet

CAD	<i>Computer-aided Design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.
DGNSS	<i>Differential Global Navigation Satellite System</i> . Koodipaikannuksen korjausmenetelmä.
DOP	<i>Dilution of Precision</i> . DOP luvulla kuvataan paikannuksen tarkkuutta.
DRW	CADS ohjelman CAD-tiedostomuoto.
DWG	<i>from Drawing</i> . Autodeskin natiivi CAD-tiedostomuoto.
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i> . Autodeskin kehittämä CAD-tiedostomuoto
ETRS89	<i>European Terrestrial Reference System 1989</i> . Euroopassa käytössä oleva koordinaattijärjestelmä, joka on sidottu Euraasian mannerlaattaan.
ETRS-GK26	Suomessa käytössä oleva paikallinen tasokoordinaatisto.
ETRS-TM35FIN	Suomessa käytössä oleva valtakunnallinen tasokoordinaatisto.
EUREF	<i>Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe</i> . IAG:n eurooppalainen alakomissio, joka määrittelee, realisoi, ylläpitää ja edesauttaa ETRS89 käyttöä.
EUREF-FIN	Suomalaisen kansallisen ETRS89 -realisaation nimitys.
GIS	<i>Geographical Information System</i> . Paikkatietojärjestelmä, jolla tuotetaan, tallennetaan, hallitaan ja analysoidaan paikkatietoa.
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> . Yleisnimitys maailmanlaajuisesti käytössä oleville satelliittijärjestelmille.

GNSS Planning

Trimblen tarjoama ilmainen satelliittien rataennusteohjelma.

IAG	<i>International Association of Geodesy</i> . Kansainvälinen geodeettinen yhdistys on geodeettista tutkimusta tukeva kansainvälinen järjestö.
i-MAX	<i>Individualized Master Auxiliary Corrections</i> . Leican ja Geo++:n kehittämä verkko-RTK korjausmenetelmä.
KKJ	<i>Kartastokoordinaattijärjestelmä</i>
MAX	<i>Master Auxiliary Corrections</i> . Leican ja Geo++ kehittämä verkko-RTK korjausmenetelmä.
NIS	<i>Network Information System</i> . Verkkotietojärjestelmä on ohjelma, jolla hallitaan, mitoitetaan ja dokumentoidaan verkon ominaisuuksia.
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> . Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus on satelliitin lähettämään kantaaltoon perustuva paikannustapa.
VRS	<i>Virtual Reference Station</i> . Geotrim Oy:n käyttämä verkko-RTK korjausmenetelmä.
SaaS	<i>Software as a Service</i> . Yleensä selainpohjainen palvelumuoto, missä maksu ei perustu lisenssiin.
Shapefile	Esrin kehittämä tiedostomuoto paikkatiedon tallennukseen.
SmartNet	Nimitys Leica Geosystems Oy:n rakentamalle ja ylläpitämälle satelliittimittauksen korjausmenetelmän tukiasemaverkolle.
Trimnet	Nimitys Geotrim Oy:n rakentamalle ja ylläpitämälle satelliittimittauksen korjausmenetelmän tukiasemaverkolle.
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i> . GPS-järjestelmän käyttämä koordinaattijärjestelmä.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on analysoida vaihtoehtoisia tapoja hoitaa sähköverkon kartoitusta Porvoon Sähköverkko Oy:ssä (PSV). Tällä hetkellä uusien maakaapelointiprojektien kartoituksen on hoitanut aliurakoitsija. Sähkömarkkinalakiin on kirjattu uudet kiristyneet ehdot jakeluyhtiöiden toimitusvarmuusvelvoitteille. Nämä saavuttaakseen useimmat yhtiöt ovat alkaneet korvaamaan vanhoja ilmajohtoja maakaapeleilla. Samassa suhteessa maakaapeloinnin lisääntyessä nousevat myös kartoituksen kustannukset.

Porvoon Sähköverkko Oy on Porvoon Energia Oy:n tytäryhtiö, jonka osakekanta on kokonaan Porvoon kaupungin omistuksessa. Koko konsernin liikevaihto oli vuonna 2014 52,5 miljoonaa euroa, josta Porvoon Sähköverkon osuus oli 12,8 miljoonaa euroa. Porvoon Sähköverkko harjoittaa Porvoon, Loviisan ja Pornaisen alueilla sähköjakelu toimintaa. Tähän kuuluu niin verkon suunnittelu ja valvonta kuin rakennus- ja kunnossapitotyöt. Yhtiöllä on noin 34000 asiakasta. Keski- ja pienjännitesähköverkkoa yhtiöllä on 3600 km (2014), josta on maakaapeloitu noin 33 % (2014). Yhtiön tavoitteena on nostaa tämä vuoteen 2028 mennessä 60 %. [Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2014 2015.]

Viime vuosien aikana on noussut esille yhtiössä, että millä tavalla olisi tarpeellista kehittää tapoja ja käytäntöjä liittyen paikkatietoihin ja sen käsittelyyn. Yhtiössä on herännyt ajatus, että paikkatietojen keruun ja tallentamisen voisi toteuttaa itse. Tämän asian edesauttaminen ja kehittäminen on insinööriyön pohjana.

Insinööriyön tavoitteena on koota kattava paketti satelliittimittauksen periaatteista, mikä edelleen auttaisi päätöksen teossa koskien kartoituksen toteutustapaa. Tavoitteena on sekä tuoda esille vahvuudet ja heikkoudet ostopalveluna hankitun ja yhtiön itse tekemän kartoituksen välillä, että laatia yhtiölle laitehankinta ja kustannus suunnitelma. Työn olennaisena osana on myös pohtia, minkälaisia vaikutuksia yhtiön organisaation kohdistuu, mikäli yhtiö toteuttaisi verkon kartoitusta muuten kuin alihankkijan toimesta.

2 Sijaintitiedon keruu säännösten näkökulmasta

2.1 Lait

Useassa laissa ja asetuksessa on maininta, että olemassa olevien kaapeleiden sijaintitiedot on selvitettävä ennen töihin ryhtymistä.

Näitä löytyy muun muassa

- sähkömarkkinalaissa 588/2013 pykälässä 110
- tietoyhteiskuntakaarissa 917/2014 pykälässä 241
- valtioneuvoston asetuksessa rakennustyön turvallisuudesta 205/2009 pykälässä 33.

Näiden kaikkien lakien tarkoituksena on varmistaa työtä tekevien työturvallisuus ja suojella verkko- ja telekaapeleiden haltijoita kaivun aiheuttamista turhista haitoista. Sähkömarkkinalaissa ja tietoyhteiskuntakaarilaissa sanotaan myös että, työtä suunnittelevalle tai sitä suorittavalle on annettava maksutta tiedot työkohteen lähetyvillä olevista kaapeleista. Näiden lakikohtien puitteissa voidaan olettaa, että mitä tarkemmin sijaintitieto on saatu tallennettua, sitä turvallisempi ja käytettävämpi on se käyttäjälleen. [Sähkömarkkinalaki 2013; Tietoyhteiskuntakaari 2014.]

Samaisessa sähkömarkkinalain pykälässä 110 sanotaan myös, että *sähkökaapeleiden sijaintia koskevia tietoja on käsiteltävä ja säilytettävä siten, että tiedot ovat vain niiden käyttöön oikeutettujen saatavilla ja ettei tietoturva vaarannu*. Tämä täytyy myös ottaa huomioon valittaessa ulkopuolista palveluntarjoajaa, joka hallinnoi ja käsittelee suurta määrää yhtiön tietoa.

Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016 tuli voimaan 1.7.2016. Laki perustuu Euroopan parlamentin ja neuvoston yhteisrakentamisdirektiivin 2014/61/EU. Lain tavoitteena on parantaa viestintäverkkojen rakennus mahdollisuuksia, niin että asiakkailla olisi pääsy kohtuuhintaisiin nopeisiin tietoliikenneyhteyksiin. Pyyntöä verkkotoimijoiden tulisi suostua kohtuullisin ehdoin yhteisrakentamiseen.

Lailla mahdollistetaan teleoperaattoreille helpommin pääsy mukaan verkkotoimijoiden mittaviin hankkeisiin. [276/2016.]

Lakia sovelletaan vain, mikäli sen toisena osapuolena on viestintäverkko. Yhteisrakentamisen helpottamiseksi lakiin on kirjattu, että verkkotoimijan on suostuttava toisen osapuolen kohtuullisin ehdoin esittämään pyyntöön yhteisrakentamisesta. Pyyntöön on suostuttava, mikäli yhteisrakentaminen ei tule kalliimmaksi, eikä kyseessä ole vähäinen työ, eikä se vaaranna verkon turvallisuutta. Keskitetyn tietopisteen kautta tulisi olla saatavilla tiedot verkkojen fyysisestä infrastruktuurista, suunnitelluista rakennustöistä, rakentamiseen liittyvistä lupamenettelyistä sekä kaapeleiden, putkien ja niihin verrattavien aktiivisten verkon osien sijainnista. Keskitetty tietopiste pyritään saamaan käyttöön vuoden 2017 aikana. [276/2016.]

Lain noudattamista valvoo Viestintävirasto, ja se toimii myös mahdollisten riitojen sovittelu elimenä. Uuteen lakiin sisältyvän keskitetyn tietokannan perustaminen on annettu myös Viestintäviraston tehtäväksi. Keskitettyyn tietopalveluun täytyisi toimittaa digitaalisessa muodossa jo olemassa olevan verkoston lisäksi suunnitteillakin olevat kohteet. Tällä hetkellä on vielä epäselvää, kuinka Viestintävirasto toteuttaa keskitetyn tietopalvelun. Sille on mahdollistettu, että se voi ostaa teknisiä ja avustavia palveluja ulkopuolelta. Tosin tällä hetkellä markkinoilla on ainoastaan kaksi toimijaa, jotka tarjoavat johtotietojen kyselyyn ja kaapeleiden näyttöpalveluiden välittämistä. Nämä ovat Johtotieto Oy ja Keypro Oy:n Kaivuulupa.fi portaali. Ulkopuolinen toimija on veloitettu olemaan hyödyntämättä tietoaineistoa omassa liiketoiminnassaan, mikäli Viestintävirasto ostaisi näitä palveluja kyseiseltä palveluntuottajalta. PSV:ssä on siirretty käyttämään vuoden 2016 alusta Kaivuulupa.fi palvelua. [276/2016.]

On hyvinkin mahdollista että tulevaisuudessa tullaan vaatimaan tietyt reunaehdot täytävää sijaintitietoa. Näin ollen on hyvä seurata keskitetyn tietokannan valmistelua, että tullaanko siinä vaatimaan joitain tiettyjä tarkkuuksia tai tiedostomuotoja. Mahdollisesti Johtotieto Oy ja Keypro Oy tulevat tarjoamaan tietojen siirtoa rajapinnan kautta omasta palvelusta uuteen keskitettyyn tietopisteeseen. Tällöin ne voisivat myös lisätä palveluunsa suunnitteillakin olevat kohteet. Uuden lain myötä olisi hyvä miettiä tarkemmin sijaintitietojen käytännöt koskien muun muassa yhteisrakentamista. Kuinka esimerkiksi hoidetaan yhteisrakentamiskohteissa eri operaattoreiden komponenttien kartoitus ja kuinka se mahdollisesti vaikuttaa maa-urakoitsijan toimenkuvaan. Näin pystyttäisiin välttämään mahdolliset maa-urakoitsijan turhat odottelut.

2.2 Standardi

Standardi on lain jälkeen sähköasennusalalla merkittävin määräävä säännös, jota noudattamalla päästään yleensä helpoiten lain vaatimaan sähkölaitteiston turvalliseen toimintaan. Siitä on mahdollista poiketa, mutta silloin on asennuksen tekijän itse osoitettava laitteiston sähköturvallisuus.

SFS 6001 -suurjännitesähköasennuksen [2015: 56] mukaan sähkölaitteistosta on soveltuvien osien tehtävä dokumentaatio, jonka laajuudesta on sovittava käyttäjän ja toimitajan välillä. Standardin liitteessä M [2015: 138] todetaan, että maadoitusjärjestelmästä täytyy olla käytettävissä asemapiirros. Siitä tulee käydä ilmi elektrodien materiaali, sijainti, haaroituspisteet ja asennussyvyys.

SFS 6000 pienjännitesähköasennukset [2012: 565] määrittelee, että verkonhaltijan tulisi dokumentoida verkkokarttaan liitteineen vähintään

- muuntajan ja jakeluverkon kanssa rinnan toimivan generaattorin tiedot
- johtojen pituudet, poikkipinnat ja lajit
- yksivaiheinen oikosulkuvirta liittymiskohdissa
- ylivirtasuojien ja suojalaitteiden laatu sekä mitoitusvirta
- maadoituspaikat ja muuntamoiden maadoitusimpedanssit.

Maakaapeloinnin lisääntymisen johdosta standardin SFS 6000 uusimpaan painokseen on tehty uudistuksia. Näin on pyritty ottamaan huomioon uusien toimijoiden mukaantulo, niin että kaikilla olisi maakaapeliurakoissa samat lähtökohdat ja vaatimukset.

Standardin kohdassa 8-814.5 kaapelien sijoitus ja suojaaminen mainitaan, että

maahan tai veteen asennettavien kaapelien sijainnista on laadittava kartta. Kaapelin sijainnin merkinnän kartassa on nojauduttava pysyviin, maastossa oleviin kiintopisteisiin tai koordinaatistoon. Tarvittaessa eri kaapelit varustetaan merkinnöillä, joista ilmenee kaapelin tunnus ja/tai käyttötarkoitus. [SFS 6000 2012: 603.]

Nykyisillä GPS-mittauslaitteilla pystytään sitomaan tarvittavien verkkokomponenttien paikat koordinaatistoon hyvinkin tarkasti.

2.3 Verkostosuositukset

Energiateollisuus ry on energia-alan työnantajien etujärjestö. Verkostosuositukset on koonnut Energiateollisuus ry:n ja Adato Energia Oy:n kokoama alan eri toimijoiden sidosryhmä. Työryhmissä käsitellään alaan liittyviä asioita ja Energiateollisuus julkaisee näiden pohjalta verkostosuositukset. Suosituksille on tullut viime vuosina suurempi kysyntä, koska monet verkkoyhtiöt ovat eriyttäneet verkonrakennuksen. Näin ollen ala tarvitsee suosituksia helpottaakseen tilaajien ja palveluntarjoajien yhteistoimintaa.

Verkoston kartoitus suositellaan tehtäväksi käyttäen joko GPS- tai takymetrilaitteita. Näillä päästään suositeltuun tarkkuuteen eli taajamissa alle 10 senttimetrin ja haja-asutusalueilla alle 50 senttimetrin. Kaikki maan alle jäävät rakenteet suositellaan mitattavan, kuten kaapelit, suojaputket ja maadoituselektrodit. Dokumentoinnissa tulisi noudattaa tilaajan vaatimuksia ja määrittelemää tiedostomuotoa. Mikäli näitä ei ole erikseen määritelty, suositellaan dokumentoitaviksi kaapelityypit, kaapeleiden jatkos- ja haarituspaikat sekä kaapeleiden mekaaniset suojat. Tämän lisäksi suositellaan mitattavan kaapeleiden upotussyvyys, tilaajan määrittellessä mittaushaarojen tiheyden. Upotussyvyyden mittauspaikat ja tulokset dokumentoidaan. [RK 1:14 2014: 26–27.].

Paikkatiedot suositellaan tallennettavan vektoriaineistona ja niistä on käytävä ilmi käytetty koordinaattijärjestelmä. Paikkatiedot tulisi pystyä tuomaan ulos käytettävästä järjestelmästä joko rajapinnan kautta tai siirtotiedostona. Suositellaan myös, että ulos annetut tiedot olisi jäljitettävissä, kenelle ne on annettu, mitä tietoja on annettu ja mihin tarkoitukseen. Järjestelmässä olisi hyvä tulla ilmi, milloin ja millä tarkkuudella kyseiset mittaustiedot on tallennettu. [YJ 16:14 2014: 3-5.].

3 Kartoituksen lähtökohdat Porvoon Sähköverkko Oy:ssä

3.1 Tavoite

Tavoitteena on toteuttaa kartoitus tulevaisuudessa kustannustehokkaasti ja normeja noudattaen, niin että se palvelee yhtiön toimintaa mahdollisimman kattavalla ja parhaalla tavalla. Projektin tavoitteena olisi myös aikataulun sallimissa rajoissa yrittää tehostaa ja sujuvoittaa kartoitustiedon läpivientiä aina verkkotietojärjestelmään saakka.

3.2 Mittaus

Tällä hetkellä uuden maakaapeliverkon paikkatietojen keruun hoitaa aliurakoitsija. Yhteistyössä maaurakoitsijoiden kanssa hän käy maastossa mittaamassa verkon uusien komponenttien paikat. Aliurakoitsijalla on käytössään myös kaapelinnäyttölaite, joten hänen ei välttämättä tarvitse olla mittaamassa kaapelia juuri kaapeliojan ollessa auki. Tosin tämä lisää yhden työvaiheen mittausprosessiin, eikä tällöin tietenkään ole samanlaista varmuutta komponentin sijainnista. Tällä hetkellä mitataan putket ja niiden taitekohdat, jakokaapit, muuntamoiden nurkat, valaisinpisteet, sähköpylväät, jatkot ja kaapeliojat.

Mittausprosessin jälkeen aliurakoitsijalta saadut tiedot päivitetään yhteen CAD-tiedostoon (Computer-aided Design), josta ne ovat käytettävissä verkkotietojärjestelmässä. Sijaintitietoon on määritetty tiettyyn verkkokomponenttiin liittyvä numerokoodi (kuva 1). Tämän tiedoston pohjalta dokumentoijat piirtävät päivitetyn verkkokartan suunnittelijan suunnitelmien mukaisesti tietokantaan.

Taso	Selite	Kartalla
1110	kaasu put.	
2110	puh.kaap	
2120	säh.kaap.	
2129	KJ kaapeli	
2210	puh.jatk.	
2220	säh.jatk	
2410	puh.kiep.	
2420	säh.kiep.	
2510	puh.put.	
2511	puh.put.taitepis.	
2521	säh.put.taitepis.	
2520	säh.put.	

Kuva 1. Esimerkkejä yhtiössä käytettävistä mittauksen tasokoodeista.

Tasoon liitetty väri helpottaa eri komponenttien hahmottamista kartasta huomattavasti, kuin jos kaikki viivat ja pisteet olisivat samanvärisiä. Tämä osaltaan parantaa tiedon hahmottamista ja näin ollen nopeuttaen dokumentointia.

3.3 CADS Planner

Yhtiössä CADS Planneriä käytetään verkoston suunnittelussa. CADS Planner on suomalaisen yhtiön Kyndata Oy:n kehittämä CAD-ohjelmisto. Siihen on saatavilla monen eri toimialan sovelluksia. Kattavimmin se on käytössä LVI-, sähkö- ja rakennesuunnittelussa, mutta CADS-perheeseen on saatavilla muitakin sovelluksia, kuten esimerkiksi maanmittaukseen GeoXY. PSV:llä on käytössä CADS Electric Pro- ja GeoXY-sovellukset. GeoXY-sovelluksella pystytään tekemään yksinkertaisia pistetietojen käsittelyä. [CADS tuotesivut 2016.]

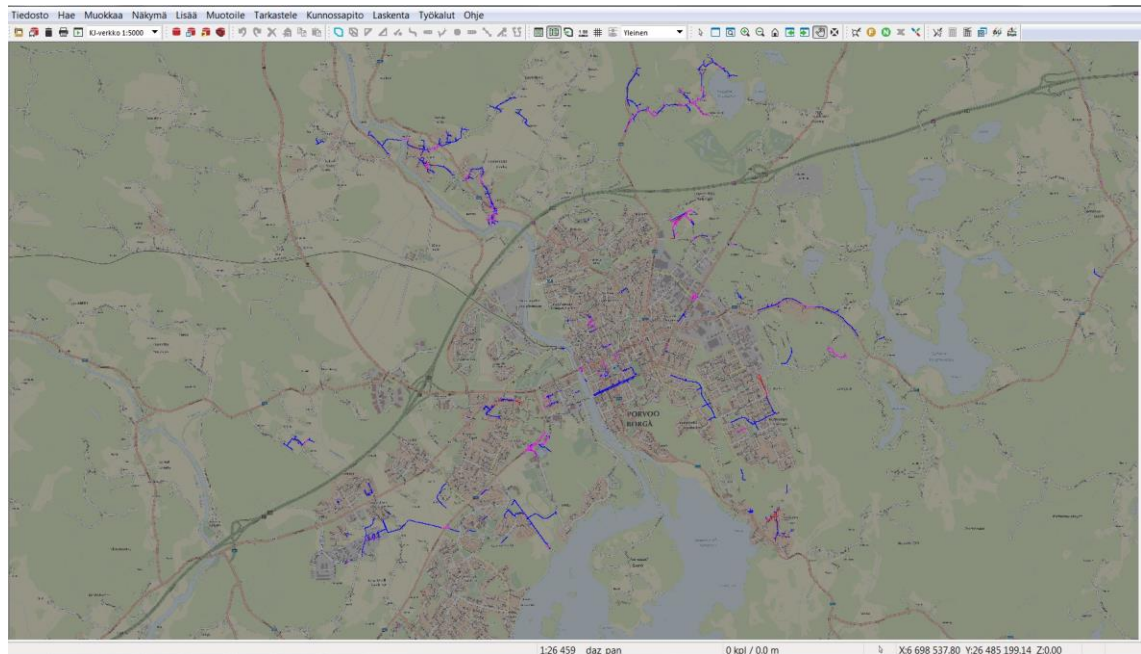
Yleensä uudet kohteet ja laajat saneeraus kohteet on helpompi ja mukavampi suunnitella CADS-ohjelmalla. Pienemmät kohteet saattaa olla yksinkertaisempi suunnitella suoraan verkkotietojärjestelmään, jolloin ei tarvitse tehdä erikseen verkon mitoitus. Silloinkin työmaalla tapahtuvat muutokset joudutaan jälkikäteen piirtämään uudestaan verkkotietojärjestelmään. CADS-ohjelma käyttää ensisijaisesti omaa CAD-tiedostomuotoa päätteeltään DRW, mutta se tukee laajasti muitakin CAD-tiedostomuotoja sisältäen niin AutoCAD:n luoman DWG- ja DXF-tiedostojen tuen.

Mittaustiedot saadaan DXF-muotoisena CAD-tiedostona kartoittajalta. Nämä työmaakohtaiset mittaustiedot tuodaan yhteen CAD-tiedostoon, missä on valmiina määritellyinä halutut tason attribuutit. Tämä tiedosto on tallennettuna sekä DWG- että DRW-tiedostomuodossa yhtiön verkkolevylle. CADS-ohjelmalla mitattua sijaintitietoa tallennettaessa DXF- ja DWG-tiedostomuotoon on havaittu puutteita. Jostain syystä se kadottaa osan mittauspisteitä yhdistävistä viivoista, mutta taas DRW-tiedostomuotoon tallennettaessa tätä ei tapahdu.

3.4 Trimble NIS

Trimble NIS -verkkotietojärjestelmä (Network Information System) on sähkö-, vesihuolto- ja kaukolämpöyhtiölle toteutettu omaisuuden dokumentointiin ja hallintaan liittyvä

ohjelmisto. Se on alun perin suomalaisen Tekla Oyj:n kehittämä, mutta Trimble osti Teklan osakekannan vuonna 2011. Vuonna 2014 ohjelmiston nimi muuttuikin Tekla NIS:stä Trimble NIS:iin. Ohjelmalla on mahdollista tehdä niin verkoston suunnittelua ja laskentaa kuin myös hallita verkon investointiin ja kunnossapitoon liittyviä toimenpiteitä. [Lehtinen 2014.]



Kuva 2. Trimble NIS -ohjelmaan tuodut kartoitustiedot viitekuvana.

Trimble NIS -ohjelmaan on mahdollista tuoda usealla formaatilla taustakarttoja ja referenssikarttoja helpottamaan verkon suunnittelua ja piirtoa. Siihen on mahdollista tuoda vektorimuotoisia CAD-tiedostoja seuraavissa muodoissa: DGN, DWG, DXF ja MIF. Se ei kuitenkaan tue suoraan CADS-ohjelman omaa tiedostomuotoa DRW:tä (liite 1). Referenssikarttoja voidaan käyttää piirron pohjana. Tällä hetkellä piirtäessä uutta verkkoa tietojärjestelmään käytetään piirron pohjana DWG-tiedostomuodossa olevaa referenssikarttaa. Tämä tiedosto sisältää koko PSV:n alueelta suuren määrän kartoitusdataa, minkä takia se hidastaa ohjelmaa merkittävästi. Ja kuten kohdassa 3.3 mainittiin, DWG-tiedosto ei ole aivan yhtenevä CADS-ohjelman oman tiedostomuodon kanssa. [Trimble NIS ohje 15.2. 2015.]

DXF-tiedostot pystyttäisiin myös lisäämään suoraan referenssikarttana NIS-ohjelmaan. Tällöin olisi mahdollista dokumentoitaessa verkkoa käyttää esimerkiksi ainoastaan työmaakohtaisia mittaustietoja. Näin ollen ohjelman käyttö sujuisi paremmin. Ongelma-

na on, että silloin täytyy NIS-ohjelmassa joka kertaa erikseen määritellä kuhunkin eri tasoon liittyvät attribuutit. Toisena vaihtoehtona on kierrättää ensin mittaustiedostot CADS-ohjelman kautta, missä on valmiiksi määriteltä halutut tason attribuutit. Sen jälkeen mittaustiedot tallennetaan joko DFX- tai DWG-tiedostomuodossa ja tuodaan NIS-ohjelmaan.

NIS-ohjelmaan on mahdollista tuoda suoraan kahdella eri tavalla mitattua tietoa, joko hankkimalla siihen sijaintikarttasovelluksen tai luomalla vastaavuustiedoston kyseiselle mittaustiedostomuodolle. Sijaintikarttasovellus lisäosalla on helpompi hallinnoida verkon maanalaisia kohteita. Sillä voidaan muun muassa luoda poikkileikkauskuvia kaivannoista ja siihen voidaan tuoda kartoitustietoa takymetri-tiedostomuodossa (.tky). Lehtosen [2014: 26] insinööriyössä tutkittiin sijaintikarttasovellusta Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n tarpeisiin, mutta siinäkin ilmeni ongelmia mittaustiedon viennissä sovellukseen. Se vaati edelleen melko paljon manuaalista tietojen muokkaamista ja piirtämistä. Vastaavuustiedoston avulla puolestaan NIS-ohjelma osaa lukea tiedot oikein tiedostosta. Siinä ikään kuin määritellään säännöt, kuinka ohjelma tulkitsee vastaavanlaiset tiedostot. Tällä tavalla olisi mahdollista saada kirjoitettua mitattavat kohteet suoraan verkkotietojärjestelmään, jolloin tietojen dokumentointi helpottuisi huomattavasti. Se vaatii kuitenkin myös sen, että sijaintitiedon tallennuslaitteessa on tiedonkeruukirjastot kunnossa, niin että kaikkien mitattavien kohteiden attribuutit ovat samanlaiset. [Trimble NIS ohje 15.2. 2015; Lehtonen 2014.]

3.5 Kartoituksen vaihtoehtoja

Näkinsin, että on kolme erilaista vaihtoehtoa toteuttaa verkkokartoitus verkkoyhtiössä. Näitä voi olla joko tilaamalla palvelut ulkopuolelta, hankkimalla omat laitteet ja mittaamalla itse tai enemminkin tulevaisuudessa mahdollisuutena koneohjauksen avulla kaivuun yhteydessä.

Yhtiön itse toteuttaessa kartoitusta arvioisin, että siihen löytyisi kaksi erilaista kannatettavaa vaihtoehtoa. Joko voidaan perustaa yksi mittausryhmä, joka hoitaa koko verkon alueelta kaikki mittaukset. Tai sitten hankitaan useampi paikannuslaite, niin että asennusryhmillä on käytössä omansa. Tällöin ryhmät voisivat tehdä mittaukset omilla työmaillaan itsenäisesti maa-urakoitsijan edistymisen mukaan. Näin ollen mittaaajat olisivat koko ajan työmaalla käytettävissä, eikä maa-urakoitsijalla olisi tarvetta perehdyttää eril-

listä mittausryhmää kohteen mitattaviin komponentteihin. Tämä tapa kenties sujuvoitaisi hieman työmaankulkua ja asentajien kaivuun edistymisestä johtuvat odotukset voisi käyttää hyödyksi.

Tulevaisuudessa verkonkartoitus on suurelta osin mahdollista toteuttaa maaurakoitsijan koneohjauksesta saatavan paikkatiedon avulla. Tällä hetkellä on kuitenkin vielä epäselvää, millä aikataululla maanrakennuksen aliurakoitsijat ovat laajasti siirtymässä käyttämään koneohjausta. Suuret tilaajat vaativat jo enenevässä määrin, että merkittävässä infrastruktuurihankkeissa käytetään 3D-koneohjausta. Tämän seurauksena tulevat maaurakoitsijat panostamaan suuremmassa määrin koneohjaukseen. Koneohjaukseen siirtyminen aiheuttaa tietysti maaurakoitsijan näkökulmasta suuriakin lisäinvestointeja, mutta konekantaa on kuitenkin uudistettava koko ajan tietyllä aikavälillä. Verkkoapuolella koneohjaukseen siirtymisessä auttaisi suuresti tilaajien ja urakoitsijoiden välinen kommunikointi, niin että löytyisi kumpaakin osapuolta tyydyttävä ratkaisu. [Määttänen 2014: 33, 68–70; Pelimanni 2014: 37–38.].

Erityisesti koneohjauksesta olisi hyötyä aurattaessa kaapelia maahan, missä etenemisvauhti on nopeampaa kuin perinteisesti kaivettaessa. Ja joudutaan kuitenkin jälkikäteen paikannettaessa turvautumaan erilliseen kaapelinäyttölaitteeseen tai vain mitaamaan karkeasti kaivun uraa pitkin. Maanrakennuskoneisiin tehtävät investoinnit voisivat maksaa itsensä takaisin nopeastikin, sillä merkittävät investoinnit maakaapelointi projekteihin tulevat kuitenkin jatkumaan suurimmassa osassa verkkoyhtiöitä aina vuoteen 2028 asti. Tässä olisi oiva keino edistykselliselle maaurakoitsijalle, jolla voisi olla resursseja tarjota samassa palvelussa niin kaapeliverkon kaivu kuin kartoituskin.

4 Satelliittipaikannus

4.1 Satelliittipaikannusjärjestelmät

Tällä hetkellä maailmassa on käytössä useampia satelliittipaikannusjärjestelmiä. Tunnetuin lienee yhdysvaltalaisen GPS. Venäläisten oma järjestelmä kantaa nimeä GLONASS. Euroopan Unionilla ja Euroopan avaruusjärjestöllä on tavoitteena 30 satelliitin oma järjestelmä Galileo, jonka on määrä olla täysimääräisesti toiminnassa 2020. Kiinalaisilla on myös rakenteilla satelliittijärjestelmä nimeltään BeiDou, joka sisältäisi valmiina vuonna 2020 kierrossa 35 satelliittia. Näistä kaikista käytetään yleisnimeä globaali satelliittipaikannusjärjestelmä GNSS (Global Navigation Satellite System). Trimblen rataennusteohjelman mukaan 2.3.2016 toiminnassa oli GPS:llä 30 satelliittia, Glonassilla 22 satelliittia, Galileolla 9 satelliittia ja BeiDoulla 14 satelliittia. Alun perin satelliittijärjestelmiä on lähdetty kehittämään palvelemaan ainoastaan kyseisien valtion sotilasvoimia. Ne eivät olekaan täysin avoimesti siviilikäytössä vaan vieläkin osa järjestelmästä palvelee ainoastaan viranomaisia. [Poutanen 2014: 14–27; GNSS Planning Online 2016].

GNSS-järjestelmän voi jakaa kolmeen osaan: satelliitteihin, kontrolliasemiin ja käyttäjiin. Kontrolliasemilla valvotaan satelliittien tilaa sekä määrittämään niiden lentoratoja ja kellovirheitä. Periaatteet sijaintitiedon selville saamisille on kaikissa järjestelmissä sama. Satelliitit kiertävät maata tietyllä korkeudella. Kukin järjestelmä lähettää omilla taajuuksillaan signaaleja, jotka sisältävät jotakin tiettyä koodia. Paikannus tapahtuu havaitsemalla etäisyys satelliitin ja vastaanottimen välillä. Nykyisillä vastaanottimilla on mahdollista seurata useamman järjestelmän satelliitteja ja vastaanottaa useampaa eri taajuutta. [Poutanen 2014: 7–9.]

4.2 Satelliittipaikannuksen mittaustavat

Yleisin mittaustapojen jaottelu perustuu mittauksen havaintosuureisiin. Ensimmäinen perustuu satelliitin lähettämän koodin havainnointiin. Tarkempi keino on käyttää satelliittisignaalin kantaaltoon perustuvaa vaihehavainnointia. Myös näiden yhdistelmiä voidaan käyttää uusissa sovelluksissa. [Laurila 2012: 292–293.]

Koodihavaintoon perustuva paikannus

Kuluttajille suunnatut navigaattorit ja älypuhelimet käyttävät koodipaikannusta. Näillä laitteilla päästään tarkkuuteen luokkaa 5-10 metriä. Koodiin perustuvassa paikannuksessa lasketaan koodin avulla signaalin kulkuun käytetty aika. Tästä voidaan päätellä käyttäjän ja satelliitin etäisyys. Kolmiomittauksen periaatteen mukaan tarvitaan paikkatiedon vastaanottamiseksi havainnot vähintään kolmeen satelliittiin. Yhteys tarvitaan myös neljänteen vastaanottimen kellovirheen korjaamiseksi. Tätä menetelmää kutsutaan myös absoluuttiseksi paikannukseksi, koska mittaus tapahtuu suhteessa satelliittiin. [Laurila 2012: 295–296; Poutanen 2014: 9.]

Differentiaalinen paikannus

Koodipaikannuksen kehittyneempi muoto on differentiaalinen paikannus (DGNSS). Tällä keinolla voidaan nykyään jo päästä tarkkuudessa alle metriin. DGNSS-tekniikassa käytetään hyväksi kahta vastaanotinta, joista toinen sijoitetaan kiinteään pisteeseen. Tällöin se toimii tukiasemana, joka välittää mittaavalle vastaanottimelle korjausdataa tietoliikenneyhteyden välityksellä. Tukiasemana toimiva vastaanotin, voidaan myös korvata kolmannen osapuolen perustamana. Tällöin mittaaja ei tarvitse kuin yhden vastaanottimen. Geodeettinen laitos avasi vuonna 2014 oman ilmaisen DGNSS-tekniikkaa hyödyntävän paikannuspalvelun. Se perustuu FinnRef-verkkoon, johon kuuluu 20 pysyvää asemaa eri puolilla Suomea. Tietoliikenneverkon kautta välitettävillä korjausten avulla voidaan päästä reaaliaikaisesti noin 50 cm:n paikannustarkkuuteen. [Laurila 2012: 299–301; Koivula, 2014: 1.]

Vaihehavainnointiin perustuva paikannus

Satelliitin lähettämän kantaaltoon perustuvassa paikannuksessa mitataan uutta pistettä suhteessa jo tunnetussa pisteessä olevaan vastaanottimeen. Vaihehavainnointiin perustuvassa eli suhteellisessa mittauksessa käytetään vertailuvastaanotinta (base) ja paikantavaa vastaanotinta (rover). Vastaanottimien tiedot yhdistämällä saadaan uuden pisteen sijaintitiedot. Jälkilaskettuna ja staattisesti tehtynä mittaus voi saavuttaa jopa millimetrin luokkaa olevan tarkkuuden. Ennen kuin mittaus voidaan aloittaa, täytyy saada selville kokonaisen kantaalton pituus. Tätä kutsutaan alustukseksi ja siinä laite seuraa hetken aikaa satelliitteja. Nykyään uusimmilta laitteilta tämä vei aikaa alle minuutin hyvissä olosuhteissa. Tarkkuutensa takia suhteellinen mittaus sopii hyvin

maanmittaukseen, kartoitukseen ja koneohjaukseen. [Laurila 2012: 301–304; Poutanen 2014:10.]

Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus

Siirtokapasiteettia ja tehoa vaativan laskennan takia vasta 2000-luvulla on suhteellisella menetelmällä päästy reaaliaikaiseen kinemaattiseen mittaamiseen (Real Time Kinematic). RTK-mittauksessa päästään tarkkuudessa senttimetrin luokkaan. Haittapuolena tässä mittauksessa on vertailuaseman hankinta ja perustaminen. Rajoittavana tekijänä ovat myös ionosfäärin häiriöt, joista johtuen käytännön kantama vertailuasemasta on noin 10 km. [Laurila 2012: 319.]

Verkko-RTK

RTK-mittauksen rajoitteiden takia kolmannet osapuolet ovat perustaneet omia tukiasemaverkkoja ja tarjoavat lisenssiä vastaan pääsyä tähän järjestelmään. Tästä käytetään nimeä verkko-RTK. Suomessa on tällä hetkellä tarjolla kahden palvelutarjoajan järjestelmät. Geotrim Oy:n ratkaisu on Trimnet VRS-verkko (Virtual Reference Station). Leica Geosystem Oy:llä on puolestaan tarjolla SmartNet. Molempien verkko kattaa koko Suomen kummatkin sisältäen noin sata tukiasemaa. Tiedonsiirtoyhteyden avulla ollaan yhteydessä palvelutarjoajan laskentakeskukseen, joka lähettää mittaajalle paikatiedon korjattuna takaisin. Pääsy kumpaankaan tukiasemaverkkoon ei ole sidottu mihinkään tiettyyn laitemerkkiin. Palveluiden hinnoittelu on jaoteltu halutun tarkkuuden ja mittausalueen laajuuden mukaan. [Laurila 2012: 320–322.]

4.3 Paikannustarkkuus satelliittimittauksissa

Satelliittimittauksia tehtäessä täytyy ottaa useampi asia huomioon. Tässä osiossa mainitaan asioita, joihin käyttäjän tulisi kiinnittää huomiota läpi koko mittaustapahtuman. Täytyy muistaa ottaa huomioon, että koko prosessi kattaa niin mittauksen suunnittelun kuin mahdollisen koordinaattimuunnoksen. Aina mittauksia tehtäessä täytyy ottaa huomioon ja arvioida mittaukseen vaikuttavia virheitä. Vaikkakin laitevalmistajat ovat koko ajan saaneet parannettua laitteitaan, on käyttäjillä merkittävä rooli virheiden vähentämiseksi. Tästä syystä mittaushenkilöstölle on oltava riittävää teoretietoa satelliit-

timittauksista ja sen lisäksi on tarjottava tarpeeksi kattavaa koulutusta laitteiden hallitsemiseksi.

Lentoradat

Maapallo ja satelliitit ovat koko ajan liikkeessä. Tämän takia on järjestelmälle tarkka ajanmittaus hyvin tärkeää ja sitä valvotaan kontrolliasemilta. Reaaliaikaisesti satelliittien paikat tunnetaan vain muutaman metrin tarkkuudella, mutta jälkikäteen on saatavilla niiden lentoradat senttimetrin tarkkuudella. Tosin tarkkoja ratatietoja tarvitaan lähinnä vain kiintopistemittauksessa. [Laurila 2012: 305–306.]

Ilmakehä ja heijastukset

Absoluuttisen paikantamisen suurin häiriötekijä on ionosfääri. Ilmakehän yläosaan kohdistuu auringon hiukkassäteily, joka saa ionosfäärin molekyylit varautumaan. Tämä haittaa satelliittisignaalin kulkua ja vaikuttaa absoluuttisen paikantamisen tarkkuuteen merkittävästi. Sen on arvioitu heikentävä sijaintitietoa usean metrin verran. Differentiaalissa mittauksessa tätä virhetekijää on saatu pienennettyä merkittävästi korjausten avulla. [Laurila 2012: 295–296; Poutanen 2014:9.]

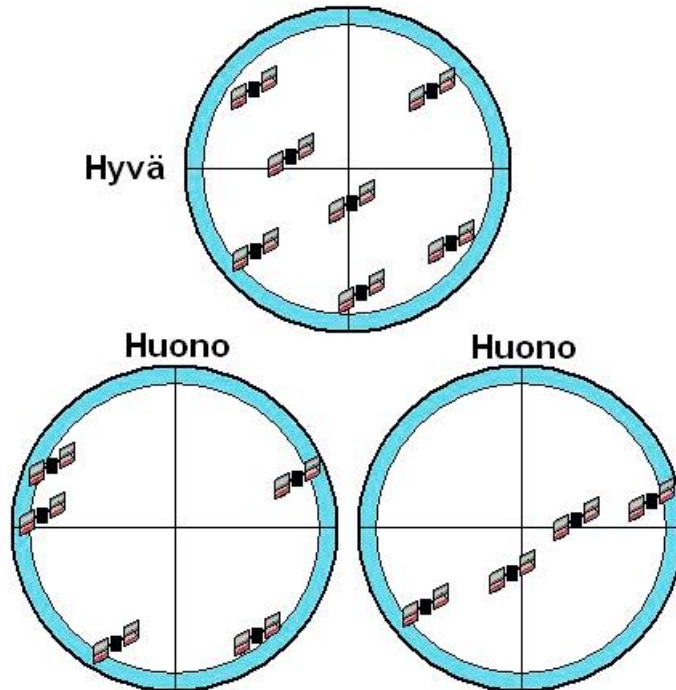
Signaalin tulisi kulkeutua satelliitista suoraan vastaanottimen antenniin mahdollisimman tarkan tuloksen saamiseksi. Ympäristön suuret pinnat kuten rakennukset ja vesi voivat kuitenkin merkittävästi haitata tätä. Laite valmistajat ovat pyrkineet minimoimaan tämän ongelman mahdollisimman tehokkaasti antennin rakenteella. Muun muassa antennin alaosassa sijaitsevalla maalevyllä estetään heijastukset maan pinnasta. [Laurila 2012: 306–307; Poutanen 2014: 178–179.]

Satelliittien näkyvyys

Hyvän paikannustuloksen saamiseksi tulisi vastaanottimen havaittavissa olla taivaalla vähintään viidestä seitsemään satelliittia. Satelliittien tulisi olla tasaisesti levittäytyneinä yli 15°:n korkeudella havaitsijan horisontin yläpuolella (kuva 3). Nykyään kun satelliitteja on toiminnassa yli viisikymmentä, niitä on näkyvillä lähes aina riittävästi. Ainoastaan jotkin suuret esteet haittaavat näkyvyyttä, esimerkiksi kaupungissa suuret rakennukset ja maaseudulla peitteinen metsä. Tällaisissa paikoissa on mahdollista suunnitella paras mittausajankohta etukäteen. Esimerkiksi Trimblellä on tarjolla ilmainen selain-

pohjainen satelliittien rataennusteohjelma GNSS Planning. Ohjelmalla on helppo arvioida satelliittien lukumäärää tietyllä ajanhetkellä. [Laurila 2012: 308–310.]

a) Satelliittigeometria



Kuva 3. Esimerkki hyvästä ja huonosta geometriasta [Laurila 2012: 309].

Matemaattisesti satelliittigeometriaa kuvataan DOP (Dilution of Precision) -luvulla. Niillä tarkoitetaan paikannus tarkkuuden epäluotettavuutta. Näitä lukuja on muun muassa PDOP (Position), HDOP (Horizontal), VDOP (Vertical), ja TDOP (Time). Tavallisesti käytetään vain PDOP-arvoa, joka yhdistää tasoon (HPOD) ja korkeuteen (VDOP) vaikuttavat satelliittigeometrian epävarmuudet. Ihanteellisessa tapauksessa näitten arvojen tulisi olla alle kolme. Yli seitsemän arvo kuvaa jo huonoa geometriaa. Myös näitä arvoja voi seurata rataennusteohjelmassa. [Laurila 2012: 308–310.]

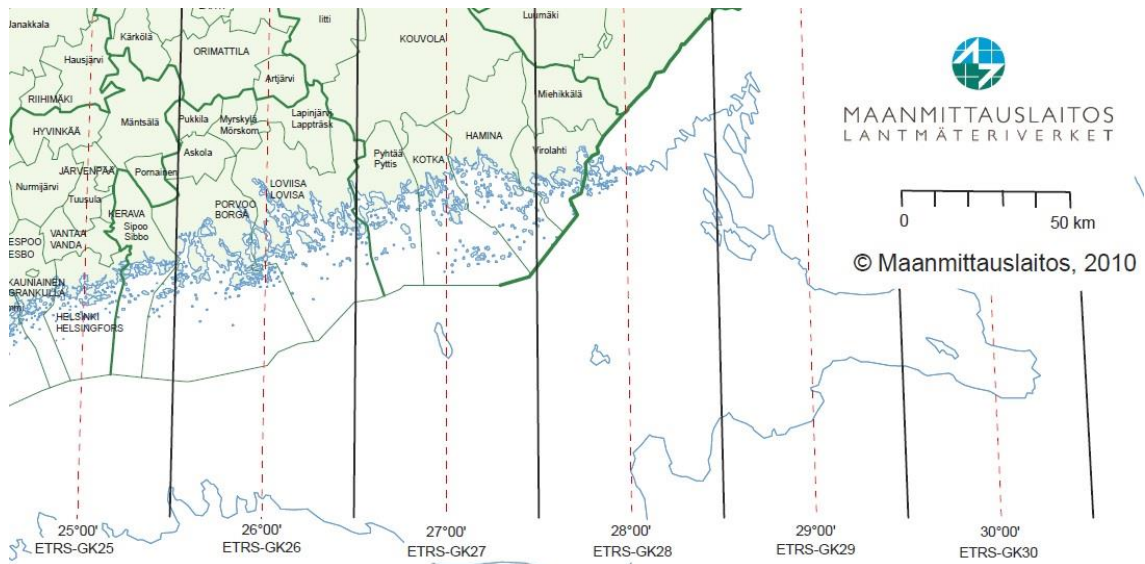
4.4 Koordinaattijärjestelmät

Satelliittimittaukset tehdään WGS84 (World Geodetic System 1984) -koordinaattijärjestelmässä. Se on vuonna 1984 Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä järjestelmä, jota on tarkennettu myöhemmin. Viimeisin realisaatio tehtiin

vuonna 2001. WGS84-järjestelmän origo on Maan painopisteessä ja GPS-järjestelmän valvonta-asemia käytetään kiintopisteinä. [Häkli ym. 2009: 19–20; Laurila 2012: 160.]

Suomessa on pitkälti siirrytty käyttämään kartastokoordinaattijärjestelmän (KKJ) sijasta eurooppalaista koordinaattijärjestelmää ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). Siirtymävaihe on pitkä, koska KKJ on ollut käytössä pitkään ja sillä on mitattu valtavasti tietoa. ETRS89 on Kansainvälisen Geodeettisen Assosiaation (IAG) alakomission EUREF:in (Regional Reference Frame Sub-Commission for Europe) määrittelemä ja ylläpitämä koordinaattijärjestelmä. ETRS89 on sidottu Euraasian mannerlaataan ja vuonna 1989 toteutettiin sen ensimmäinen GPS-mittausohjelma. WGS84 ja ETRS89 järjestelmien koordinaattieroja voidaan pitää identtisinä. Näin ollen ETRS89 on yhteen sopiva GPS-mittauksia tehtäessä. KKJ koordinaatteja ei ole mahdollista käyttää GPS-mittauksissa. KKJ:n ongelmana on sen kolmiomittauksesta ja muunnoksesta aiheutuvat vääristymät, joista johtuu että sen ja WGS84:n väliset poikkeamat vaihtelevat eri osissa maata. [Häkli ym. 2009: 20–23; Laurila 2012: 160–161.]

Suomessa käytössä olevasta ETRS89:n kansallisesta realisaatiosta käytetään nimitystä EUREF-FIN. Valtakunnallisesti on käytössä ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto, jossa Suomi on esitetty yhdessä projektiokaistassa 19 ja 32 itäisten pituusasteiden välissä keskimeridiaanin ollessa 27° itäistä pituusastetta. Paikallisesti useammilla kunnilla on käytössä ETRS-GKn-tasokoordinaatisto. Siinä Suomi on jaettu 13 projektio- ja koordinaatiokaistaan. ETRS-GKn-koordinaatistossa n:llä kuvataan, mihin keskimeridiaaniin kyseinen koordinaatisto sijoittuu. [Häkli ym. 2009: 23–24; Laurila 2012: 161–163.]



Kuva 4. Esimerkki tasokoordinaatiston ETRS-GK kaistoista [ETRS-GaussKrüger tasokoordinaatisto 1° kaistoin 2010].

Kuvasta 4 nähdään että suurin osa Porvoon Sähköverkon verkosta sijoittuu lähemmäksi keskimeridiaania 26. Ainoastaan Pornaisten alue on lähempänä keskimeridiaania 25. Trimble NIS -ohjelma ja Porvoon kaava-alueiden kartat ovatkin tasokoordinaatissa ETRS-GK26. Toisin kuin Pornaisten kunnan aineisto, joka on tasokoordinaatissa ETRS-GK25. Tämä aiheuttaa muunnostarpeen, mikäli Pornaisiin tehtäviä suunnitelmia halutaan siirtää suoraan Trimblen NIS -verkkotietojärjestelmään.

4.5 Verkkoyhtiölle sopivat mittaustavat

Yhteenvedona verkkoyhtiölle sopivista tavoista olisi verkko-RTK- ja DGNSS-mittaustavat. Taulukkoon 1 on kerätty edellisistä kappaleista yhteenvedona eri mittaustapojen erot. Verkkoyhtiölle kartoitukseen paras ratkaisu on verkko-RTK:n käyttö. Liikuvien ja vaihtelevien työmaiden takia tukiasemien perustaminen ei ole perusteltua sijaintitietojen keruuseen. Myös verkko-RTK:n tarkkuus on täysin riittävä. DGNSS-tekniikan käyttö voisi soveltua maanpäällisten osien tallentamiseen tai jo kerran kerättyjen paikkatietojen hakuun, kuten esimerkiksi tietyn komponentin paikan hakuun maastossa. Tietyin varauksin voitaisiin maaseudulla kartoittaa myös DGNSS-laitteilla.

Taulukko 1. Eri paikannustapojen vertailu.

Tapa	Suure	Korjaus	Laskenta	Vastaanotin pisteellä	Tarkkuus tasossa (m)
Absoluuttinen	koodi		reaali	10-180s	5-10
DGNSS	koodi	tukiasema tai tukiasemaverkko	reaali- ja/tai jälkilaskenta	10-180s	0,1-2
Suhteellinen RTK	kantoaalto	tukiasema	reaali- ja/tai jälkilaskenta	10-180s	0,01-0,1
Suhteellinen verkko RTK	kantoaalto	tukiasemaverkko	reaali- ja/tai jälkilaskenta	10-180s	0,01-0,1
Suhteellinen staattinen	kantoaalto	tukiasema tai tukiasemaverkko	jälkilaskenta	>30min	<0,01

Tulevaisuudessa DGNSS-palvelujen kehittyessä se voi olla riittävä tekniikka verkon kartoitukseen. Jo tällä hetkellä Trimnetin VRS -verkossa päästään parhaimmillaan 10 cm:n tarkkuuteen ja Geodeettisen laitoksen verkossa on päästy 50 cm:n tarkkuuteen. FinnRef-verkon ilmaisuuden takia voi harkita sen kokeilua. Tosin sen käyttöön ottaminen vaatisi parempaa asiaan perehtymistä. Toisin kuin kaupallisten palveluntarjoajien kanssa toimiessa, joilta saadaan palvelut myös avaimet käteen -periaatteella.

5 Käyttökokemuksia muualta

5.1 Porvoon kaupunki

Porvoon kaupungin mittausyksiköllä on käytössä useampi Leican laite ja yksi Trimblen. Kokoonpano koostuu senttimetrin tarkkuuteen pystyvistä antennista ja keruulaitteesta. Kaupungilla on käytössään Leican SmartNet -verkko, jonka käyttöön on siirrytty, kun oman verkon ylläpito on jätetty Leican hoidettavaksi. Käyttökokemusten mukaan Leican laitteet ja SmartNet-verkko on toiminut Porvoon alueella hyvin. Laitteetkin ovat nykyään sen verran käyttäjäystävällisiä, että niitä oppii käyttämään lyhyellä koulutuksella. Yhteistyö kummankin laitteita tarjoavan myyjän kanssa on sujunut hyvin, apua on löytynyt aina pyydettyäessä. [Lönn 2016.]

Kaupungin mittauksissa noin 90 % työajasta koostuu maastossa suoritettavista mitaustehtävistä, mikäli mittaukset ja tarvittavat tiedonkeruukirjastot on tehty huolella ennen mittausten aloitusta. Laitteesta saadaan suoraan ulos mittaustiedot halutussa koordinaattijärjestelmässä ja halutussa formaatissa. Edes tarkkuutta vaativassa kaupungin mittauksissa ei ole ollut tarvetta jälkilaskennalle. [Lönn 2016.]

Kaupungin omistamalle sähköyhtiöllä on saatavilla samanlaiset tarjoukset SmartNet-verkon käyttölisensseihin, kuin on kaupungilla ja vesilaitoksellakin.

5.2 Muut verkkoyhtiöt

Kartoitin Google Forms -työkalua apuna käyttäen muiden verkkoyhtiöiden käytäntöjä verkonkartoitukseen liittyen (liite 2). Lähetin tämän kyselyn kolmelle eri verkkoyhtiölle ja sain vastaukset kahdelta. Vastaukset tuli Kymenlaakson Sähkö Oy:ltä ja Mäntsälästä Nivos Oy:ltä. Molemmilla on käytössään Trimble NIS -verkkotietojärjestelmä. Niillä ei ole Trimblen GPS-ohjelmien lisäksi erillisiä paikkatiedon hallintaohjelmia. Kymenlaakson Sähkö Oy:llä palvelu tilataan verkstourakoitsijalta, joka myös ajaa sijaintitiedot verkkotietojärjestelmään. Nivos Oy:llä on omassa käytössään kaksi Trimblen laitekonaisuutta senttimetrin verkko-RTK-lisenssillä Trimnetin tukiasemaverkossa. Kahdella henkilöllä on osaamista käyttää laitteita, ja niitä käytetään myös suunnittelun ja näyttöpalvelun apuna. Kyselyn mukaan laitteet ovat olleet helppokäyttöisiä, eikä laitteiden käytettävyydessä ole ilmennyt suurempia ongelmia.

6 Laitteet verkoston kartoitukseen

Suurimpia paikannuslaitteita valmistavia yhtiötä ovat yhdysvaltalainen Trimble Navigation Ltd, sveitsiläinen Leica Geosystem AG ja japanilainen Topcon. Vastaavasti näiden laitteita maahantuovat Suomessa Trimblen osalta Geotrim Oy, Leican osalta Leica Geosystem Oy ja Topconin osalta Topgeo Oy. Topconin oma verkko-RTK TopNETlive -ratkaisu ei ole Suomessa käytössä. Käytettäessä Topconin laitteita muiden tarjoamassa verkko-RTK-palvelussa täytyy ottaa huomioon, että mahdollisissa vikatilanteissa joutuu asioimaan kahden eri toimijan kanssa.

6.1 Vastaanotin- ja tallenninyhdistelmä

Yleisin kartoituksessa käytössä oleva laiteyhdistelmä on erillisen vastaanottimen ja tallentimen yhdistelmä. Nykyään useimmiten vastaanottimen ja tallentimen välillä tiedonsiirto tapahtuu Bluetooth-yhteyden kautta. Laitteista riippuen joko vastaanotin tai tallennin vastaanottaa korjausdataa. Ne ovat useimmiten kiinnitettynä kartoitussauvaan, jonka avulla mittaukset suoritetaan. Kartoitussauva voidaan teleskooppikiinnityksen avulla asetella halutun pituiseksi. Sauvan varustukseen kuuluu yleensä myös tasain, jolloin varmistutaan sauvan suoruudesta. Tallentimeen voidaan asettaa tarkka antennin korkeus, jolloin saadaan myös mitattua tarkemmin kohteen korkeus tieto. Tätä yhdistelmää käytetään, kun halutaan paras liikkuvan kartoituksen mittaustarkkuus. Yhdistelmällä päästäänkin parhaillaan senttimetrin tarkkuuksiin, mutta korjauspalvelun tarkkuudeksi voidaan myös valita esimerkiksi desimetri säästäen näin lisenssimaksuissa. Etuna tässä tavassa on laitteiden päivitettävyyys, mutta toisaalta tämä on kaikkein kallein laitekoonpano.

Liitteen 3 sivuilla 1–3 on vertailtu yleisimpiä vastaanottimia ja tallentimia. Liitteen tiedot perustuvat laitevalmistajien esitteisiin.

6.2 Kämmenmikro

Yhden laitteen kokoonpanoa voidaan kutsua vaikka kämmenmikroksi tai GIS- (Geographical Information System) eli paikkatietolaitteeksi. Näissä yhdessä laitteessa yhdistyy kuluttajatuotteita tarkempi antenni, paikkatiedon tallennin, maasto-ohjelmisto ja tar-

peelliset tiedonsiirtoyhteydet korjauspalvelun vastaanottamiseen. Parhailla kämmenmikrojen sisäisillä paikantimilla päästään muutamien senttimetrin tarkkuuteen. Kämmentmikrot on myös mahdollista kiinnittää kartoitussauvaan, mikäli halutaan mitata sijaintitieto tarkasti kohteen pinnasta. Useimmat tukevat myös ulkoisen antennin parittamista laitteeseen, näin edelleen parantaen laitteen tarkkuutta.

Liitteen 3 sivulla 4 on vertailtu yleisimpiä kämmenmikroja. Liitteen tiedot perustuvat laitevalmistajien esitteisiin.

6.3 Muita sovelluksia

Uudenlainen sovellus vastaanottimien käyttöön on yhdistää ne kuluttajatasoihin laitteisiin, kuten älypuhelimiin tai tabletteihin. Trimblellä on saatavilla muun muassa R1- ja R2-malliset vastaanottimet, jotka voidaan parittaa suoraan kyseisiin laitteisiin. Laineen ja Mäenpään [2016] mukaan R1-laitteella on Geotrim Oy:n kokeissa päästy hyvissä olosuhteissa noin 25 cm:n tarkkuuteen ja huonoissa olosuhteissa noin metrin tarkkuuteen. R2-vastaanottimella päästään puolestaan valmistajan ilmoituksen mukaan jo senttimetrin tarkkuuksiin. Android- ja IOS-käyttöjärjestelmille on saatavilla niiden omasta sovelluskaupasta sovellukset paikkatiedon mittaamiseen ja tallentamiseen.

Trimble on myös julkaissut vuonna 2013 uudenlaisen palvelun paikkatiedon keruuseen. Palvelu kantaa nimeä TerraFlex, ja se on niin sanottu SaaS (Software as a Service) -palvelu, eli siinä maksetaan lisenssipohjaisen maksun sijaan palvelun laajuuden mukaan. Se toimii sekä suoraan selaimelta että siitä on saatavilla omat sovelluksensa kannettaviin Android-, IOS- ja Windows-laitteisiin. Tiedot tallennetaan pilveen, josta ne on siirrettävissä omiin järjestelmiin. TerraFlex tukee lähes kaikkia Trimblen uusimpia vastaanottimia ja tallentimia. TerraFlex-käyttöliittymässä on mahdollista tehdä halutunlaisia pohjia tiedonkeruuta varten käytettäväksi maastossa. Näihin pohjiin voidaan määritellä, mitä tietoja kohteesta kerätään, ja näitä pohjia voi halutessaan käsitellä ikään kuin tietynlaisina työmääräiminä. Palveluun voidaan tuoda ja edelleen tulostaa ulos muun muassa Shapefile-tiedostomuodossa, mutta se ei tuo suoraan CAD-tiedostomuotoja. Synkronointi on mahdollista toteuttaa automaattisesti toimiston ja maaston välillä. [Laine & Mäenpää 2016.]

6.4 Insinööritö GNSS-laittevertailusta

Piirosen [2015] opinnäytetyössä vertailtiin GNSS-paikantamia Suomen metsäkeskuk-
sen toimeksiannosta. Paikannuksia suoritettiin metsäisessä maastossa vaikeusasteel-
taan jaoteltuna erityyppisillä aloilla. Koepisteet oli jaoteltu helppoihin, keskivaikeisiin ja
vaikeisiin. Helpoimmat pisteet sijaitsivat avonaisessa maastossa ja vaikeat tiheä kas-
vuisassa metsässä. Testissä oli mukana kuusi Trimblen laitetta ja yksi Topconin laite
(kuva 5). Trimblen Pro XRT -mallista testissä oli kahdella erilaisella antennilla varustet-
tua mallia.

Trimble Pro 6H	Trimble Pro XRT	Trimble Geo7x	Trimble R10	Topcon Hiper SR
				
Tarkkuus				
Reaaliaikainen ja jälkilaskettu H-Star 10 cm + 1 ppm	Reaaliaikainen ja jälkilaskettu H-Star 10 cm + 1 ppm	Reaaliaikainen ja jälkilaskettu H-Star 10 cm + 1 ppm	RTK-mittaus 8 mm + 1 ppm Staattinen mittaus 3 mm + 0,5 ppm	RTK-mittaus 10 mm + 1 ppm Staattinen mittaus 3 mm + 0,5 ppm

Kuva 5. Laitetestin paikantimet [Piironen 2015:26].

Havainnointipisteet oli mitattu etukäteen käyttäen Trimblen R10 GNSS -paikanninta ja
takymetriä. Mittaukset toteutettiin staattisena mittauksena ja raakadata korjattiin jälki-
laskennalla. Trimblen laitteille jälkikorjaukset saatiin Geotrimin VRS -palvelusta ja Top-
conin laitteelle käytettiin vapaata Paikkatietokeskuksen FinnRef-verkon havaintodataa.

Taulukko 2. Laitetestin laitteiden tarkkuudet [Piironen 2015: 33].

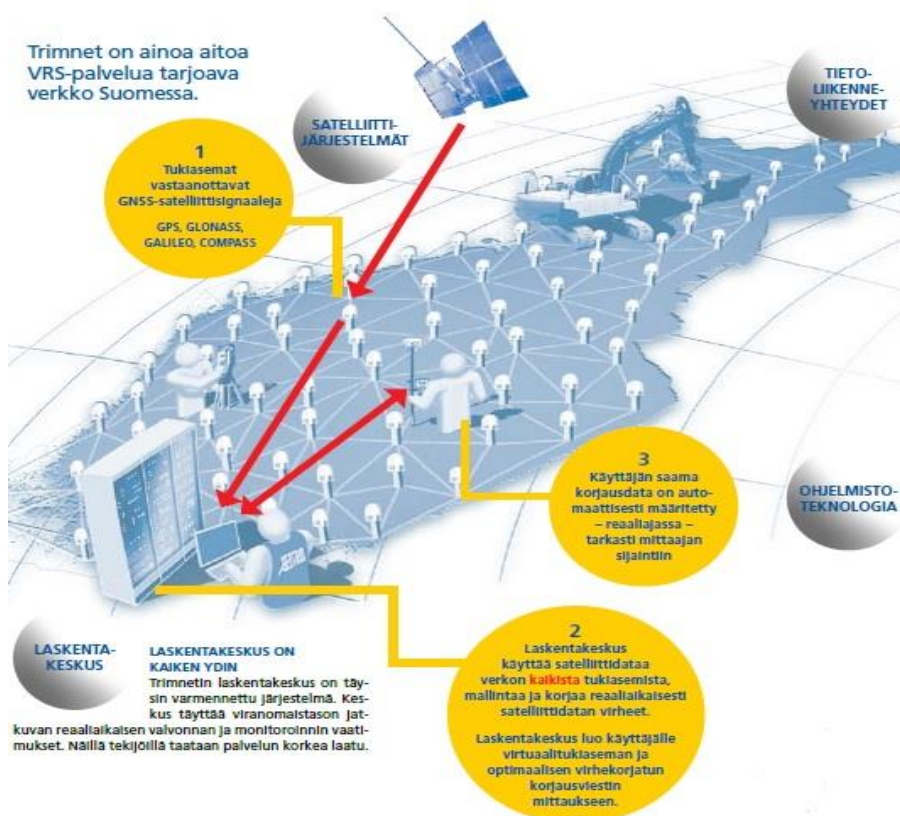
Laite	Vaikeusaste			Yhteensä, m
	Helppo	Keskivaikea	Vaikea	
Trimble R10	0,074	0,064	0,169	0,105
Trimble ProXRT 1.2	0,055	0,091	0,233	0,137
Trimble ProXRT 1.1	0,057	0,069	0,439	0,207
Trimble ProXRT 2.0	0,074	0,077	0,485	0,248
Topcon Hiper SR	0,054	0,198	0,407	0,250
Trimble Geo 7x	0,076	0,125	0,493	0,255
Trimble Pro 6H	0,092	0,099	0,658	0,321
Keskiarvo	0,069	0,104	0,411	0,216

Kuten taulukosta 2 nähdään, päästiin kaikilla laitteilla helpoissa olosuhteissa melko yhteneviin tuloksiin. Keskivaikeilla testipisteillä havaitaan jo pientä hajontaa. Verkon kartoituksessa mittausolosuhteet maaseudulla asettuvat useimmiten tämän testin helpon kohdalle. Uudet maakaapelit pyritään sijoittamaan mahdollisuuksien mukaan joko pelto-osuuksille tai tienviereen. Monesti puustoakin on raivattava kaapelireitin kohdalta, mikä edelleen parantaa näkyvyyttä taivaalle.

6.5 Tukiasemaverkot

6.5.1 Trimnet

Geotrim Oy lähti Suomessa ensimmäisenä rakentamaan satelliittimittauksia palvelevaa tukiasemaverkkoa. Ensimmäisen kerran se oli käytössä vuonna 2000 ja koko Suomen kattava se oli vuonna 2005. Tällä hetkellä Trimnet sisältää 104 tukiasemaa, joista kaksi on Ruotsin puolella ja kuusi Norjan puolella, sekä laskentakeskuksen Vantaalla. Kuvassa 6 on esitetty VRS-tekniikan periaatteellinen toiminta. [Trimnet esittely sivut; Trimnet GPS/GNSS web-palvelu.]



Kuva 6. VRS-tekniikan periaatekuva [GNSS-mittauksen uusi aikakausi 2016: 3].

Trimnet perustuu Trimblen kehittämään VRS-tekniikkaan. Siinä tukiasemat havainnoivat koko ajan satelliittien paikkaa ja välittävät tämän tiedon edelleen laskentakeskukseen. Siellä se käsitellään ja luodaan mittajaan vastaanottimen likimääräisen sijainnin lähelle virtuaalinen tukiasema. Sen suhteen mittajalle lasketaan korjaustietoa. Tämä virtuaalinen tukiasema lasketaan jokaista mittausta varten erikseen. Näin ollen mittaus ei ole jälkikäteen toistettavissa eikä jäljitettävissä. [Laurila 2012: 320–321.]

Trimnetissä on tarjolla eri tarkkuusluokan palvelua sekä eri toimialoille suunnattuja, kuten on esimerkiksi maatalouteen ja koneautomaation omansa. VRS-palveluista on saatavilla niin maanmittausta ja kartoitusta varten verkko-RTK kuin paikkatiedon keruuta varten DGNSS-tekniikka. Trimblen uusin markkinoille kehittämä tekniikka on VRS H-Star, joka tuo käyttäjille uuden tarkemman tarkkuusluokan käyttöön. Siinä on yhdistetty verkko-RTK- ja DGNSS-tekniikoiden parhaita puolia sekä vastaanottimia ja ohjelmistoa on paranneltu ja optimoitu H-Star-tekniikkaa varten. Sillä voidaan parhaimmillaan päästä noin 10 cm:n tarkkuuteen. Valitusta tekniikasta, mittauksavasta ja laitteesta riippuen tarkkuusluokista palvelussa on tarjolla RTK:n millimetrin ja senttimetrin tarkkuudet, H-Starin 10 cm:n ja 30 cm:n tarkkuudet ja DGNSS:n 50 cm:n ja metrin tarkkuudet.

Vastaavasti palvelun lisenssit on hinnoiteltu tarkkuuden mukaan, tarkimman palvelun ollessa kallein. Lisenssejä on mahdollista ostaa eripituisissa jaksoissa. [Trimnet esittely sivusto 2016.]

6.5.2 SmartNet

Leica Geosystem Oy tuli mukaan vuoden 2012 lopussa tarjoamaan tukiasemaverkko ratkaisuja. Tällä hetkellä SmartNet-verkkoon kuuluu 109 tukiasemaa, joista viisi on Ruotsin puolella ja yksi Norjan puolella. Myös niillä on eri sovellusalueille kohdennettua palvelua kattaen aina maanmittauksesta koneenohjaukseen ja maatalouteen. Paikkatiedon korjausta on tarjolla niin verkko-RTK:n tasoisena kuin DGNSS:n tasoisena. Korjaustekniikoista on käytössä useampia vaihtoehtoja. Näitä eri menetelmiä ovat muun muassa Master Auxiliary Corrections (MAX), yksilöllinen MAX (i-MAX) sekä VRS. [SmartNet Finland esittely sivusto 2016.]

MAX-tekniikkaa hyödyntävää korjausta lähettämää menetelmää kutsutaan MAC-konseptiksi (Master Auxiliary Concept). Se on Leican ja Geo++:n yhteistyössä kehittelemä tapa toteuttaa verkko-RTK-korjausta. MAC-konseptin ideana on että yksi tukiasema toimii pääasemana (master) ja muut sopivat tukiasemat toimivat apuasemina (aux). Laskentakeskus lähettää pääasemalle korjaamattomana tiedot eri tukiasemilta. Taas puolestaan tukiasemille lähetetään ratkaistut alkutuntemattomat ja lasketut virheet pääasemaan nähden. Liikkuvan vastaanottimen sijaintitieto ratkaistaan pääaseman suhteen. Koska sijaintitiedon mittaus tapahtuu pääaseman eikä virtuaalisen aseman suhteen, on mittaus jälkikäteen toistettavissa ja jäljitettävissä. MAC-konseptin olennaisena osana on myös liikkuvan vastaanottimen mahdollisuus monitoroida verkko-RTK-ratkaisua ja vaikuttaa itse ratkaisun laskentaan vaihtaen sitä vaikka lennosta. [SmartNet Finland esittely sivusto 2016.]

I-MAX-menetelmä kehitettiin samanaikaisesti MAX-korjauksen kanssa, ja se on tarkoitettu vanhemmille laitteille, jotka eivät pysty vastaanottamaan MAX-korjauksia. VRS- ja i-MAX-tekniikat ovat palvelimen kontrolloimia ja laskenta-algoritmit ovat julkaisemattomia. [SmartNet Finland esittely sivusto 2016.]

6.5.3 Insinööritöitä tukiasemaverkkojen vertailuista

Toivosen ja Ylikosken [2013: 70] tekemässä insinöörityössä päästiin SmartNet-verkossa 95 % ajasta tasossa parempiin paikannustarkkuuksiin kuin 50 mm. Alun perin heidän tarkoituksenaan oli vertailla Trimnet- ja SmartNet-verkkoja keskenään insinöörityössään. SmartNet-verkon valmistumisen myöhästymisen johdosta aikataulullisista syistä Geotrim Oy kuitenkin vetäytyi hankkeesta. Näin ollen mittaukset suoritettiin ainoastaan SmartNet-verkossa. Taulukosta 3 nähdään mitattujen pisteiden poikkeamat erilaisissa maasto-olosuhteissa.

Taulukko 3. Mitattujen pisteiden poikkeama referenssipisteestä millimetreinä [Toivonen & Ylikoski 2013: 70].

AVOIN PISTE						
	Leica			Topcon		
	Pohjoinen (N)	Itä (E)	Korkeus (U)	Pohjoinen (N)	Itä (E)	Korkeus (U)
RMS	23	16	24	18	19	41
95 %	45	32	47	35	37	81
VÄHÄPEITTEINEN						
	Leica			Topcon		
	Pohjoinen (N)	Itä (E)	Korkeus (U)	Pohjoinen (N)	Itä (E)	Korkeus (U)
RMS	14	11	20	42	20	49
95 %	28	21	39	83	40	96
PEITTEINEN						
	Leica			Topcon		
	Pohjoinen (N)	Itä (E)	Korkeus (U)	Pohjoinen (N)	Itä (E)	Korkeus (U)
RMS	21	19	35	30	23	65
95 %	41	37	68	59	46	128

Mittaukset suoritettiin viiden havainnoinnin jaksoissa samalla pisteellä ja näitä jaksoja mitattiin yhteensä kolme kappaletta eri aikoina. Yhden havainnon kesto oli 15 sekuntia. Mittaukset suoritettiin pisteen päälle asennetun kolmijalan päältä. Jaksojen välissä vaihdeltiin mitattavaa vastaanotinta ja välillä luotiin keinotekoisesti yhteyden katko satelliitteihin asettamalla huppu vastaanottimen päälle. Yhteensä mitattavia pisteitä oli 27. Koejärjestelyllä pyrittiin simuloimaan normaalia verkko-RTK:n mittaustapahtumaa. Korjausmenetelmänä käytettiin MAX-korjausta. Laitteina testissä oli käytössä kaksi huippuluokan vastaanotinta, Leica Viva GS14 ja Topcon HiPer SR. Alustuksesta laitteet suoriutuivat 95 % ajasta alle 30 sekunnissa. Leican vastaanottimella päästiin hivenen tarkempiin tuloksiin. Huomioon on otettava, että SmartNet oli juuri perustettu kyseisiä mittauksia tehtäessä. Voidaan olettaa, että SmartNet-tukiasemaverkko on vielä hieman kehittynyt tämän jälkeen.

Käsnäsen ja Laaksosen [2016] insinööriyössä tutkittiin staattisen mittauksen avulla Trimnet- ja SmartNet-verkon tarkkuuksia. Koe toteutettiin keväällä 2015 kolmella eri referenssipisteellä Hangossa, Lohjassa ja Askolassa. Mittaukset suoritettiin kahteen kertaan kahden tunnin havaintojaksoissa käyttäen Trimblen R8 GNSS -vastaanotinta. Molemmasta tukiasemaverkosta ladattiin tarkat satelliittien sijaintitiedot ja laskettiin tarkat pisteet Trimblen Business Center -ohjelmalla. Ottaen huomioon melko suppean otannan päästiin Trimnet-verkossa tasotarkkuudessa keskimäärin senttimetrin päähän ja SmartNet-verkossa kahden senttimetrin päähän referenssipisteen koordinaateista. Korkeustarkkuudessa puolestaan SmartNet-verkossa tultiin noin viiden millin sisään ja Trimnet-verkossa noin puolentoista senttimetrin päähän tunnetunpisteen koordinaateista.

7 Organisaatioon liittyvät muutokset

7.1 Kartoituksen työohjeistus

Kartoitusta varten olisi hyvä laatia yhtiökohtainen työohjeistus. Se toimisi yhtä lailla ohjeena niin aliurakoitsijoille kuin yhtiön omatoimiseen mittaukseen. Siinä voitaisiin määritellä, kuinka kartoitustilaukset hoidetaan työmaalle, mitkä ovat paikannuksen tarkkuusvaatimukset, missä koordinaattijärjestelmässä tallennetaan ja mitä tiedostomuotoa käytetään. Ohjeessa tulisi mainita myös, kuinka eri verkon komponentit mitataan ja niiden halutut attribuutit. Hyvä olisi myös ohjeistaa, että ensisijaisesti mittaus suoritetaan avo-ojasta sekä halutaanko tietyistä kohteista tallentaa mittausten yhteydessä valokuvia. Hyviä valokuvauksen paikkoja ovat tietynlaiset kaapeleiden solmukohdat sekä muuntamoiden ja jakokaappien edustat. Hyvän ohjeistuksen luominen mahdollistaa myös helpommin uusien alihankkijoiden perehdyttämisen.

7.2 Oman laitteiston tuomat mahdollisuudet

Omasta paikannuslaitteistosta tulee monia synergiaetuja. Mittausten teko ja tilaaminen helpottuvat. Näin ollen tarpeisiin voidaan reagoida nopeammin, kuten esimerkiksi maakaapeleiden vikatilanteissa. Saaristoprojekteihin on myös helpompi ottaa yhtiön omat laitteet mukaan, jolloin saataisiin sieltäkin mitattua sijaintitietoa. Omilla laitteilla on myös mahdollisuus tasata asentajien työtilannetta. Kovana talvena kaivaminen hidastuu, jolloin voidaan kohdentaa asentajaresursseja vaikka verkon kunnossapitoon. Hyvin todennäköistä on myös, että käyttäjäkunta löytää laitteille uusia käyttökohteita.

Suunnittelu

Maastosuunnittelun yhteydessä GPS-paikantimella mitattaessa saadaan verkkokomponentit varmasti maanomistajan kanssa sovittuun paikkaan. Monesti suunnittelun ja itse urakan alkamisen välissä saattaa alla vuodenkin väli. Tällöin kaivun alkaessa hyvin suurella todennäköisyydelle joko suunnittelija ei muista tarkkaa reittiä maastossa tai merkkikepit ovat kadonneet. Mikäli kaapelireitti ja verkkokomponenttien paikat olisi mitattu jo maastosuunnittelu vaiheessa, voidaan tarkat paikat helposti tarkistaa ja merkata tarvittaessa uudelleen maastoon. Maastosuunnittelun lomassa pystytään myös laitteen avulla mittaamaan tarkka kaapelireitin pituus sekä kartoittamaan kaivun vaikutta-

vat kriittiset kohteet. Tämä on helpompi toteuttaa jo suunnitteluvaiheessa silloin kun käydään maanomistajien kanssa kaivun reittiä läpi. Kaivun vaikuttavia kriittisiä kohteita voivat olla esimerkiksi maastossa olevat rajapyykit, kaivot tai salaojat. Suunnittelija voi viedä nämä tiedot edelleen työsuunnitelmiin, jolloin maaurakoitsijat osaavat varoa näitä. [Lillandt 2016; Lindqvist 2016.].

Ilmajohtoverkon pylväs- ja haruspaikkojen määrittelyyn olisi myös suurta apua paikannuslaitteista. Laitteiden ohjelmilla on yksinkertaista määrittellä halutut pylväsvälit ja niillä on helpompi merkitä maastoon suorat pylväslinjat. Osa maasto-ohjelmista tukee myös taustakarttoja, jolloin voidaan paikannuslaitteeseen tuoda vaikka kiinteistöjen rajat. Näin ollen tuleva linja on helpompi sijoittaa oikean kiinteistön alueelle tai suoraan rajalle. Vaikka pylvästyöt ovat vähenemässä, tehdään vuosittain vielä jonkin verran ilmajohdotöitä. Esimerkiksi tievalaistusta rakennettaessa pylväsvälien määrittelyyn laitteista olisi oiva apu.

Käyttö- ja kunnossapito

Satelliittimittauslaitetta on mahdollista hyödyntää käyttö- ja kunnossapito tehtäviä tehtäessä, kuten verkon kuntotarkastusten yhteydessä. Lisäksi muiden töiden ohessa tai hiljaisina aikoina kuten talvella olisi GPS-laitteilla mahdollista kartoittaa nykyistä verkkoa. Näin ollen olisi helpompi puuttua puutteellisiin kohteisiin ja tarkentaa verkkokarttoja. Ilmajohdoista voidaan paikantaa vaikka työmaadoituspaikat, jännitetyön katkopaikat ja kipinävälisarvet. Maakaapeliverkossa pystytään muun muassa tarkentamaan vanhojen jakokaappien paikkoja. [Hämäläinen 2016]

Näyttöpalvelu

Tulevaisuudessa kun kartoitettu verkko on tarpeeksi laaja, pystytään näyttöpalvelussa-kin hyödyntämään paikannuslaitetta. Näin ollen voidaan tarvittaessa ruuhkaisina aikoina toteuttaa näyttöjä vaihtoehtoisesti joko paikannuslaitteilla tai kaapelinhakulaitteella. Tällä hetkellä mikäli kaapelinäyttöjä suoritettaisiin kahden hengen työryhmässä, pystyttäisiin vanhoja verkkoja kartoittamaan näyttöjen yhteydessä aikataulujen niin salliessa. Tällöin toinen voi kaapelihakulaitteella näyttää kaapelien paikat samalla kun toinen ottaa niistä tarkat paikkatiedot ylös. Laiterajapintojen parantuessa tämä voi onnistua tulevaisuudessa samanaikaisesti yhdeltäkin henkilöltä. Jo tällä hetkellä sijaintitieto on mahdollista yhdistää kaapelinhakulaitteen keräämiin tietoihin.

7.3 Henkilöstö ja koulutus

Henkilöstöresurssien tarvittava määrä riippuu suuresti siitä, minkälaisella laitekoko-panolla yhtiö aloittaa. Tarpeellista on ainakin kouluttaa tarvittava määrä henkilöstöä käyttämään laitteita, niin että mittaukset saadaan hoidettua sujuvasti myös lomien ja sairauslomien aikana. Ja mikäli laitteita hankitaan useamman käyttöön, tulee myös huolehtia siitä, että laitteiden käyttö ei pääse unohtumaan. Onkin suurella todennäköisyydellä syytä laatia selkeät käyttöohjeet laitteiden ja ohjelmistojen käyttöön. Mikäli laitteista saadaan mittaustiedot suoraan ulos halutussa muodossa, ei mittaustietojen-kaan jälkikäsitteily aiheuta uutta merkittävää lisäpainetta jo nykyisellään toimistolla ta-
pahtuvaan käsittelyyn verrattuna.

Yleensä laitteiden hankintahintaan kuuluu myyjän toimesta jonkinlainen laitteiden käy-
tön opastus. Laitehankintojen yhteydessä saatava koulutus tulisikin ulottaa mahdolli-
simman monen laitetta käyttävän saataville ja koostaa siitä jonkinlainen yhteenveto
myöhempää käyttöä varten.

7.4 Ohjelmistot

Uusien ohjelmien tarve riippuu hivenen hankittavista laitteista. Kullakin valmistajalla on
saatavilla omanlaisensa ohjelmaperheet sijaintitietojen hallintaan ja käsittelyyn. Tämän
lisäksi löytyy vielä muidenkin ohjelmistoja. Moneen laitekokonaisuuteen kuuluu mukaan
yksinkertainen toimisto-ohjelma. Mikäli kartoitus suoritetaan reaaliaikaisella verkko-
RTK-periaatteella ja laitteista saadaan tuotua halutussa koordinaattijärjestelmässä si-
jaintitiedot ulos DXF-tiedostona, uusille ohjelmille ei ole tarvetta. Tämä vaatii myös, että
laitteeseen saadaan tehtyä tiedonkeruukirjastot halutunlaisiksi. Mikäli tarvitaan jälkikor-
jauspalveluita ja laskentaa, vaatisi se mittausohjelmiston hankkimista.

7.5 Aliurakoitsijat

Yhtiön toteuttaessa itse verkon kartoitusta vaikutukset maaurakoitsijoiden toimiin olisi-
vat hyvin pienet. Lähinnä tulisi sopia yhteistyössä pelisäännöistä, kuinka kartoitus tila-
taan ja suoritetaan työmaalla. Ajankäytöllisesti kartoitusta voitaisiin suorittaa esimerkik-
si yhdellä laitteella joko kokopäiväisesti tai puolipäiväisesti. Tällä hetkellä esimerkiksi

näyttöpalvelua hoidetaan kahtena päivänä viikossa. Yhtenä vaihtoehtona olisi, jos jatkossa sama henkilö tekisi muina päivinä kartoitusta. Vaihtoehtona on myös hankkia yhtiöön useampi laite, jolloin asentajaryhmillä on mahdollisuus itse paikantaa omat työmaansa.

8 Kustannukset

Ei julkinen.

9 Päätelmät ja jatkotoimenpiteet

Insinööriyön tavoitteena oli saada aikaan raportti, joka mahdollistaisi sijaintitietoon liittyvän prosessin hallinnan kehittymisen ennen yhtiön omien satelliittimittauslaitteiden hankkimista. Mahdollisen ostopäätöksen jälkeen pystytään välttymään turhilta ja ylimääräisiltä virheiltä. Työssä tarkasteltiin kriittisesti nykyisen prosessin läpikulkua ja pyrittiin löytämään ne kohdat, joihin tulisi puuttua.

Kehitysehdotuksena esittäisin siirtymistä suuresta ja raskaasta yhdestä kartoitustiedostosta yksittäisen työmaan sisältäviin mittaustietoihin. Tämä olisi helppo toteuttaa jo nyt, koska tällä hetkellä saamme mittaustiedot työmaakohtaisina tiedostoina alihankkijalta. Siirtymällä käyttämään työmaakohtaisia mittaustietoja Trimble NIS -ohjelman käyttö muuttuisi kevyemmäksi helpottaen suuresti verkon dokumentointia. Kaikkein parhaimpana keinona näkisin, että kartoitustieto vietäisiin suoraan verkkotietojärjestelmään. Se on tällä hetkellä mahdollista toteuttaa kahdella eri tavalla Trimble NIS:ssä. Yhtenä vaihtoehto on hankkia Trimble NIS -ohjelmaan sijaintikarttasovellus, jolloin mittaustiedot voidaan siirtää tky-tiedostomuodossa ohjelmaan. Toisena vaihtoehtona olisi selvittää, kuinka voidaan jollekin ohjelman tuetulle tiedostomuodolle luoda vastaavuustiedosto. Kummankin vaihtoehdon etuna on, että tällöin mittaustiedot saataisiin suoraan ohjelmaan, missä ne ovat tallessa samassa paikassa kuin muukin verkon tieto jolloin tiedon käsittely ja käyttö olisi sujuvampaa. Tällöin mittaustiedolle kannattaisi myös luoda oma tasonsa verkkotietojärjestelmään.

Ehdottaisin myös, että putkien sijainnit piirrettäisiin omaan tasoonsa verkkotietojärjestelmään. Tällöin ne olisivat helposti kaikkien niitä tarvitsevien käytettävissä. Tasosta tulisi ilmetä selkeästi, mitkä putkista ovat varattuja ja mitkä putket ovat vapaana. Parhaiten se onnistuisi käyttämällä eri tason värejä vapaalle ja varatulle putkelle sekä varattujen putkien yhteyteen olisi hyvä merkitä putkessa olevan kaapelintunnus. Viitteeksi olisi hyvä myös saada poikkileikkauskuva kaivannosta.

Näkisin, että yhtiöön on tarpeellista ostaa vähintään yksi laitteisto verkonkartoitusta varten. Se voisi vähintäänkin palvella verkon näyttäntehtävissä, korvata alihankkijan tuntityöt sekä omat laitteet olisi sujuvampi ottaa mukaan saaristoprojekteihin. Omien laitteiden ja henkilöstön käyttö olisi kustannustehokkaampi vaihtoehto yhtiölle. Taulukoon 5 on koottu yhteenvetona niin alihankinnan kuin omien laitteiden haitoista ja hyödyistä.

Taulukko 4. Itse ja alihankintana tehdyn kartoituksen välinen vertailu.

Omat laitteet			Alihankinta		
+ kustannus			+ ammattitaito		
+ suunnittelun apuvälineenä			+ ei henkilöstö resursseja		
+ käyttö- ja kunnossapito tehtävät			+ tehokkuus		
+ näyttöpalvelu			+ ei kiinteitä kuluja		
+ saariston kartoitus					
+ vianpaikannus					
+ reagointikyky äkillisiin tarpeisiin					
- koulutus/taidon ylläpito			- kustannus		
- ohjelmistot/päivitys			- tietoturva		
- tukiasemaverkon lisenssit			- joka piste ja metri maksaa		
- laitehuollot			- tilattava		
- mobiiliyhteydet					

Yhtiölle soveltuva laitekokoonpano riippuu hieman siitä, mikä tulee olemaan sen käyttäjäkunta. Windows tabletti- ja antenniyhdistelmä voisi soveltua mittaajalle, joka tekisi mittausten ohella esimerkiksi suunnittelutyötäkin. Windows-tabletin etuna on, että siinä saadaan toimimaan kaikki käytössä olevat toimistosovellukset, kuten esimerkiksi verkotietojärjestelmä. Tällöin suunnittelijalla olisi maastossa käytettävissään kaikki sama data kuin toimistollakin. Maastosuunnittelun yhteydessä muun muassa sen avulla olisi mahdollista kerätä jo maastossa maanomistajien suostumukset suunnitteilla oleviin kohteisiin.

Asentajien käyttöön puolestaan soveltuvin ja helppokäyttöisin ratkaisu olisi antenni- ja tallenninyhdistelmä eli joko esimerkiksi Trimbleltä R2- ja TSC3-yhdistelmä tai sitten Leicalta GG03- ja Viva CS15 -yhdistelmä. Asentajaryhmillä on kuitenkin jo käytettävissään IOS-tabletit, joilla voidaan tarkastella nykyistä verkkoa sekä hoitaa tiedonsiirto toimiston ja maaston välillä. Vastaanotin- ja tallenninyhdistelmien etuna on selkeästi huokeampi hinta verrattuna tabletti- ja antenniyhdistelmään. Vastaanotin- ja tallenninyhdistelmää on lisäksi yksinkertaisempi käyttää maasto-olosuhteissa, eikä se häviä tarkkuudessakaan tabletti- ja antenniyhdistelmälle.

Jatkotoimina ja mahdollisesti seuraavana projektina olisi hyvä tehdä sähköverkon kartoitusta varten yleiset ohjeet, joka tukisi niin alihankintana ostettua että itse toteutettua kartoitusta. Vuoden aikana olisi hyvä seurata, kuinka Viestintäviraston keskitetty tietokanta hanke edistyy ja katsoa millä tavalla tullaan vaatimaan tietojen tuomista siihen.

Sen ja yhtiön omien tarpeiden pohjalta olisi hyvä laatia nämä ohjeet. Toisena toimenpiteenä näkisin käyttöohjeiden teon mahdollisille uusille satelliittimittauslaitteille. Näiden pohjalta voisi myös laatia lyhyen pikaohjeen, joka palvelisi niitä, jotka käyttäisivät laitteita harvemmin.

Lopuksi haluaisin vielä kiittää Porvoon Sähköverkko Oy:n toimitusjohtajaa Magnus Nylanderia ja ohjaajaani suunnittelupäällikkö Kari Janhusta mahdollisuudesta toteuttaa ideani pohjalta tämä kehitysprojekti.

Lähteet

CADS tuotesivut.2016. Verkkodokumentti. Kyndata Oy. <<http://www.cads.fi/fi>> Luettu 7.3.2016

ETRS-GaussKrüger tasokoordinaatisto 1° kaistoin. 2010. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos <http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/ETRS_GK%20tasokrd-%20asteen%20kaistoin.pdf> Luettu 24.2.2016.

GNSS-mittauksen uusi aikakausi. 2016. Esite. Geotrim Oy <<http://www.geotrim.fi/component/banners-/click/3>>. Luettu 29.2.2016.

GNSS Planning Online. 2016. Verkkodokumentti. Trimble Oy. <<http://www.trimble.com/GNSSPlanningOnline>>. Luettu 2.3.2016.

Häkli, Pasi; Puupponen, Jyrki; Koivula, Hannu & Poutanen, Markku. 2009. Suomen geodeettiset koordinaatistot ja niiden väliset muunnokset. Geodeettinen Laitos.

Hämäläinen, Mikael. 2016. Käyttöpäällikkö, Porvoon Sähköverkko Oy, Porvoo. Haastattelu. 20.1.2016.

Koivula, Hannu. 2014 Geodeettinen laitos avaa ilmaisen paikannuspalvelun. Tiedote. Geodeettinen Laitos <http://euref-fin.fgi.fi/fgi/sites/default/files/pp/Lehdistotiedote_paikannuspalvelu.pdf>. Päivätty 28.1.2014. Luettu 30.12.2015.

Käsnänen, Joonas & Laaksonen, Teemu. 2016. Staattinen satelliittimittausvertailu Trimnetin ja SmartNetin verkoissa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Laine, Herkko & Mäenpää, Sakari. 2016. Sähköverkkojen maastomittausseminaari. Geotrim Oy. 8.3.2016.

Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä. 2016. 276/22.4.2016

Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.

Lehtinen, Kai. 2014. Tekla Infra & Energy on siirtynyt hyödyntämään Trimblen brändiä. Verkkodokumentti. Tekla Oy. <<http://www.tekla.com/fi/tietoameist%C3%A4/uutiset/tekla-infra-energy-siirtynyt-hy%C3%B6dynt%C3%A4m%C3%A4n-trimblen-br%C3%A4ndi%C3%A4>>. Päivitetty 5.5.2014. Luettu 29.2.2016.

Lehtonen, Jiri. 2014. Tekla NIS –sijaintikarttasovellus maakaapeliverkon dokumentoinnissa. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Lillandt, Michael. 2016. Verkkosuunnittelija, Porvoon Sähköverkko Oy, Porvoo. Haastattelu. 21.1.2016.

Lindqvist, Rasmus. 2016. Verkkosuunnittelija, Porvoon Sähköverkko Oy, Porvoo. Haastattelu. 21.1.2016.

Lönn, Christian. 2016. Mittausryhmän johtaja, Kartoittaja. Porvoon kaupunki. Haastattelu 15.2.2016.

Määttänen, Mattijaakko. 2014. 3D-koneohjauksen käyttö pienissä ja keskisuurissa maanrakennushankkeissa. Insinöörityo. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Pelimanni, Juho. 2014. 3D-koneohjaus apuvälineenä infrahankkeessa. Insinöörityo. Oulun ammattikorkeakoulu.

Piironen, Niko. 2015. GNSS-laitetesti Suomen metsäkeskukselle. Insinöörityo. Karelia Ammattikorkeakoulu.

Poutanen, Markku. 2014. Satelliittipaikannus. Geodeettinen Laitos.

RK 1:14 Maakaapeliverkon rakentamisen vaatimukset 0,4-45 kv. 2014. Verkostosuositus. Energiateollisuus ry. Helsinki: Adato Energia Oy.

SFS 6000-8-801. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Eräitä asennuksia koskevat täydentävät vaatimukset. Jakeluverkot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6000-8-814. Pienjännitesähköasennukset. 2012. Eräitä asennuksia koskevat täydentävät vaatimukset. Kaapelin asentaminen maahan ja veteen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6001-7. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. 2015. Laitteistot. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS 6001. Suurjännitesähköasennukset ja ilmajohdot. 2015. Liite M. Maadoitusjärjestelmän vastaanottotarkastus ja dokumentointi. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto

SmartNet Finland esittely sivusto. 2016. Verkkodokumentti. Leica Geosystems Oy. <<http://fi.smartnet-eu.com/index.htm>>. Luettu 2.3.2016.

Sähkömarkkinalaki. 2013. 588/9.8.2013.

Sähköverkkotoiminnan tunnusluvut vuodelta 2014. 2015. Verkkodokumentti. Energiavirasto. <<https://www.energiavirasto.fi/web/guest/tunnusluvut2014>>. Luettu 1.2.2016.

Tietoyhteiskuntakaari. 2014. 917/7.11.2014.

Toivonen, Tuomas & Ylikoski, Juho. 2013. Verkko-RTK-mittaus. Insinööritoimisto Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Trimble NIS ohje 15.2. 2015. Tekla Corporation – part of Trimble Navigation Ltd.

Trimnet esittely sivusto. 2016 Verkkodokumentti. Geotrim Oy. <<http://geotrim.fi/palvelut/trim-net-vrs>>. Luettu 29.2.2016.

Trimnet GPS/GNSS web-palvelu.. 2016 Verkkodokumentti. Geotrim Oy. <<http://www.trim-net.fi/>>. Luettu 29.2.2016.

Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. 2009. 205/26.3.2009.

YJ 16:14 Kaapeleiden sijaintitietojen tarkkuus, tallennusmuoto, järjestelmävaatimukset ja näyttöpalvelu. 2014. Verkostosuositus. Energiateollisuus ry. Helsinki: Adato Energia Oy.

Trimble NIS -ohjelman tukemat tiedostomuodot

Taulukko 1. Trimble NIS -ohjelman referenssikarttojen mahdolliset tiedostomuodot.

[Trimble NIS -ohje 15.2. 2015]

Tiedostomuoto	Selitys
BMP GIF JPEG PNG	Rasterimuotoja ilman koordinaattitietoja. Voidaan lisätä vain rasterikarttoina.
ECW TIFF	Rasterimuotoja, jotka voivat sisältää koordinaattitietoja. Voidaan lisätä vain rasterikarttoina.
SYM	Vektorimuoto, joka sisältää koordinaattitietoja. Voidaan lisätä vain vektorikarttoina.
DGN DWG DXF MIF	Koordinaatteja sisältäviä CAD-vektorimuotoja. Voidaan lisätä vain vektorikarttoina.
SHAPE	Koordinaatteja sisältävä CAD-vektorimuoto. Voidaan lisätä vain vektorikarttoina.
XML	Vektorimuodossa olevat tiedot, jotka sisältävät koordinaattitietoja

Taulukko 2. Trimble NIS -ohjelman luettavien ja kirjoitettavien tiedostojen tiedostomuodot. [Trimble NIS -ohje 15.2. 2015]

Nimi	Kuvaus	Ominaisuustiedot voidaan siirtää	Luku/kirjoitus
Osoite	Osoitteita sisältävä tekstitiedosto.	Ei	Luku
Dgn	Intergraphin tiedostomuoto.	Ei	Molemmat
Dgn 8	Intergraphin tiedostomuoto, jolla on erilainen sisäinen tietorakenne kuin perus-Dgn:llä.	Ei	Molemmat
Dxf	AutoCadin ASCII-tiedostomuoto.	Ei	Molemmat
Dwg	Binääritiedostomuoto, jota käytetään 2D- ja 3D-suunnittelutietojen ja metatietojen tallentamiseen.	Ei	Molemmat
Tielaitos	Tielaitoksen käyttämä tiedostomuoto.	Kyllä	Molemmat
KML	Maantieteellisten huomautusten ja visualisointien XML-notaatio. Lyhenne sanoista Keyhole Markup Language.	Ei	Kirjoitus
PXY	Kartoituksessa ja GIS-järjestelmässä käytettävä CAD-järjestelmien tiedostomuoto.	Ei	Molemmat
Shape	GIS-ohjelmistojen geospaatialisten vektoritietojen tiedostomuoto.	Kyllä	Molemmat
Tab	Geospaatialisten vektoritietojen tiedostomuoto.	Ei	Kirjoitus

Kartoituskysely verkkoyhtiöille

Ei julkinen.

Liitteen tiedot perustuvat laitevalmistajien esitteisiin.









Taulukko 1. GNSS-vastaanottimia.

	Trimble			Topcon		
	R10 GNSS	R8s GNSS	R2 GNSS	R1 GNSS	GR-5	
						
Paino	1,12kg	1,52kg	1,08kg	187g		1,88kg
Kanavia	440	440	220	44		226
GPS	x	x	x	x		x
Glonaass	x	x	x	x		x
Galileo	x	x	x	-		x
Beidou	x	x	x	-		x
Reaali DGNSS taso tarkkuus	0,25m+1ppm RMS	0,25m+1ppm RMS	0,25m+1ppm RMS	0,75m+1ppm RMS		
Reaali verkko-RTK taso tarkkuus	8mm+1ppm RMS	8mm+1ppm RMS	10mm+1ppm RMS	-		10mm+1ppm RMS
Alustusnopeus	2-8s	<8s	-	45s		30s
Mobilidata	3. 5G GSM/UMTS	3. 75G GSM/UMTS		-		3. 75G GSM/UMTS
Bluetooth	x	x	x	x		x
WLAN	x	-	x	-		-
H-Star	-	-	x	-		-
Akkukesto	noin 5h	noin 4h	noin 5h	noin 10h		noin 12h
Maaosto-ohjelma	Access	Access	Access/Terrasync	Terrasync		Magnet Field
Terraflex	x	x	x	x		
Muuta			Toimii Android/iOS alustalla	Toimii Android/iOS alustalla		





Taulukko 2. GNSS-vastaanottimia.

	Viva GS15	Viva GS14	Viva GS12	GG03	HiPer SR	HiPer V
						
Paino	1,34kg 120	0,93kg 120	1,05kg 120	0,8kg 120	0,925kg 226	1,28kg 226
Kanavia	x	x	x	x	x	x
GPS	x	x	x	x	x	x
Glonass	x	x	x	-	-	-
Galileo	x	x	x	-	-	-
Beidou	x	x	-	x	-	-
Reaali DGNSS tasotarkkuus	25cm	25cm	25cm	<40cm	40cm	<50cm
Reaali verkko-RTK tasotarkkuus	8mm+0.5ppm RMS 2-8s	8mm+0.5ppm RMS 4s	8mm+1ppm RMS 4s	10mm+1ppm RMS 6s	10mm+1ppm RMS 20s	10mm+1ppm RMS 35s
Alustuspnopeus	3.5 GSM/Umts 2.0+EDR	3.75 GSM/Umts 2.0+EDR	- x	- 2.0	3.75 GSM/Umts 2.1+EDR	3.75 GSM/Umts 2.1+EDR
Mobilidata						
Bluetooth						
WLAN						
Akkukesto	noin 8h	noin 6h	noin 7h	noin 8h	noin 15h	noin 8h
Maaosto-Ohielma	SmartWorx Viva	SmartWorx Viva	SmartWorx Viva	Zeno Maaosto	Magnet Field	Magnet Field

Taulukko 3. GNSS-tallentimia.

		Tablet	Trimble TSC3	Slate	Topcon FC-500
					
Käyttöjärjestelmä		Windows 7 Professional	Windows Embedded Handheld 6.5	Windows Embedded Handheld 6.5	Windows Embedded Handheld 6.5
	Paino	1,2kg	1,04kg	0,4kg	
	Kamera	5 MP	5 MP	8 MP	5 MP
	Näyttö	7"	4.2"	4.3"	4.3"
	Kosketusnäyttö	Kapasitiivinen	Resistiivinen	Kapasitiivinen	
	Integroitu GPS	x	x	x	x
	Mobiilidata	3.75G GSM/UMTS	3.5G GSM/UMTS	3.75G GSM/UMTS	3.5G GSM/UMTS
	Bluetooth	4.0	2.0+EDR	2.1+EDR	x
	WLAN	802.11 b/g/n	802.11 b/g	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
	Akkukesto				
	Maasto-ohjelma	Access	Access	Access	Magnet Field
	Terraflex	x	x	x	
		Leica			
		CS25 plus	Viva CS15	Viva CS10	Zeno 5
					
Käyttöjärjestelmä		Windows 7 Ultimate	Windows Embedded CE 6.0	Windows Embedded CE 6.0	Windows Embedded 6.5.3
	Paino	1,3kg	0,71kg	0,56kg	375g
	Kamera	5 MP	2 MP	2 MP	3.2 MP
	Näyttö	7"	3.5"	3.5"	3.7"
	Kosketusnäyttö	resistiivinen	x	x	x
	Integroitu GPS	x	-	-	x
	Mobiilidata	3.5G GSM/UMTS	Saatavilla 3.5G malli	Saatavilla 3.5G malli	3.75G GSM/UMTS
	Bluetooth	2.0+EDR	2.0	2.0	2.0+EDR
	WLAN	802.11 b/g/n	3.5G mallissa	3.5G mallissa	802.11 a/b/g/n
	Akkukesto	noin 8h	noin 10h	noin 10h	noin 10h
	Maasto-ohjelma	Zeno Maasto	SmartWorx Viva	SmartWorx Viva	Zeno Maasto

Taulukko 4. GNSS-kämmenlaitteet.

			Trimble		Leica	
			GeoExplorer 7	GeoXR	Zeno 20	CS25 GNSS
						
Käyttöjärjestelmä			Windows Embedded Handheld 6.5	Windows Embedded Handheld 6.5	Windows Handheld 6.5/Android 4.2.2	Windows 7 Ultimate
Näyttö			4.2"	4.2"	4.7"	7"
Kosketusnäyttö			Resistiivinen		Kapasitiivinen	Resistiivinen
Paino			1,08kg	0,93kg	0,88kg	1.4kg
Kamera			5 MP	5 MP	8 MP	2 MP
Käyttöaika			220	220	120	120
GPS			x	x	x	x
Glonass			x	x	x	x
Galileo			-	-	x	-
Beidou			-	-	x	-
Reaali DGNSS tasotarkkuus			0,75m+1ppm RMS	0,25m+1ppm RMS	<0,4m+1ppm RMS	<0,5m+1ppm RMS
Reaali verkko-RTK tasotarkkuus			25mm+1ppm RMS ¹	25mm+1ppm RMS ²	<50mm+1ppm RMS	<0,1m+1ppm RMS
Alustusnopeus			<45s	<8s	40s	10s
Mobiilidata			3.75G GSM/UMTS	3.5 GSM/UMTS	3.75 GSM/UMTS	3.5 GSM/UMTS
Bluetooth			2.0+EDR	2.1+EDR	2.0/3.0	2.0+EDR
WLAN			x	x	x	x
H-Star			x	-		
Akkukesto			noin 7h	noin 6h	<7h	noin 6h
Maasto-ohjelma			Access/Terrasync	Access	Zeno Maasto	Zeno Maasto
Terraflex			x	x		
Muuta			Laseretäisyysmittari			
1 omalla ulkoisella antennilla 10mm+1ppm RMS						
2 omalla ulkoisella antennilla 10mm+0,5ppm RMS						