

Työnjohdon uusi rooli työmaamittausten suorittajana



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

syksy 2021

Alvar Peltola

TIIVISTELMÄ

Infra-ala kehittyy jatkuvasti ja teknologisoitumisen myötä satelliittipaikannusjärjestelmät ovat muuttuneet helpokäyttöisemmiksi ja edullisemmiksi. Työnjohtaja ja mittausorganisaatio tekevät yhteistyötä työmaamittauksissa GNSS-vastaanottimien käytön myötä, jolloin työnjohtajan rooli on suurempi työmaan laadunvarmistuksessa ja mittausorganisaation kustannukset projekteille laskevat. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa opas Kreate Oy:lle työnjohdon uudesta roolista työmaamittauksissa. Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa laaja käsitys GNSS-laitteiden toiminnasta. Oppaan tavoitteena oli kasvattaa työnjohtajien tietoa laitteiden toiminnasta sekä ohjeistaa GNSS-vastaanottimien käyttöönottoa ja käyttöä.

Työn avulla työnjohtaja oppii käyttämään GNSS-vastaanottimia sekä saa käsityksen uudesta roolista työmaamittauksien suorittamisessa. Opinnäytetyö sisältää tietoa satelliittipaikannusjärjestelmien kasvusta ja historiasta, teknisistä tiedoista sekä GNSS-vastaanottimien toiminnasta. Oppaan sisältöön valikoivat oleelliset asiat GNSS-vastaanottimien käyttöönotosta, käytöstä ja mittaustehtävistä sisältäen mittauspisteiden koodauksen. Opas tehtiin Kreate Oy:n omaan esityspohjaan.

Avainsanat GNSS-vastaanottimet, Työnjohto, Maanrakennus, Työmaamittaus ja Väylärakentaminen

Sivut 47 sivua ja liitteitä 4 sivua

Author Alvar Peltola

Year 2021

Subject Site Manager's New Role in Site Surveyor

Supervisors Jukka Tiala (HAMK), Jaakko Kivi (Kreate Oy)

ABSTRACT

Building in infrastructure is developing constantly. Satellite positioning systems have developed and are now easier to use and more affordable. A site manager and a surveyor organization are doing co-operate in conducting the site survey. With GNSS receivers, the site manager's role is growing in quality assurance. Costs of the site surveyor in projects will reduce when the site manager can do the site survey

The purpose of this Bachelor's thesis was to produce a guide to a company called Kreate Oy. The guide is about the site manager's new role in the site surveys. The aim was to give a broad understanding about global navigation satellite system devices. The aim of the guide was to add site managers' knowledge about the introduction and use of GNSS receivers.

Writing a practice-based thesis supported the commissioner's wish for developing their work. With the guide a site manager learns to use GNSS receiver and they get an understanding in the essential use and in utilizing targets. The theoretical basis of the thesis consisted of information about the growth and history of different navigation satellite systems and the functions of GNSS receivers. The guide contains the most essential information about the GNSS receiver's introduction and use as well as the metainformation included in site surveys. The guide is done in Kreate Oy's presentation template.

Keywords GNSS-receiver, site manager, infrastructure construction, site surveying and road building

Pages 47 pages and appendices 4 pages

Sisälllys

Asiasanastoa	
1	Johdanto 1
2	Global Positioning Satellite System (GNSS) 3
2.1	Global Positioning System (GPS) satelliittipaikannusjärjestelmä 8
2.2	Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema (GLONASS) satelliittipaikannusjärjestelmä 9
2.3	GALILEO satelliittipaikannusjärjestelmä 10
2.4	BeiDou satelliittipaikannusjärjestelmä 12
2.5	The European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) 13
2.6	GNSS-laitteiden käytön merkittävä kasvu 14
3	GNSS-laitteiden toiminta 14
3.1	Toteumapisteiden koodaus ja mittaustarkkuusvaatimukset 20
3.2	GNSS-vastaanottimien teknisiä tietoja 24
4	Työmaiden tiedonhallinta 27
4.1	Mittausdatan hallinta, tallentaminen ja käsittely työmaalla 28
4.2	Tarkemittausten dokumentointi/raportointi 29
5	Työnjohdon uudet mittaustehtävät 31
5.1	Työnjohdolle opastettavat asiat 33
5.1.1	InfraKit Field 33
5.1.2	Novatron X-Site Pad 34
5.1.3	Trimble SPS785 36
6	Yhteenveto ja pohdinta 39
6.1	Opinnäytetyön kulku 40
6.2	Oppaan tekeminen 40
6.3	Pohdinta 41
	Lähteet 44

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Toimivat maapalloa kiertävät GNSS satelliitit (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 10).....	3
---	---

Kuva 2. Satelliittijärjestelmien 5-vuotissuunnitelma (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 12).....	6
Kuva 3. Satelliittipohjaisten parannusjärjestelmien kattavuusalueet (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020)	7
Kuva 4. Satelliitisiinaalin heijastus, multipath effect (Susnik, 2013, s. 24)	8
Kuva 5. GPS Control Segment (National Coordination Office, 2021)	9
Kuva 6. GLONASS ground segment (IAC, 2020, s. 14)	10
Kuva 7. GALILEO ground segment (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 13)	11
Kuva 8. EGNOS ground segment (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019).....	13
Kuva 9. GNSS-kustannukset maanosittain (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, s. 6).....	14
Kuva 10. GNSS-laitteiden toimitus alan mukaan (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, s. 90).....	16
Kuva 11. ennuste GNSS-laitteiden toimituksesta alueen mukaan (GSA GNSS Market Report, 2019, s. 91)	17
Kuva 12. GNSS-vastaanottimen toiminnallinen kaavio (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 16).....	18
Kuva 13. Kadun rakennepinnot ja taiteviivat (1/3) (BuildingSMART Finland, 2021, s. 17)21	
Kuva 14. Kadun rakennepinnot ja taiteviivat (2/3) (BuildingSMART Finland, 2021, s. 18)22	
Kuva 15. Kadun rakennepinnot ja taiteviivat (3/3) (BuildingSMART Finland, 2021, s. 19)22	
Kuva 16. Toteumapisteet samasta kohdasta.	24
Kuva 17. Novatron X-site Pad.....	25
Kuva 18. Mallipohjaisen rakentamisen päätehtävät. (BuildingSMART Finland, 2019, s. 110)	27
Kuva 19. Infrakit Field tiedostot näkymä.....	29
Kuva 20. Infrakit Field mittaus toiminto.....	31
Kuva 21. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä. (Helsingin kaupunki, 2021)	33
Kuva 22. InfraKitistä otettu yleiskuva, poikkileikkaus massanvaihdon ja paalulaatan malleista.	34
Kuva 23. InfraKit poikkileikkaus massanvaihdosta ja paalulaatasta.	34

Kuva 24. Novatron X-Site Pad, kantokotelo.	35
Kuva 25. Trimble SPace sovellus.....	36
Kuva 26. InfraKit Field alkunäkymä.	38
Kuva 27. InfrakitField, mittaus toiminto.....	39
Taulukko 1. GNSS-satelliittipaikannusjärjestelmät (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 96).....	5
Taulukko 2. Satelliittipaikannuksen sijaintiviestien datan kuvaus (Gakstatter, 2015)....	19
Taulukko 3. Novatron X-Site Pad ja Trimble SPS785 teknisien tietojen vertailu.	26
Kaava 1. Satelliittipaikannuksen laskennallinen kaava (HEXAGON NovAtel®, n.d.).....	15

Liitteet

Liite 1	InfraRYL sijainti- ja korkeuspoikkeamavaatimukset
---------	---

Aineistosanastoa

Opinnäytetyössä käytän lyhenteitä, jotka ovat alalla käytössä. Selitän tässä luvussa lyhenteiden tarkoituksen.

BeiDou	(北斗卫星导航系统 / BeiDou Navigation Satellite System): Kiinan GNSS-järjestelmä, joka toimii GPS:n ja GLONASSin tavoin sekä sotilas- että siviilikäyttöön.
Data	Informaatio muodossa, joka soveltuu ihmisten ja tietokonesovelluksien väliseen kommunikointiin ja käsittelyyn.
EGNOS	Euroopan unionin SBAS järjestelmä, joka parantaa GPS ja Galileon signaaleja.
GALILEO	Euroopan unionin (EU) rakentama ja ainoa siviilihallinnassa oleva GNSS-järjestelmä.
GLONASS	(Глобальная навигационная спутниковая система / Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema): Venäjän puolustusministeriön ylläpitämä GNSS-järjestelmä.
GNSS	Global Navigation Satellite System: koko maailmaa palveleva satelliittipaikannusjärjestelmä.
GPS	Global Positioning System: Yhdysvaltojen puolustusministeriön ylläpitämä GNSS-järjestelmä
InfraRYL	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
Koneohjausmalli	Työkoneiden ohjausjärjestelmissä 3D näkymälle mallinnettu suunnitelma-aineisto.
MEO	(Medium Earth Orbit) Maapallosta 2000 km – 35 000 km etäisyydellä kiertävät satelliittit ovat MEO:ssa.

Metatiote	Tietoa kuvaileva tieto.
Multipath	Tarkoittaa satelliitin, kun satelliitin lähettämä signaali ei mene suoraan vastaanottimeen vaan poikkeaa reitiltään esimerkiksi heijastavan pinnan kautta.
PPP	(Precise Point Positioning) Senttimetrin tarkka paikannustapa, joka toimii pelkällä vastaanottimella.
RTK	(Real-Time Kinematic) Maanmittauksessa paljon käytetty signaalinkorjaus, antaa senttimetrin tarkkan paikannuksen.
SBAS	(Satellite Based Augmentation System) Satelliittipohjainen parannusjärjestelmä.
Tarke	Tarkemmittauksilla tarkoitetaan mittalaitteella tehtyä mittausta.

1 Johdanto

Maarakennustyömaiden digitalisoituminen tuo työnjohdolle uusia tehtäviä koneohjauksen rinnalle. GNSS-vastaanottimen käytön myötä työnjohtaja pystyy tekemään ison osan paikalleen-, tarke- ja kartoitusmittauksista, vaikka mittamies jalostaisi toteumapisteet luovutusaineistoon. GNSS-vastaanottimilla suoritettut paikalleen- ja tarkemittaukset tulevat jatkossa olemaan osa työnjohdon jokapäiväistä työskentelyä. Opinnäytetyön aihe, työnjohdon uusi rooli työmaamittausten suorittajana, valikoitui tilaajan kanssa ajankohtaisimmaksi ja kiinnostus heräsi työnjohtajana GNSS-vastaanottimien mahdollisista hyödyistä. Vastaanotinta käyttäessä työnjohtaja on nykyistä paremmin perillä työmaan korko- ja sijaintitiedoissa ja laadunvarmistuksessa, ja laitteen käyttö auttaa työsuunnittelussa. Opinnäytetyö käsittelee satelliittipaikannusjärjestelmien toimintaa ja työnjohtajan uutta roolia satelliittipaikannusvastaanottimien käyttäjänä. Opinnäytetyö ja opas on suunnattu väylärakentamisen työnjohtajalle.

Opinnäytetyön toteutus tapahtuu toiminnallisena opinnäytetyönä ja sen tilaajana toimii Kreate Oy. Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa opas Kreate Oy:n käyttöön koskien satelliittipaikannusvastaanottimien käyttöä ja työnjohdon uutta roolia työmaamittausten suorittamisessa. Opas tehdään tilaajan omaan esityspohjaan yrityksen muiden oppaiden mukaisesti. Opinnäytetyön tavoitteena on tunnistaa sekä kuvata keskeisimmät mittaustehtävät, jotka kuuluvat ja tulevat siirtymään työnjohdolle tulevaisuudessa. Aikaisemmin mittaustehtävät ovat kuuluneet täysin työmaiden mittausorganisaatioiden vastuulle, joten työnjohtajien kouluttaminen GNSS-vastaanottimien käyttöön tuo yritykselle säästöjä mittauskustannuksissa.

Opinnäytetyön teoriaosuuden tavoitteena on tunnistaa ja kuvata GNSS-vastaanottimen käytön myötä työnjohdolle siirtyvät mittaustehtävät. Tavoitteena on antaa laaja ymmärrys GNSS-järjestelmästä, mikä sisältää historiakatsauksen satelliittipaikannuksesta sekä selvityksen GNSS-vastaanottimien toiminnasta. Teoreettisessa viitekehyyksessä tarkastellaan sää- ja ympäristöolosuhteiden vaikutusta GNSS-laitteiden käyttöön ja mittaustarkkuuteen sekä miten vastaanottimella voidaan tukea mittausorganisaation toimintaa. Opinnäytetyössä käsitellään työmaiden tiedonhallintaa, mittausdatan koodaamista ja mitä ohjelmia GNSS-vastaanottimien käyttäjillä tulee olla käytössä. Opinnäytetyön keskeisin tavoite on kuvata

työnjohdon uusia tehtäviä työmaamittausten suorittajana ja tiivistää ohjeistettava tieto oppaaseen järkevällä tehokkaalla opastusjärjestyksellä, jotta GNSS-vastaanottimen käyttöönottoa saadaan tehostettua työnjohtajilla.

Oppaan tavoitteena on tuoda ilmi GNSS-vastaanottimen hyötyä työmailla tehostamalla näiden käyttöönottoa sekä käyttöä. Oppaassa esitellään GNSS-vastaanottimen hyödyntämiskohteita. Opas tehdään laitteen käyttäjän näkökulmasta helposti luettavaan muotoon, jossa käydään laitteen käyttöönoton eri vaiheet järkevässä opastusjärjestyksessä sekä kuvataan mittausorganisaatiolta työnjohtajalle siirtyvät mittaustehtävät. Oppaassa esitellään kustannusvertailua sekä GNSS-vastaanottimen myötä tulevia kustannushyötyjä. Lopputuotoksena opas on selkeä ja konkreettinen ohjeistus tukee mittausta tekevän työnjohtajan työtä.

Opinnäytetyön työnjohdon uusi rooli työmaamittausten suorittajana tutkimuskysymykset ovat:

1. Mihin mittaustehtäviin GNSS-laitteita voi käyttää ja mihin ei?
2. Mihin mittausdata tallennetaan ja miten koodataan?
3. Missä järjestyksessä tieto opastetaan työnjohtajalle?

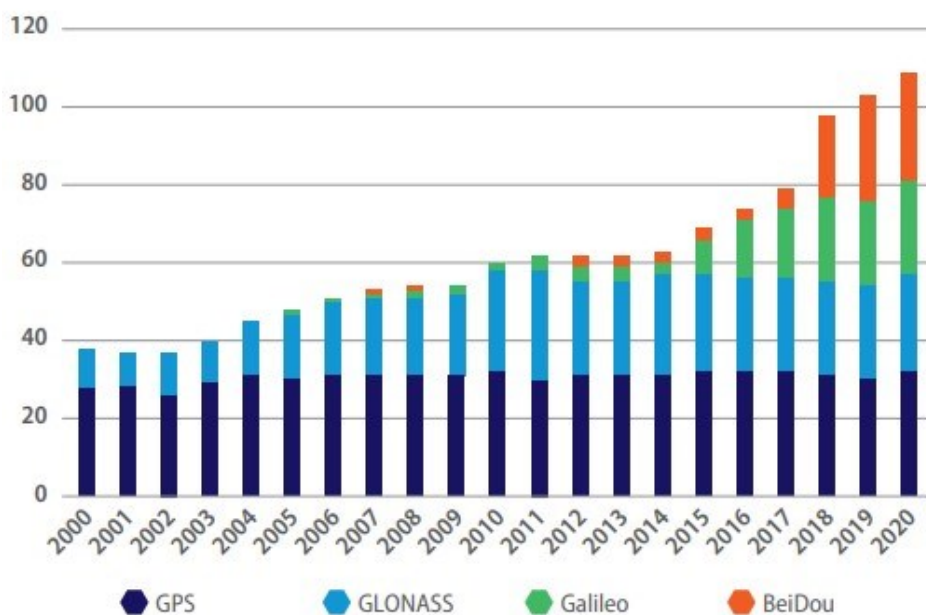
Opinnäytetyön tietoperustana ja lähtökohtana on alan ohjeistukset, vaatimukset, tutkimukset ja kirjallisuus. Tutkimusaineistona on käytetty haastatteluja, alan yritysten edustajien opastuksia laitteiden käytössä. Aihetta työnjohtajan tehtävissä Länsi-Pasilassa maanrakennusurakassa. Hankkeessa levennetään Veturitietä Höyrykadun ja Hakamäentien välillä liikenteen sujuvoittamiseksi sekä rakennetaan Ratapihakortteleiden alueelle uusia tontti- ja kokoojakatuja.

2 Global Positioning Satellite System (GNSS)

Global Positioning Satellite System eli GNSS on maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä, jota on aiemmin pidetty GPS-järjestelmän nimenä. Satelliittipaikannusjärjestelmien rakentumisen myötä termillä GNSS viitataan nykyään kaikkiin satelliittipaikannusjärjestelmiin. (Maanmittauslaitos, n.d.)

Vuonna 2020 maapalloa kiersi yli 100 toimivaa satelliittia neljän eri satelliittipaikannusjärjestelmän toimesta (Kuva 1) (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 10). GNSS-satelliitit, joiden kiertoradat ovat lähes ympyrän muotoisia ovat erittäin vakaita ja ennalta arvattavia. Nämä kuuluvat Medium Earth Orbit eli MEO-kategoriaan. Kiertoradalla ei ole muita vastuksia kuin vähäisiä painovoimasta sekä auringon säteilyn paineesta aiheutuvia vaikutuksia. Kiertoradan muutokset korjataan muuttamalla kiertorataa maan päähallintakeskuksesta käsin. Kiertoradan korjauksen ajaksi satelliitti merkitään ”out of service / poissa käytöstä” käytön estämiseksi. (NovAtel Inc., 2015, s. 16)

Kuva 1. Toimivat maapalloa kiertävät GNSS satelliitit (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 10)



Satelliitteja käyttävät navigaattorit, älypuhelimet ja muut paikannusta vaativat laitteet. Satelliittien signaalin avulla vastaanotin pystyy määrittämään laitteelle sijainnin alle minuutissa metrien tarkkuudella. Sivutuotteena saadaan aikatieta nanosekuntien tarkkuudella. (Maanmittauslaitos, n.d.)

Satelliittipaikannusjärjestelmät koostuvat kolmesta eri osasta. Avaruusosa (Space Segment) koostuu maapallosta noin 20 000 kilometrin etäisyydellä kiertävistä satelliiteista. Jokaisella GNSS-järjestelmällä on oma kiertosäteensä, joka antaa halutun kattavuuden paikallisesti tai maailmanlaajuisesti. Taulukko 1 esittelee maailmanlaajuisien satelliittipaikannusjärjestelmien ominaisuuksia. Kontrollointi/Maantason osa (Control/Ground Segment) sisältää kaikki maanpäälliset tukiasemat. Jokaisella GNSS-järjestelmällä on päähallintakeskus, jossa voidaan säätää satelliittien kiertoradan parametreja ja satelliittien korkean täsmällisyyden kelloja tarkkuuden ylläpitämiseksi. (NovAtel Inc., 2015, ss. 8-9)

Maantason osaa kehitetään jatkuvasti parempaa suorituskykyä, turvallisuutta ja luotettavuutta kohti. Näin ollen maantason tulee kehittyä avaruusosan uuden sukupolven satelliittien rinnalla. Kontrollointiosan elementit koostuvat valvonta-aseamista, hallintakeskuksista ja maantason antenneista. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 12) Valvonta-asemat seuraavat aseman yli kiertäviä satelliitteja ja keräävät navigointisignaaleja, mittaavat etäisyyttä/kantoaaltoja, ilmakehän dataa sekä syöttävät päähallintakeskukselle havaintoja. Päähallintakeskus tai hallintakeskukset laskevat satelliittien tarkat sijainnit. Ne tarkkailevat satelliittien kuntoa, toimivuutta, tarkkuutta ja ylläpitävät satelliittien kiertorataa sekä ratkaisevat mahdolliset poikkeamat. Maantason antennit lähettävät komentoja satelliitteihin, keräävät kaukomittauksia ja tukevat satelliittien kiertorataa. (National Coordination Office, 2021) Käyttäjäosa (User Segment) koostuu meistä kaikista satelliittien käyttäjistä. Satelliittipaikannuksen omaava älypuhelin tai korkean tarkkuuden GNSS-vastaanotin käyttää paikantamiseen sijainti- ja aikatieta. (NovAtel Inc., 2015, ss. 8–9)

Taulukko 1. GNSS-satelliittipaikannusjärjestelmät (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 96)

	GALILEO	GPS	GLONASS	BeiDOU III	
Satelliitteja (kpl)	24 (Varalla 6)	24 (Varalla 6)	24 (Varalla 2)	26	
Ratatasoja	3	6	3	3	
Radan säde (km)	23 222	22 200	19 100	21 528	
Kiertoaika (h, min)	14h 4min	11h 58min	11h 15min	12h 37min	
Inkлинаatio (°)	56°	55°	64,8°	55°	
Signaaleja	5	3	4	4	
Taajuudet (MHz)	1575,42 1278,75 1191,795 1176,45 1207,14	1575,42 1227,6 1176,45	1602 1246 1201 1176,45	1575,42 1268,52 1207,14 1176,45	E1/L1 Taajuuskaista E6 Taajuuskaista L2 Taajuuskaista E5/L5 Taajuuskaista

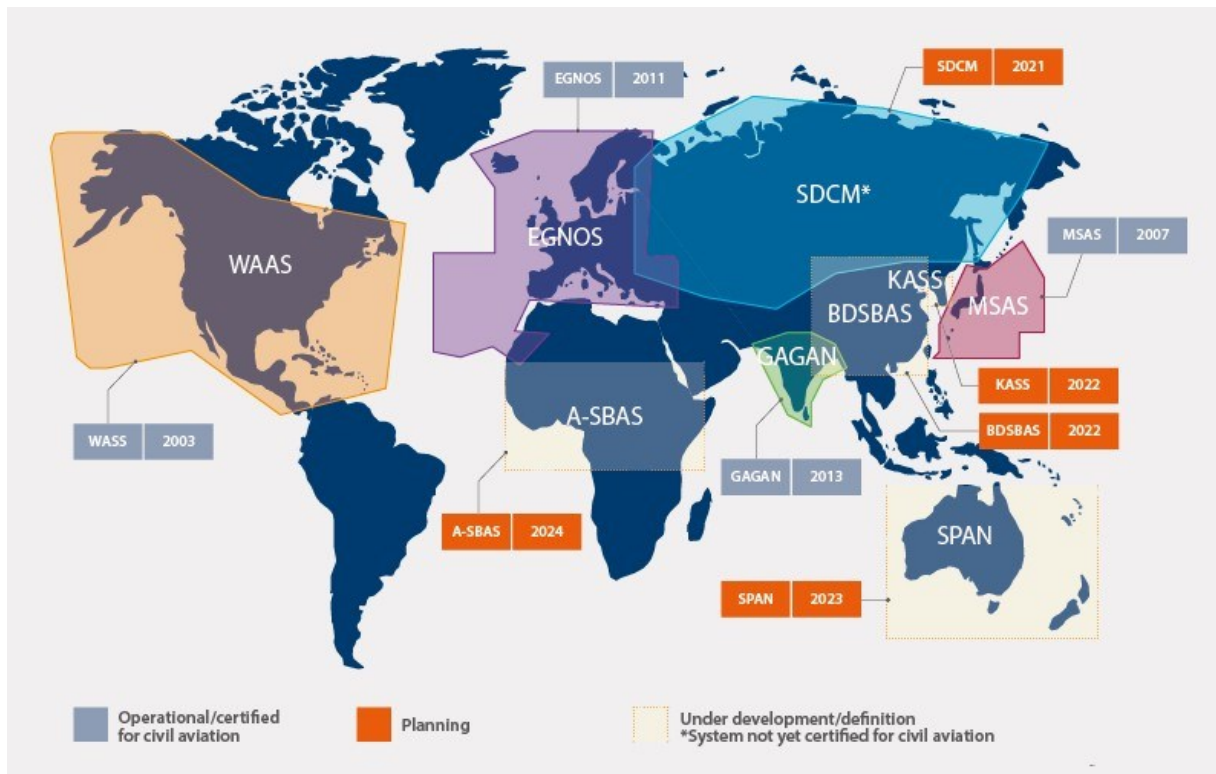
Satelliittipaikannusjärjestelmiä on kuusi, joista neljällä on maailmanlaajuinen kattavuus. Tällä hetkellä maailmanlaajuisella kattavuudella toimivia satelliittipaikannusjärjestelmiä ovat: GPS, GALILEO, GLONASS ja BEIDOU. Paikallisesti toimivia ovat Intian IRNSS- ja Japanin QZSS-satelliittijärjestelmiä, joita tässä opinnäytetyössä käsitellään. Kuva 2 havainnollistaa satelliittijärjestelmien viisivuotissuunnitelman, jossa taajuuskaistojen riveille on väreillä kuvattu sen signaalin status heinäkuun 2020 julkisen tiedon mukaisesti. Oranssi väri tarkoittaa ei signaalia, keltainen väri tarkoittaa alustavaa signaalia ja sininen on täysin kattava signaali. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 12)

Kuva 2. Satelliittijärjestelmien 5-vuotissuunnitelma (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 12)

		SYSTEM	PROVIDER	SIGNAL	2020	2021	2022	2023	2024	2025			
SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS	GLOBAL COVERAGE	GPS	USA	L1									
				L1 C									
				L2									
				L2 C									
				L5									
	GALILEO	EU	E1										
			E5										
			E6										
	GLONASS	Russia	L1 FDMA										
			L1 CDMA										
L2 FDMA													
L2 CDMA													
L3 CDMA													
BEIDOU	China	B1											
		B2											
		B3											
REGIONAL COVERAGE	QZSS	Japan	L1C/A						7 satellites constellation				
			L1C	4 satellites constellation					7 satellites constellation				
			L2C	4 satellites constellation					7 satellites constellation				
L5			4 satellites constellation					7 satellites constellation					
IRNSS	India	L1											
		L5 S-Band											
SATELLITE AUGMENTATION SYSTEMS	WAAS	USA	L1						Under development				
			L5						Under development				
	EGNOS	EU	L1						Under development				
			L5						Under development				
	SDCM	Russia	L1						Under development				
			L5						Under development				
	BDSBAS	China	B1C										
			B2A										
	GAGAN	India	L1						Under development				
			L5						Under development				
MSAS	Japan	L1	MTSAT based					QZSS based					
		L5						QZSS / 6 / 7 based					
QZSS	Japan	L1S											
		L6D/E											
KAZS	South Korea	L1											
		L5											
A-SBAS	Australia	L1											
		L5											
SPAN	Australia	L1											
		L5											

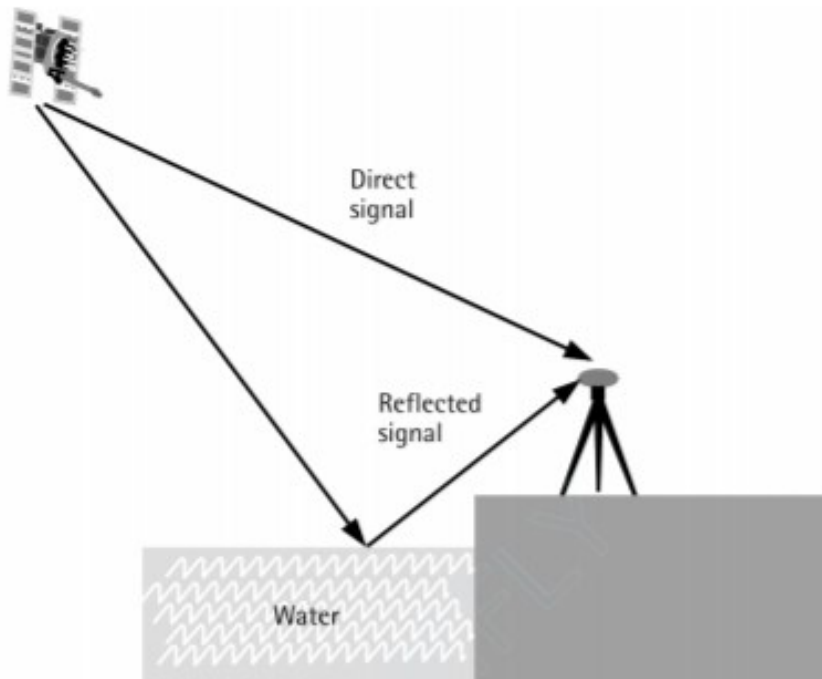
Satellite-based Augmentation Systems eli SBAS on suomeksi satelliittipohjainen parannusjärjestelmä. Satelliittipohjaisia parannusjärjestelmiä löytyy kymmenen (Kuva 2). Euroopan Unionin ja sen lähialueella vuodesta 2011 lähtien on toiminut EGNOS, joka parantaa L1- ja L5-taajuuskaistaa. Satelliittipohjaisten parannusjärjestelmien kattavuusalueet kehittyvät 2020-luvulla monelle eri alueelle (Kuva 3) viisivuotissuunnitelman (Kuva 2) mukaisesti. Satelliittipohjaiset parannusjärjestelmät parantavat GNSS-paikannuksen tarkkuutta ja luotettavuutta. Parannusjärjestelmät korjaavat signaalien mittausvirheitä tarjoamalla tietoa signaalien tarkkuudesta, yhtenäisyydestä, jatkuvuudesta ja saatavuudesta. SBAS on välttämätön menetelmissä, joissa korkea tarkkuus ja yhtenäisyys on äärimmäisen tärkeää. SBAS-järjestelmät ovat yhteensopivia, eli ne eivät häiritse toisiaan. Käyttäjä voi olettaa saavansa yhtenäistä kattavuutta ja suorituskykyä satelliittipohjaisten parannusjärjestelmien alueilla. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020)

Kuva 3. Satelliittipohjaisten parannusjärjestelmien kattavuusalueet (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020)



Satelliittien lähettämän signaalin poikkeaminen (Multipath) tuo merkittävää virhettä mittauksissa. Ilmiö tapahtuu, kun signaali saapuu vastaanottimen antenniin kahden tai useamman reitin kautta. Satelliitin signaali on suorassa yhteydessä vastaanottimen antennin kanssa ja vastaanottaa signaalia suoraan. Signaalin poikkeamatilanteessa signaali heijastuu tai poikkeaa reitiltään, jolloin sen etenemisaika on aina pidempi, mikä voi siten vääristää suorareittisen signaalia (Kuva 4). Signaalien poikkeamisen vähentämiseen on monia eri ratkaisuja, joilla voidaan vähentää satelliitin lähettämän signaalin heijastusta. Helpoin ja yksinkertaisin tapa on viedä vastaanotin niin kauas heijastavista pinnoista kuin mahdollista. Heijastavia pintoja ovat vesistöt tai korkeat rakennukset. (Susnik, 2013, s. 23)

Kuva 4. Satelliitisignaalin heijastus, multipath effect (Susnik, 2013, s. 24)



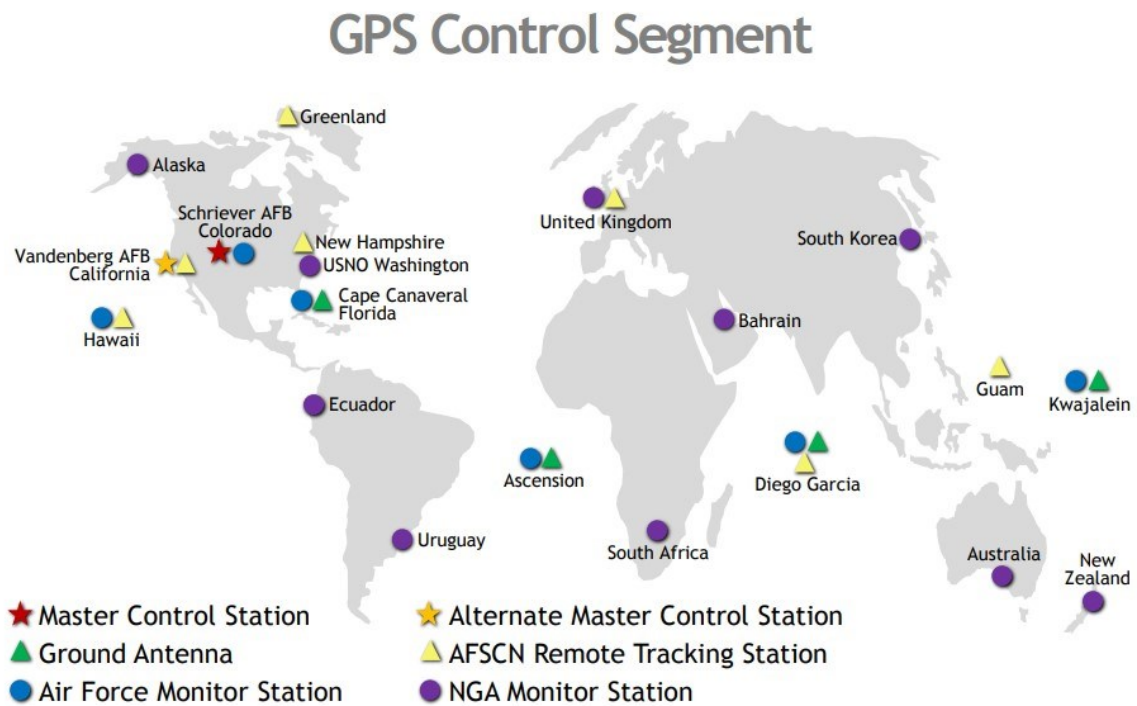
Satelliiteissa on omat atomiset kellot, jotka käyvät oman aikavyöhykkeen (Space Vehicle, "SV") mukaan ja näitä käytetään signaalien lähetyksessä. Atomisia kelloja on neljä, joista kaksi on cesiumia ja kaksi rubidiumia. Satelliittien signaalivirheet voidaan poistaa vertailemalla kahden vastaanottimen saamaa signaalia tai korjaamalla satelliitin lähettämää viestiä. Jälkimmäiseen navigointiviestiin voi jäädä useiden nanosekuntien virhe, joka tarkoittaa paikkatiedossa muutamien metrien etäisyysvirhettä. Vastaanottimissa on kelloja, jotka ovat atomikelloja epätarkempia, jonka vuoksi vastaanottimen aikavirheet ovat suurempia kuin satelliittien atomikellojen virheet. Vastaanottimen virheet saadaan poistetuksi, kun otetaan kahden satelliitin erotus. (Susnik, 2013, ss. 23 - 24)

2.1 Global Positioning System (GPS) satelliittipaikannusjärjestelmä

Global Positioning System eli GPS on Yhdysvaltain puolustusministeriön (DoD, Department of Defence) ylläpitämä satelliittipaikannusjärjestelmä. GPS oli tehty sotilaskäyttöön 1960-luvulla Yhdysvaltain laivaston sekä ilmavoimien toimesta. GPS-järjestelmän lopullinen valmistuminen julkaistiin useiden viivästyksien takia vuonna 1995. Vuonna 2000 GPS-järjestelmästä poistettiin siviilikäytön paikannusta heikentävä häirintä (SA, Selective

Availability), jonka seurauksena alkoi GPS:n käytön aikakausi, silloisella muutaman metrin tarkkuudella. (Poutanen, 2016, ss. 11–19) Kuva 5 esittelee GPS:n maaton hallinta-asetat, päähallinta-asetta sijaitsee Yhdysvalloissa Coloradon osavaltiossa.

Kuva 5. GPS Control Segment (National Coordination Office, 2021)



2.2 Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema (GLONASS) satelliittipaikannusjärjestelmä

Globalnaja navigatsionnaja sputnikovaja sistema eli GLONASS on Neuvostoliiton aloittama GPS:n kaltainen sotilaskäyttöön tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmä. Hanke käynnistettiin vuonna 1982 ja se lähes saavutti suunnitellun laajuuden 14 vuotta myöhemmin vuonna 1996. Venäjän talousvaikeudet vaikuttivat lähetettyjen satelliittien määrään. Vuosituhannen vaihteessa GLONASS-satelliittipaikannusjärjestelmä oli hiipunut ja toimi lähinnä tarkentamassa GPS:n signaaleja. GLONASS-järjestelmän uudistus käynnistettiin vuonna 2003, tavoitteena oli itsenäisesti toimiva satelliittipaikannusjärjestelmä. GLONASS-

satelliitteja on lähetetty yli kaksisataa kappaletta aikaisempien satelliittien lyhytikäisyyden vuoksi. Nykyään lähetetyt satelliitit kestävät yli 10 vuotta. (Poutanen, 2016, ss. 22–24)

Uusinta GLONASS-satelliittien sukupolvea kutsutaan nimellä GLONASS-K, joista ensimmäinen otettiin käyttöön helmikuussa 2016. Uuden sukupolven satelliiteissa on parannettu kellon stabiliteettia, uutta ohjausteknologiaa, komentotekniikkaa ja ODTS-(Orbit Determination and Time Synchronization) teknologiaa. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 11) ODTS-teknologiaa käyttävät suurimmat satelliittipaikannusjärjestelmät, kuten GPS, GLONASS ja GALILEO. Satelliitin kello on arvioitu satelliitin kiertoradan ja ajan mukaan. Kyseistä tekniikkaa käytetään ajan synkronoimiseen satelliittien ja maan tukiasemien välillä. (Chen & Wang, 2018, ss. 1–2) GLONASS:n päähallintakeskus sijaitsee Moskovassa, jossa ylläpidetään satelliittien kiertorataa ja ratkaistaan mahdolliset aika-, sijainti- tai kiertoratapoikkeamat (Kuva 6).

Kuva 6. GLONASS ground segment (IAC, 2020, s. 14)

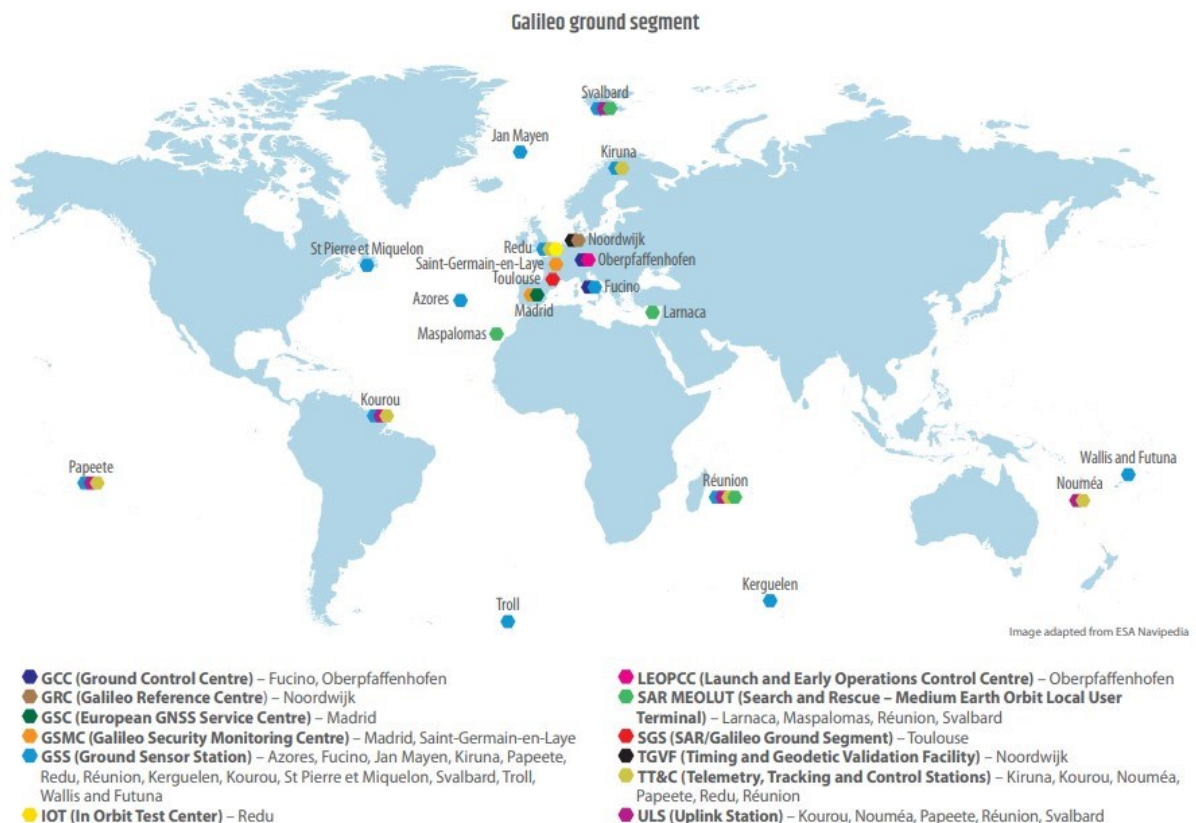


2.3 GALILEO satelliittipaikannusjärjestelmä

GALILEO on eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka eroaa edellä mainituista järjestelmistä olemalla Euroopan Unionin rakentama siviilipaikannusjärjestelmä (Poutanen, 2016, ss. 25–27). GALILEO:n kontrollointiosan tukiasemat ja hallintakeskukset sijaitsevat eri

puolilla maapalloa, mutta pääosin Euroopan alueella (Kuva 7). GALILEO:lla on kaksi päähallintakeskusta, jotka sijaitsevat Italiassa ja Saksassa (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 13). GNSS-paikannuksesta on tullut monelle välttämätön palvelu, joka on usealle ihmiselle jo itsestäänselvyys. Yhä useampi toimiala liittyy GNSS-järjestelmien käyttäjäksi jollakin asteella, joka lisää potentiaalisen signaalivian riskiä ja seurauksia. GALILEO:n lisääminen muiden GNSS-järjestelmien rinnalle varmistaa signaalivian riskien minimoinnin, paremman suorituskyvyn ja tarkkuuden käyttäjälle. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2021) GALILEO:ta käyttäviä puhelimia on yli 600 eri mallia ja niitä on myyty 14.4.2021 mennessä yli kaksi miljardi kappaletta (GSA European GNSS Agency, 2021).

Kuva 7. GALILEO ground segment (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 13)



Keränen (2021) kirjoittaa Tekniikka & Talous lehdessä, että Galileo-paikannussatelliitin kiertoradalle oli päässyt eurooppalaisen Ariane 4-kantoraketin osa. Törmäysvaaran aiheuttanut osa on kiertänyt maata vuodesta 1989 lähtien ja kantoraketin osa painaa n.

1500 kg. Varoitus törmäysvaarasta tuli vielä rakenteilla olevan ”EU Space Surveillance and Tracking” palvelun kautta 25.2.2021 ja satelliitti poistettiin käytöstä 5.3.2021 jolloin sen kiertorataa muutettiin väliaikaisesti törmäyksen välttämiseksi. Törmäysvaaran jälkeen satelliitti siirrettiin takaisin omalle kiertoradalleen kahdella ratakorjauksella.

GNSS.asia Editorial Team (2021) on tehnyt yhteenvedon 16 – 17.3.2021 pidetystä ”Munich Satellite Navigation Summit 2021” verkostoitumiseen tarkoitettu kokouksesta, jossa on keskusteltu Galileon roolista globaaleilla GNSS-markkinoilla. Luis Cuervo Spottorno alusti kokousta kertomalla Galileon uusista palveluista ja ominaisuuksista. Galileo kehittää ilmaiseksi käytettävää korkean tarkkuuden palvelua, joka toimii noin 20 senttimetrin tarkkuudella. Galileon etsintä- ja pelastuspalvelu (Search and Rescue, SAR) on integroitu kansainväliseen COSPAS-SARSAT-meripelastusjärjestelmään, mikä nopeuttaa hätämajakan paikantamista neljästä tunnista kymmeneen minuuttiin. Spottornon mukaan Galileon Return Link palvelun odotetaan saavan kansainvälistä huomiota, koska palvelu ilmoittaa hätäsignaalin lähettäjälle hätäsignaalin vastaanotosta. Upoavassa laivassa tämä signaali voi olla merkittävä. Galileo tulee myös tarjoamaan palvelun (Open Service Navigation Message Authentication, OS-NMA), joka varmistaa satelliittipaikannussignaalin olevan Galileolta, eikä haitallisesta lähteestä. GNSS.asian organisaation järjestämään tapaamiseen osallistui Euroopasta 20 yritystä tai instituutiota kymmenestä eri maasta, yhteensä yli 80 osallistujaa. Aasiasta osallistui edustajia kuudesta eri satelliittipaikannusjärjestelmästä, 12 eri maasta yli 100 osallistujaa, vaikka kokous pidettiin Aasian aikaan yöllä.

2.4 BeiDou satelliittipaikannusjärjestelmä

BeiDou on Kiinan kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä, jonka rakentaminen alkoi GALILEO:n tavoin 2000-luvun alussa (Poutanen, 2016, ss. 27–28). BeiDou rakennettiin kolmessa vaiheessa: BDS-1, BDS-2 ja BDS-3 (China Satellite Navigation Office, 2020, s. 2). BeiDou:n satelliitteja on laukaistu vaikuttavaan tahtiin vuosina 2018–2019 (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 10). BDS-3 eri satelliittityyppien kiertoratojen avulla BeiDou:n on uskottu antavan tarkempaa sijaintitietoa verrattuna muihin satelliittipaikannusjärjestelmiin, etenkin Kiinaan ja sen lähialueella (Ferrara, 2020, s. 15).

2.5 The European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)

EGNOS eli The European Geostationary Navigation Overlay Service on Euroopan Unionin alueella toimiva satelliittipaikannusjärjestelmä, joka parantaa olemassa olevia satelliittipaikannussignaaleja GPS:ltä ja GALILEO:lta. EGNOS käyttää kolmea satelliittia ja kolmeakymmentä tukiasemaa kahdessakymmenessä eri maassa (Kuva 8). Korjaussignaalit parantavat mittaustarkkuutta huomattavasti verrattuna pelkkään GPS:n tai Galileon antamaan mittaustarkkuuteen. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020)

EGNOS on kustannustehokas ratkaisu kartoitukseen ja mittaukseen, antaen alle metrin tarkkuuden. Moni laite käyttää jo EGNOS-palvelua, koska palvelu on ilmainen ja helppokäyttöinen sekä se on monessa GNSS-vastaanottimessa. EGNOS-palvelusta hyötyvät esimerkiksi kuntien, metsän- ja puistonhoitoalan, kunnossapidon ja infrastruktuurin kartoittajat. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, n.d.)

Kuva 8. EGNOS ground segment (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019)

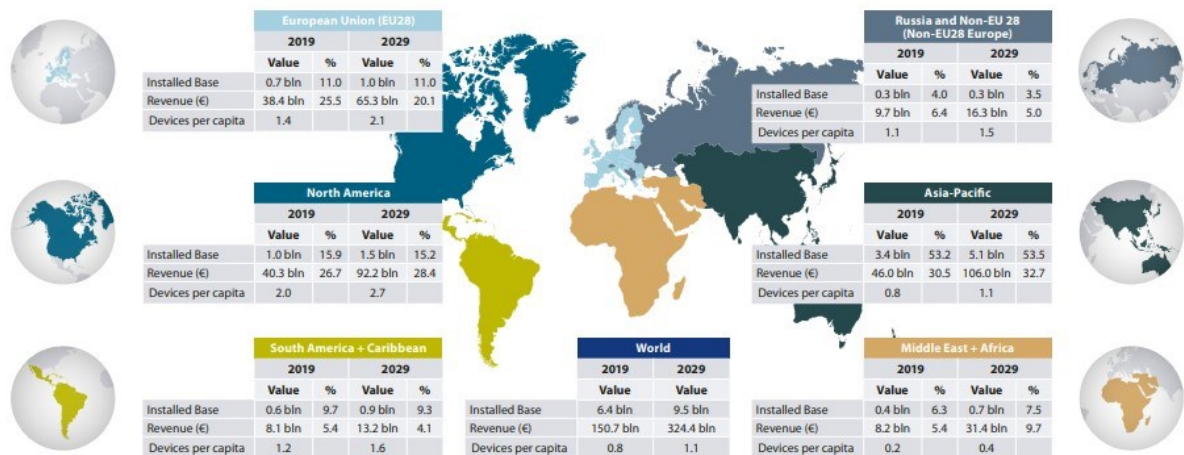


2.6 GNSS-laitteiden käytön merkittävä kasvu

Viime vuosina GNSS-markkinat ovat kasvaneet merkittävästi maailmanlaajuisesti ja on odotettavissa kasvun jatkuvan tälläkin vuosikymmenellä. Vuonna 2019 satelliittipaikannusta käyttäviä laitteita oli asennettu 6,4 miljardia ja GSA ennustaa laitteiden määrän nousevan 9,6 miljardiin asennettuun laitteeseen vuoteen 2029 mennessä. Aasian alue on kehittynyt huomasti 2010-luvulla GNSS:n osalta. Vuonna 2019 Aasiassa on käytetty 3,4 miljardia/€ satelliittipaikannusjärjestelmän kehittämiseen (Kuva 9). (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, ss. 6–7)

Kuva 9. GNSS-kustannukset maanosittain (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, s. 6)

Asia-Pacific will continue to account for more than half of the global GNSS installed base



3 GNSS-laitteiden toiminta

GNSS-vastaanotin laskee pituus- ja korkeusasteikon sekä ajan käyttäen vähintään neljää eri satelliittia sijainnin määrittämiseksi. Satelliittipaikannus perustuu tarkkaan ajansiirtoon. Jokaisessa satelliitissa on tarkka atomikello, jonka perusteella maahan lähetetään aikasignaalia sekä oheisdataa ja satelliittien sijaintien perusteella vastaanotin laskee sijaintitiedon. Satelliittien lähettämä signaali liikkuu valon nopeudella, eli lähetyisaikatiedon ja vastaanottimen vastaanottoajan erotus voidaan muuttaa etäisyysmittaukseksi kertomalla valon nopeudella (Kaava 1). (Maanmittauslaitos, n.d.)

Kaava 1. Satelliittipaikannuksen laskennallinen kaava (HEXAGON | NovAtel®, n.d.)

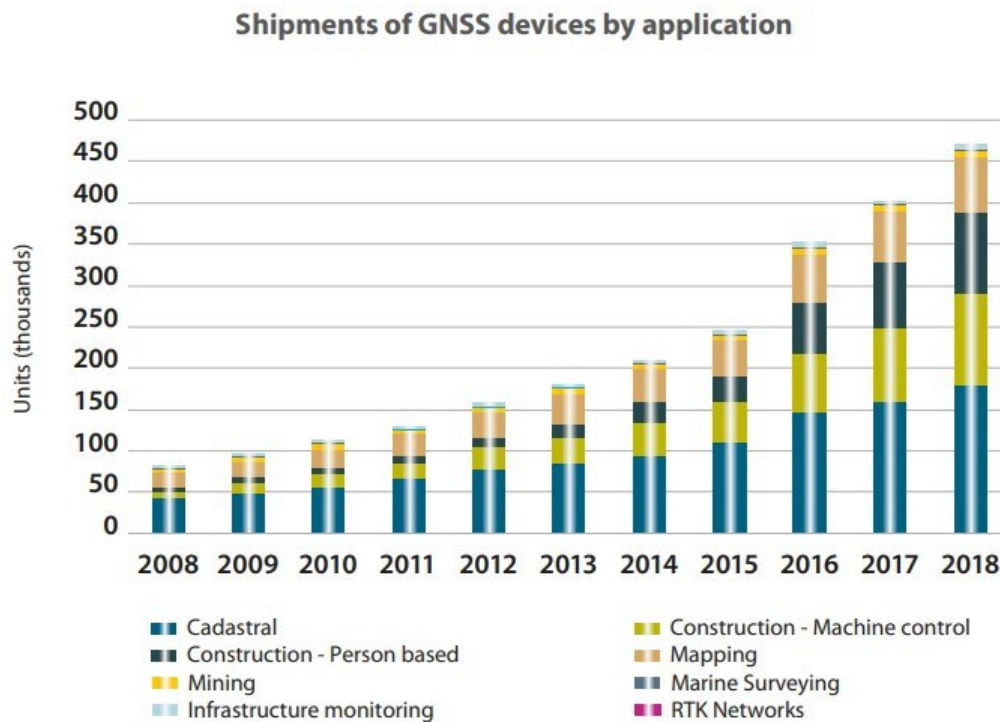
$$\text{Valon nopeus} = \frac{\text{Satelliitin arvioitu etäisyys}}{[\text{Vastaanottoaikatieto} - \text{lähetysaikatieto}]}$$

GNSS-vastaanottimien avainominaisuuksia ovat tarkkuus, saatavuus, jatkuvuus, kestävyys ja nopeus (Time-To-First-Fix, TTFF). Tarkkuusvaatimukset vaihtelevat millimetreistä metreihin ja tarkkuuksiin päästään GNSS-vastaanottimella käyttäen eri taajuuksia ja satelliittijärjestelmien mittaustometodeja. GNSS-vastaanottimen signaalien saatavuus on tärkeää eri ympäristöissä. Jatkuvuus on tärkeää työmaiden toiminnalle, kun satelliittien signaalien häiriöaika minimoidaan. GNSS-vastaanottimen nopeus (TTFF) on suora johdannainen signaalin tarkennusaikaan. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 63)

GNSS-vastaanottimet ovat kehittyneet tasaisesti kaikkien satelliittijärjestelmien ja taajuuskaistojen käyttäjiksi. Yli 70 % GNSS-vastaanottimista pystyy käsittelemään kaikkien satelliittijärjestelmien signaaleja, kun taas alle 10 % käyttää vain yhtä satelliittijärjestelmää. Useampaa taajuuskaistaa (Multi Band) käyttävä GNSS-vastaanotin on huomattavasti tarkempi, koska laite vertailee eri taajuuksien signaaleja ja pystyy korjaamaan ionosfäärin ja heijastuksen aiheuttamia virheitä. Monitaajuusvastaanotin vähentää virheille alttiutta. Tämä kasvattaa myös mittausten menetelmiä kuten PPP (Precise Point Positioning), jolla päästään jopa 3 cm tarkkuuteen ilman alueellista tukiasemaa ja RTK (Real Time Kinematic), joka käyttää alueellista tukiasemaa ja antaa korkeampaa mittaustarkkuutta reaaliajassa. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 85)

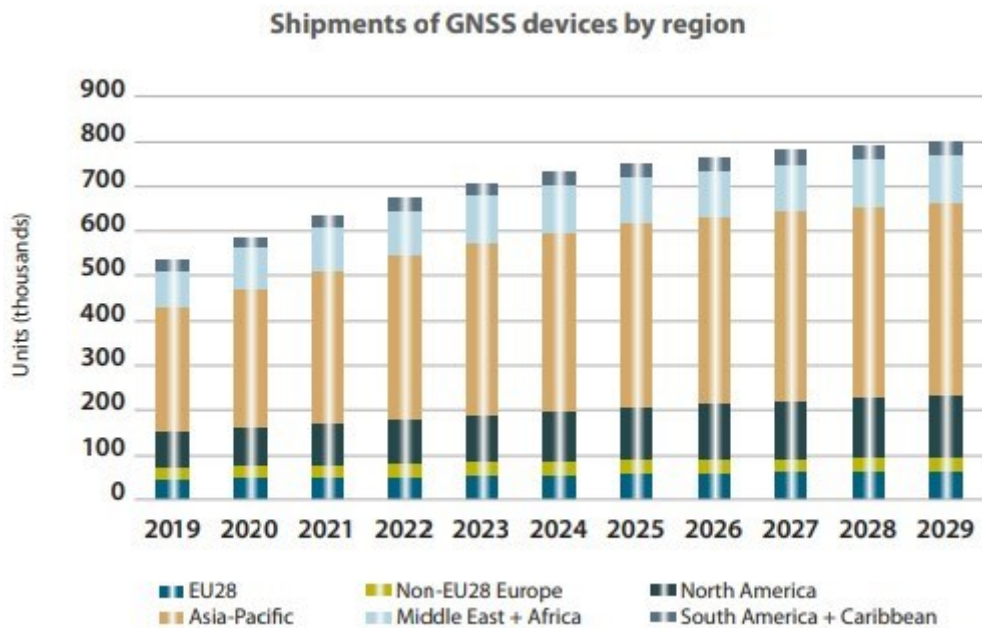
GNSS-vastaanottimien käyttö on kasvanut maanmittauksen osalta noin 33 % vuosikeskiarvolla välillä 2008 ja 2018 (Kuva 10). Kaikki alat ovat tasaisessa nousussa GNSS-laitteiden käytön osalta, etenkin rakennusalan koneohjauksen ja henkilöperusteisen mittauksen osalta. Viime vuosikymmenellä GNSS-laitteiden hinta on laskenut johtuen aasialaisten toimittajien liittymisestä satelliittipaikannuksen alalle. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, s. 90)

Kuva 10. GNSS-laitteiden toimitus alan mukaan (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, s. 90)



Pitkällä tähtäimellä GNSS-laitteiden käytön on ennustettu vakiintuvan. Vuonna 2019 GNSS-laitteita on toimitettu noin 500 000 kappaletta. GSA ennustaa, että laitteita toimitetaan vuonna 2029 noin 800 000 yksikköä vuodessa (Kuva 11). Aasian alueelle on toimitettu 52 % kaikista GNSS-laitteista vuonna 2019, eli yli 90 000 kappaletta pelkästään Aasian alueelle. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2019, s. 91)

Kuva 11. ennuste GNSS-laitteiden toimituksesta alueen mukaan (GSA GNSS Market Report, 2019, s. 91)



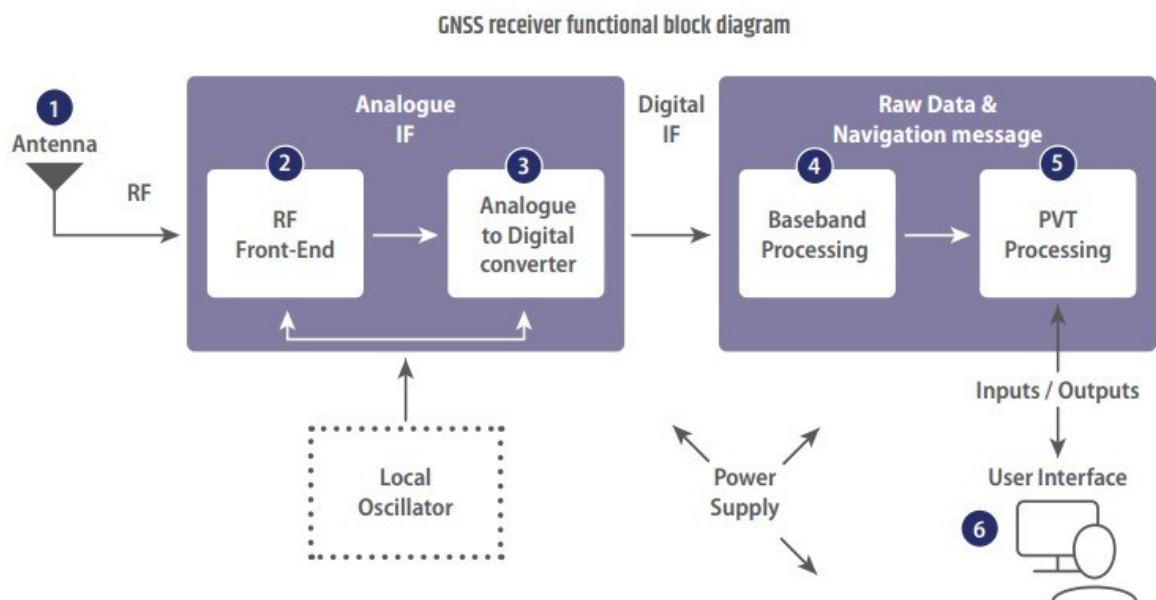
GNSS-vastaanottimien suunnittelun kehityksen on mahdollistanut puolijohdeteollisuuden teknologinen kehitys ja lisääntynyt prosessointiteho, joka mahdollistaa sen, että vastaanottimet tukevat useampaa taajuuskanavaa. Samalla markkinapaineet vaativat korkeampaa tarkkuutta, parempaa suorituskykyä kaikissa olosuhteissa, nopeampaa TTFF:ää (time-to-first-fix) sekä kestävyyttä häirintää ja huijausdataa vastaan. (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 16)

European Global Navigation Satellite Systems Agency (2020, s. 16) on avannut omavaraisen GNSS-vastaanottimen rakennetta signaaliviestin kulkujärjestyksessä (Kuva 12).

1. Antenni ja esivahvistin vastaanottaa, vahvistaa ja suodattaa GNSS-signaaleja.
2. Radiotaajuusmuunnin muuntaa radiotaajuuksia välitaajuuksiin yhteensopivaksi analogiselle digitaalimuuntimelle.
3. Analoginen digitaalimuunnin muuntaa analogisen välitaajuuden digitaaliseksi koodiksi.

4. Kantataajuuden prosessointi hankkii ja seuraa saapuvia signaaleja sekä ilmaisee navigointidataa.
5. Sijainnin, kiihtyvyyden ja ajan prosessointi laskee arvioidun sijainnin (Kaava 1).
6. Tietojenkäsittelyohjelma muuntaa edellä tuotetun datan tunnetuksi formaatiksi, kuten NMEA tiedostoksi. Alustettuna data voidaan lähettää Bluetoothin, Ethernetin tai muun tietoliitännän kautta käytettävään tietojenkäsittelyohjelmaan.

Kuva 12. GNSS-vastaanottimen toiminnallinen kaavio (European Global Navigation Satellite Systems Agency, 2020, s. 16)



NMEA viesti on vastaanottimien vakio muotoinen tulostus, eli voisi sanoa sen olevan GNSS-kieli. GNGSA on nimike kaikkien GNSS-järjestelmien viesteille. GPGSA on GPS-järjestelmän viesteille, kun taas GLGSA on GLONASS-järjestelmän viesteille. Viestit ovat eri muodoissa, mutta pääosin samalla rakenteella. Esimerkki viestistä on

\$GPGGA,181908.00,3404.7041778,N,07044.3966270,W,4,13,1.00,495.144,M,29.200,M,0.10,0000*40. (Hemisphere GNSS, n.d.) Taulukko 2 kuvaa satelliittipaikannuksen sijaintiviestien dataa NMEA ja GNGSA muodoissa.

Taulukko 2. Satelliittipaikannuksen sijaintiviestien datan kuvaus (Gakstatter, 2015)

NMEA viesti	kuvaus	GNGSA viesti	kuvaus
GN GP GL GA GB	GNSS-järjestelmän tunnus Yhdistelmä (GPS + GLONASS) GPS-järjestelmän, GLONASS-järjestelmän GALILEO BeiDou	A	Satelliittitalennustila M= manuaalisesti 2D tai 3D, A = Automaattisesti vaihtuva 2D tai 3D.
181908.00	Aikaleima, UTC- aikavyöhykkeellä. Aika on kuvattu tunneilla, minuuteilla ja sekunneilla.	B	Sijaintitila, 1= korjaus ei käytettävissä, 2=2D korjaus, 3= 3D korjaus.
3404.7041778	leveysasteen formaatti DDDMM.MMMMM, desimaalin paikka vaihtelee.	CC – OO	Paikannusratkaisussa käytettyjen satelliittit, Kenttä on tyhjä, jos kanavaa ei käytetä
N	Pohjoista leveyspiiriä (North, N)	P.P	Position Dilution of Precision (PDOP) / Sijainnin tarkkuuden heikentyminen = 1.1 – 9.9
07044.3966270	Pituusasteen formaatti, DDDMM.MMMMM, desimaalin paikka vaihtelee.	Q.Q	Horizontal Dilution of Precision (HDOP) / Horisontaalisen tarkkuuden heikentyminen = 1.0 – 9.9
W	Läntistä pituuspiiriä (West, W)	R.R	Vertical Dilution of Precision (VDOP) / Pystysuoran tarkkuuden heikentyminen = 1.0 – 9.9
4	Laadunosoitin 1 = Korjaamaton koordinaatti 2 = Differentiaalisesti korjattu koordinaatti (esim. WAAS, DGPS) 3 = RTK Fix koordinaatti (senttimetrien tarkkuus [Algoritmi on ratkaistu])	GSID	GNSS järjestelmän tunniste-arvo 1 = GPS 2 = GLONASS 3 = GALILEO 4 = BEIDOU

	4 = RTK Float (desimetrien tarkkuus [Algoritmia ei ole ratkaistu])
13	Koordinaateissa käytettyjen satelliittien määrää
1.0	Horizontal Dilution of Precision (HDOP) / Horisontaalisen tarkkuuden heikentyminen
495.144	Antennin korkeus
M	Korkeuden yksikkö (Metreinä, m tai Jalkoina, Ft)
29.200	Geoidinen etäisyys (Tämä vähennetään antennin korkeus saadakseen korkeus ellipsoidin yläpuolella (Height Above Ellipsoid, HAE)
M	Tarkoittaa yksiköitä, joita Geoidinen erotus käyttää
1.0	Kertoo korjauksen iän (Jos on korjattu)
0000	Kertoo korjausaseman tunnuksen (Jos on korjattu)
*40	Tarkistussumma (Checksum)

*CC	Tarkistussumma (Checksum)
<CR>	Vaununpalautus (Carriage return)
<LF>	Rivinvaihto (Line feed)

3.1 Toteumapisteiden koodaus ja mittaustarkkuusvaatimukset

GNSS-laite tulee osittain korvaamaan takymetrin. Tässä luvussa kuvataan GNSS-vastaanottimen ja takymetrin eroja mittaustarkkuudessa sekä täyttääkö GNSS-vastaanotin toteumamittausten vaatimukset. Pohditaan mihin GNSS-vastaanottimen mittaustarkkuus riittää ja mihin se ei riitä.

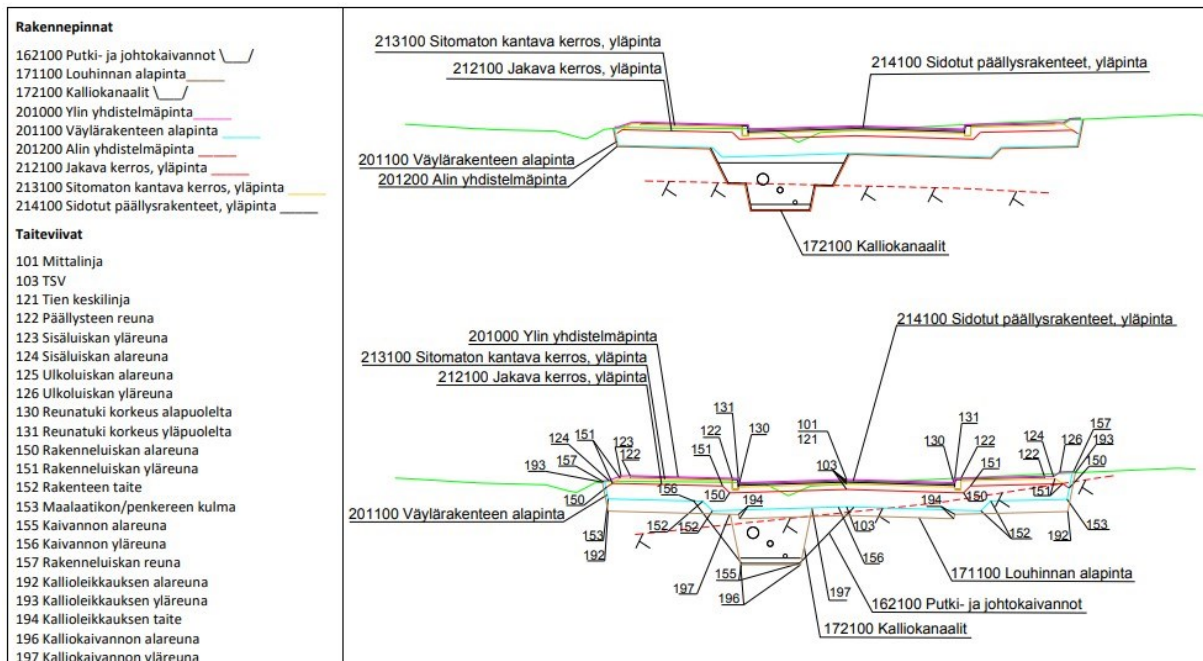
Liite 1 esittelee InfraRYL:n vaatimuksia, InfraRYL 2020/2, 21.12.2020 versiota käyttäen (Rakennustieto, 2/2020). Liitteen 2 taulukossa ei oteta huomioon muita vaatimuksia

rakennusosille kuten suunnitelma-asiakirjojen tai kaupunkien omia vaatimuksia. Taulukossa ei esitetä keskimääräisiä poikkeamia, vaan yksittäisten mittauspisteiden sallittuja poikkeamia. Keskiarvojen mittausvaatimukset täyttyvät, jos mittaustarkkuus pysyy yksittäisten poikkeamien sisällä tai lähialueella. Taulukossa ei myöskään käsitellä silmämääräisiä tarkastustoimenpiteitä.

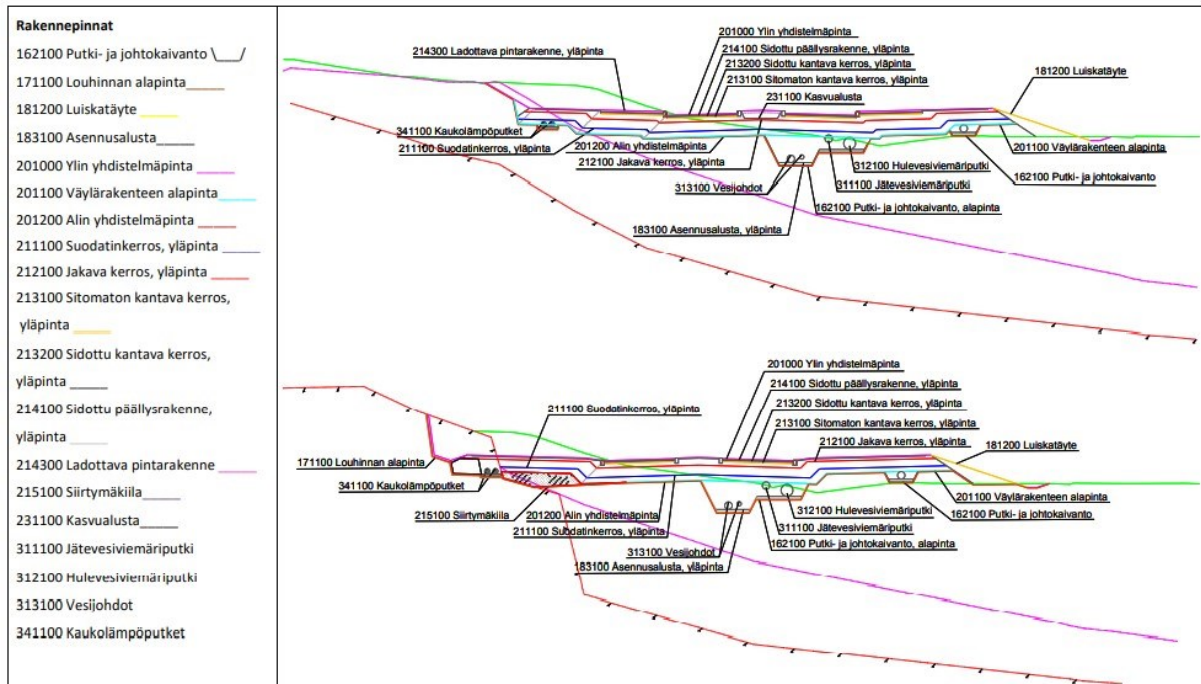
Taulukossa sijainti- ja korkeusasemapoikkeamat kerrotaan plus- ja miinus merkein: "–" tarkoittaa rakenteesta kohtisuoraa pintaa vastaan alaspäin tai vaakasuunnassa sisäänpäin, "+" tarkoittaa rakenteesta kohtisuoraa pintaa vastaan ylöspäin tai vaakasuunnassa ulospäin.

InfraBIM-nimikkeistö (Building Information Model, BIM) perustuu Infra2015-rakennusosanimikkeistöön ja laajentaa sitä. Nimikkeistössä esitetään yhtenäinen numerointi- sekä nimeämiskäytäntö ja se palvelee infrarakenteita koko elinkaaren ajan. Ohjeessa esitetään väylärakenteiden pintojen ja taiteviivojen numerointi- ja nimeämiskäytännöt (Kuva 13, Kuva 14, Kuva 15), (BuildingSMART Finland, 2021) joista tässä opinnäytetyössä huomioidaan tiet ja kadut.

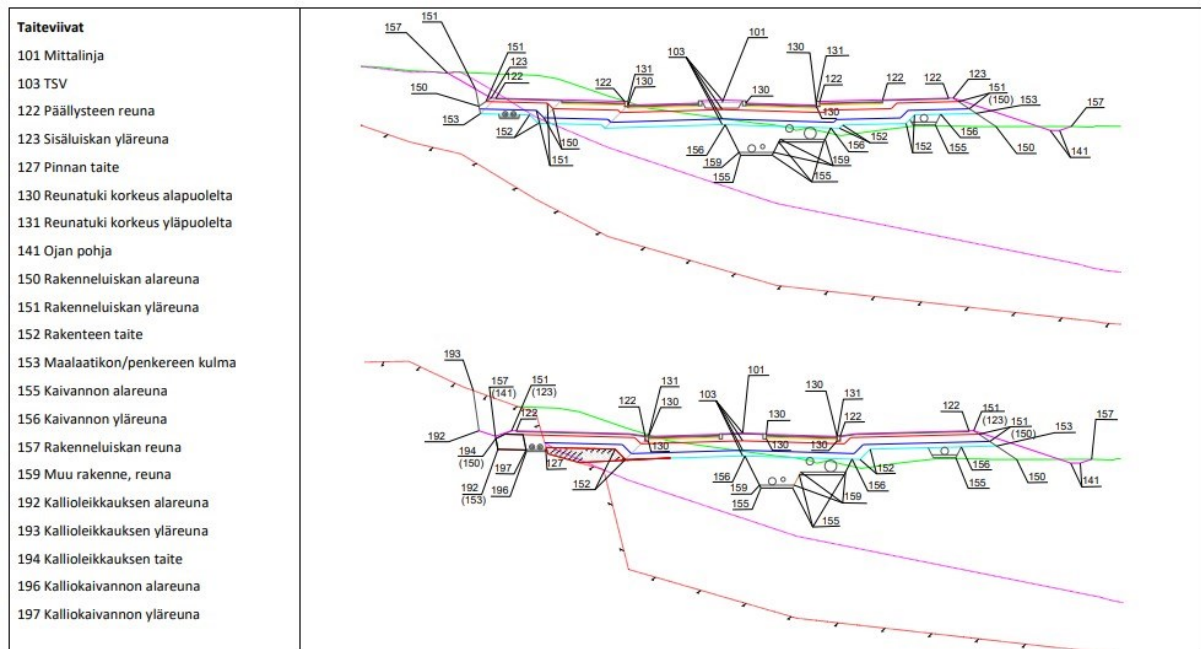
Kuva 13. Kadun rakennepinnat ja taiteviivat (1/3) (BuildingSMART Finland, 2021, s. 17)



Kuva 14. Kadun rakennepinnot ja taiteviivat (2/3) (BuildingSMART Finland, 2021, s. 18)



Kuva 15. Kadun rakennepinnot ja taiteviivat (3/3) (BuildingSMART Finland, 2021, s. 19)



Työnaikaisessa laadunvarmistuksessa hyödynnetään vastaanotinta ja työkoneautomaatiota, jolla voidaan tuottaa laatu-, toteama- ja tarkemittauksia laadunvarmistusdokumentteihin.

Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt. esittelee tie- ja katualueen rakenneosien laadunvarmistusvaatimuksia ja ohjeita. Mallipohjaisten menetelmien käyttöönotto

edellyttää työmaaorganisaation perehtyneisyyttä mallipohjaiseen rakentamiseen. Hankkeella pitää olla nimettynä tuotannon tietomallikoordinaattori. (Yleiset inframallivaatimukset YIV, 2019, s. 118) Tietomallikoordinaattori toimii työnjohdon ja mittausorganisaation tukena mallipohjaisessa rakentamisessa.

Tarkemittauksilla varmennetaan rakenteiden vaatimustenmukaisuus. Tarkemittaukset tehdään takymetrillä tai RTK-GNSS-mittalaitella. Työkoneohjauksella rakennetuista rakennekerroksista otetaan tarkemittaus eri välimatkoin väylätyypeittäin. Katurakenteesta otetaan tarkkeet vähintään 50 metrin välein, puistopolusta vähintään 100 metrin välein ja tierakenteista otetaan tarkkeet vähintään 200 metrin välein. Työmaaorganisaation mittauksien laadunvarmistus tapahtuu kontrollimittauksilla, jotka sidotaan aina työmaan mittausperustaan. Kontrollimittauksia suorittavat työmaaorganisaatioon kuulumattomat osapuolet, esimerkiksi tilaajan valtuuttama mittauskonsultti. Kontrollimittauksia vertaillaan työmaaorganisaation tuottamiin mittauksiin. Kontrollimittaukseen on tärkeä sisällyttää mittaustarkkuutta todentavat dokumentit, GNSS-laitteiden tarkistusmittaustulokset mittausperustaan kuuluvilta kiintopisteiltä. (BuildingSMART Finland, 2019, ss. 126 – 127)

Mittaustyön tarkkuusvaatimukset on esitetty liitteessä 2. Rakennusosan sijaintipoikkeama sisältää myös mittamerkin sijaintipoikkeaman. Maastoon mitatulle mittamerkille sallitaan yleensä ± 10 mm poikkeama sekä taso- että korkeussuunnassa. Maastoon merkittyjen mittamerkkien suurin sallittu sijainnin poikkeama on 1/3 (33 %) valmiin rakennusosan sallitusta poikkeamasta. Väylärakentamisessa voi tulkita rakennekerroksien tarkkeenottoa GNSS-vastaanottimella tehokkaaksi, jos mittaustarkkuus pysyy sijainti- ja korkeusasemapoikkeamavaatimuksien sisällä 2/3 eli 66 %. (Tiehallinto, 2008, s. 27)

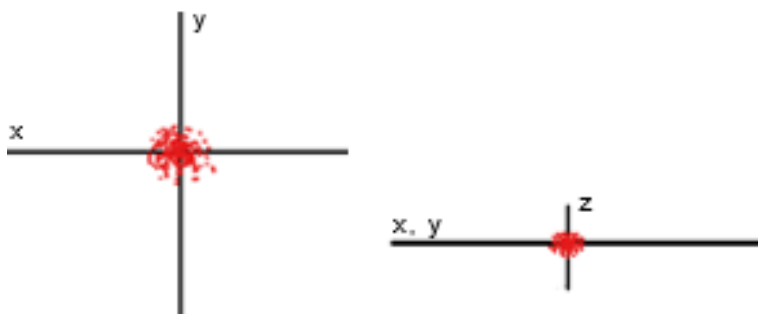
Taulukkoon on esitetty voiko työnjohtaja tarkemittata GNSS-vastaanottimella InfraRYL:in mukaisin laatuvaatimuksin.

Liitteestä 2 voi tulkita, että x, y, z akselin mittaustarkkuus riittää, kun mittauspiste on < 50 millimetrin sisällä. GNSS-vastaanottimien mittatarkkuus korkeusasemalta on epätarkoin ja herkin virheille. Näin ollen ”kananmunatarkkuus” (x, y: 20 | z: 30 mm) riittää monen rakenneosan laadunvarmistukselle ja osan tarkemittaukselle. Vesihuollon mittauksissa GNSS-vastaanotin käy moneen, muttei vesijuoksun mittaukselle.

3.2 GNSS-vastaanottimien teknisiä tietoja

Samasta kohdasta otetut tarkepisteet heittävät laitteen mittaustarkkuuden verran. Kuva 16 hahmottaa, miltä näyttävät samasta kohdasta otetut tarkepisteet. Vasemmalla on yleiskuva ylhäältä ja oikealla tarkepisteiden poikkileikkaus x-,y- ja z-akselit merkattuina.

Kuva 16. Toteumapisteet samasta kohdasta.



Novatron X-Site Pad on tehty kovaan käyttöön ja rajuihin sääolosuhteisiin. Novatron X-Site Pad:in käyttöjärjestelmä on samankaltainen kuin Novatronin koneohjauksessa. Saman käyttöjärjestelmän hallitseminen voi auttaa, mikäli työmaalla on Novatron koneohjauksen omaavia työkoneita. Kuva 17 esitellään Novatron X-Site Pad laitteen osat.

Kuva 17. Novatron X-site Pad.



1. GNSS-vastaanotin, joka kiinnitetään kierteillä hiilikuituvarteen
2. X-Site Pad, eli näyttöpäätte, jolla tehdään mittausotiminnot
3. X-Site Padin laturi
4. vastaanottimen akut, tähän laitteeseen mahtuu kaksi akkua, joista molemmat omaavat 50 % akkuvarauksen
5. vastaanottimen lataustelineen johto
6. vastaanottimen latausteline
7. X-Site Padin kiinnitysteline, hiilikuituvarteen
8. hiilikuituvarsi, joka nostetaan mittauksia tehdessä kaksimetriseksi.

Taulukko 3 on vertailu Novatron X-Site Padin ja Trimble SPS78 teknisiä tietoja. Laitteiden tekniset ominaisuudet ovat lähes identtisiä ja laitteiden suurin ero on käyttöjärjestelmässä ja ulkomuodossa. Trimble SPS785 vastaanotin on tarkoitettu ammattilaiskäyttöön. Trimblen vastaanotin ja InfraKit Field tabletilla ovat helppokäyttöinen yhdistelmä. Helppokäyttöisyyttä

tukee tabletin monikäyttöisyys, sillä tablettia voi käyttää muuhunkin tarkoitukseen kuin pelkästään mittaustyöhön. Vastaanottimien akkujen kesto on lähes sama. Novatronin laitteeseen menee kaksi akkua, joissa molemmissa on 50 % akkua. Trimblen laitteessa on yksi akku, mutta luvattu käyttöaika eroaa vain tunnilla. Molempien vertailussa olevien vastaanottimien iskunkestävyys, tiiveysluokka, käyttölämpötila, satelliittipaikannusjärjestelmien kattavuus ja luvattu tarkkuus ovat täysin identtisiä. Hinnat ovat epävirallisista haastatteluista.

Taulukko 3. Novatron X-Site Pad ja Trimble SPS785 teknisien tietojen vertailu.

<i>Teknisten tietojen vertailutaulukko</i>	Novatron X-Site Pad	Trimble SPS785
Akun kesto	6 tuntia, kaksi akkua	5 tuntia, yksi akku
Iskunkestävyys	kahden metrin pudotus	kahden metrin pudotus
Tiiveysluokka	IP67	IP67
Käyttölämpötila	-40°C - +65°C	-40°C - +65°C
Luvattu tarkkuus Full RTK tilassa	x, y: 8 mm, z: 15 mm	x, y: 8 mm, z: 15 mm
Laitteiden yhteispaino	3,5 kg	3,1 kg
Tuetut satelliittipaikannusjärjestelmät	Jokainen satelliittipaikannusjärjestelmä	Jokainen satelliittipaikannusjärjestelmä

Vastaanottimen varsi	Teleskooppi hiilikuitusauva, 125 – 200 cm	Teleskooppi hiilikuitusauva, 135 – 200 cm
Hinta-arvio	noin 12 000 € sisältäen padin	noin 10 000 €

4 Työmaiden tiedonhallinta

Mallipohjaisen rakentamisen ohjeet kattavat tiedonhallinnan, työmaan perustamisen, toteuttamisen eri vaiheet, kuten työmaan laadunvarmistuksen ja digitaalisen luovutusaineiston tietosisällön (Kuva 18). YIV2019 ohjeet perustuvat alan parhaisiin käytäntöihin, joita päivitetään työvälineiden ja osaamisen kehittymisen myötä. Vaatimuksia voidaan tarkentaa projektikohtaisesti, jolloin urakoitsija toimittaa laatusuunnitelman, jossa kuvataan projektin vaatimusten mukainen toiminta. Mallipohjaisen rakentamisen vastuuhenkilön on hallittava tietomallivaatimusten periaatteet kokonaisuutena johtakseen projektia. (BuildingSMART Finland, 2019, s. 110)

Kuva 18. Mallipohjaisen rakentamisen päätehtävät. (BuildingSMART Finland, 2019, s. 110)



Mallipohjaiset hankkeet rakennetaan suunnitelma-aineistoon soveltaen mallipohjaisia tuotantomenetelmiä. Rakennussuunnitelmamallit, suunnitelmat, taustakartat ja dokumentit sisältyvät suunnitteluvaiheessa luotuun lähtötietoaineistoon. Lähtötietoaineisto luodaan urakan hankintaa ja rakentamista varten. Rakentamisvaiheen aikana kerätään materiaalia luovutusaineistoon, joka sisältää rakennussuunnitelmamallista jalostettuja toteutusaineistoja. Digitaalinen laadunvarmistusaineisto toimitetaan tilaajalle urakka-

asiakirjojen mukaisesti, joka toimittaa tämän eteenpäin. (BuildingSMART Finland, 2019, s. 110)

4.1 Mittausdatan hallinta, tallentaminen ja käsittely työmaalla

Infrakit Fieldin avulla voidaan tehdä mittausmenpiteitä GNSS-vastaanottimella ja tarkastella samoja tiedostoja tietokoneella. Infrakit Field on sovelluskaupasta ladattava applikaatio, johon kirjaututaan ostettavilla tunnuksilla. Infrakitin hintaan vaikuttaa työmaan hinta (M€). Infrakit Fieldissä näkee samat tietomallit kuin työkoneissa. Tiedostot-välilehdessä pystyy selaamaan työmaan tietomalleja ja taustakarttoja. Tabletilla on mahdollista saada samat tietomallit aktiiviseksi kuin työkoneissa, mikä helpottaa konekuskien opastamista uusiin työkohteisiin.

Kuva 19 ohjeistetaan Infrakit Field:in tietomallien ja taustakarttojen käyttöä. Käytön vaiheet on merkitty kuvaan numeroin ja numeroiden selitykset ovat

1. kartat kohdan alta saat valituksi halutun taustakartan
2. haluttu taustakartta klikataan aktiiviseksi
3. mallit-kohdalta saat valituksi tietomalleja rakenneosista
4. napauttamalla tietomallia saat sen näkyviin, muttet vertailuksi sijainti- tai korkotietoa
5. painamalla pohjaan haluttua mallia, tulee se näkyviin ja valituksi
6. vihreänä oleva malli on nyt aktiivisena ja toimii mittauksessa vertailutietona.

Kuva 19. Infrakit Field tiedostot näkymä.



4.2 Tarkemittausten dokumentointi/raportointi

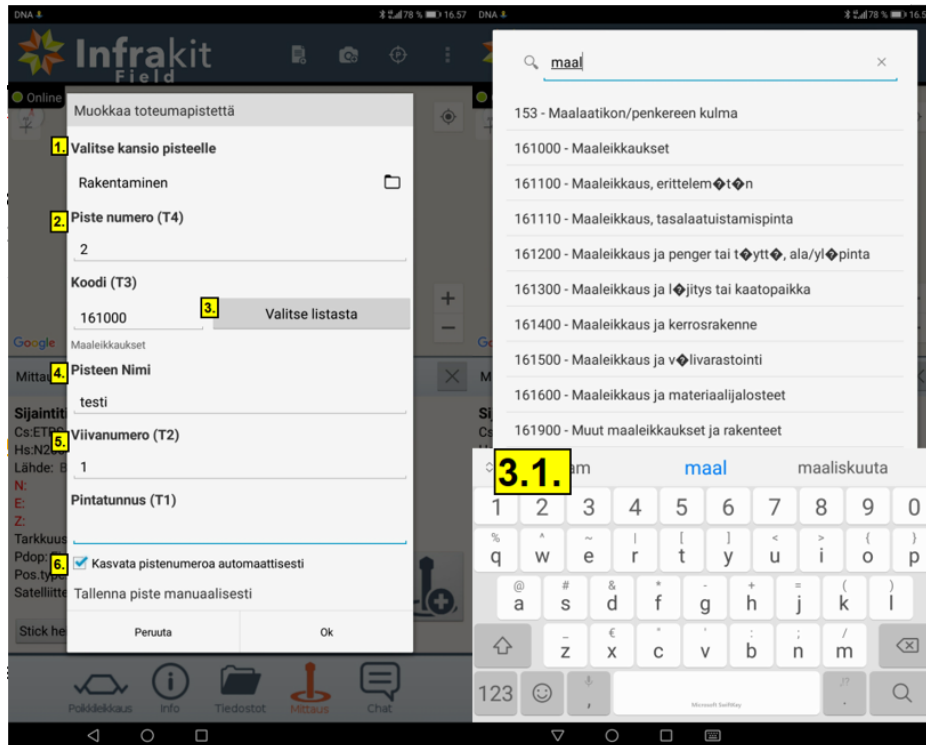
Mittausvälineestä ja applikaatioista riippuen voi hakea toteumapisteelle koodin avattavasta valikosta rakenneosaa kuvaavalla hakusanalla. Aloittaville mittajille riittää, kun toteumapiste nimetään sitä kuvaavalla koodilla, esimerkiksi maaleikkauksen kartoituksessa valitaan toteumapisteelle koodi 161000 – Maaleikkaukset. Toteumapisteiden mittauksessa on tärkeää tietää rakenneosien mittauspisteet. Kartoitus on hyvä aloittaa ensiksi mittaamalla jokin tietty pinta, tässä esimerkissä maaleikkauksen alareuna. Alareunan mittauksen jälkeen voi siirtyä kartoittamaan maaleikkauksen yläreuna. Juokseva pistenumero on hyvä muuttaa taiteviivaa vaihdettaessa. Näin toteumapisteiden käsittelijä näkee mitattavan kohteen vaihtuneen. Edistyneemmät mittajat voivat nimetä mitattavien rakenneosien taiteviivat InfraBIM – nimikkeistön mukaisesti, esimerkiksi rakenneluiskien reunoja mitattaessa käytetään koodeja: Rakenneluiskan alareuna = 150 ja Rakenneluiskan yläreuna = 151.

Kuva 20 ohjeistetaan Infrakit Field:in mittaustoiminto. Toteumapisteelle tulee antaa metatiedot, jotta tiedostojen käsittelijä tietää mitattavan rakenteen ja pystyy tekemään luovutusaineistomateriaalin. Mittaus välilehden ollessa auki näpätetään ”asetukset -

ikonia”, jotta saadaan auki toteumapisteiden asetukset. Käytön vaiheet ovat merkitty kuvaan numeroin ja numeroiden selitykset kerrotaan alla.

1. Valitse aluksi kansio pisteelle, johon tallennetaan tehdyt toteumapisteet.
2. Piste numero (T4)- kohtaan valitaan toteumapisteelle numero, numeron saa automaattisesti nousemaan kohdasta kuusi.
3. Toteumapisteen koodi (T3) tarkoittaa tarkemittauspisteiden koodausta. Kohtaa 3.1. napauttamalla voidaan hakea mitattavan rakenneosan koodi InfraBIM-nimikkeistön mukaisesti. Toteumapisteen koodi täytyy valita mitattavan rakenneosan mukaisesti. Tärkeää on, että toteumapisteiden käsittelijä tietää mistä rakenneosasta toteumapisteet on otettu.
4. Pisteen nimi- kohta voi kuvata vapaalla tekstillä mihin tarkoitukseen piste on otettu. Teksti ei poistu toteumapisteiden välissä.
5. Viivanumero (T2) erottelee, jos lähialueella otetaan monta linjaa samalla koodilla. Linjat voidaan numeroida erilleen toisistaan esimerkiksi 1-alkuiset numerot ovat rakenneluiskan yläreunaa ja 2-alkuiset numerot alareunaa.
6. Kohdasta voi napauttaa pistenumeron juoksevaksi, näin ollen toteumapisteiden käsittelijä tietää tehdyn mittausjärjestyksen.

Kuva 20. Infrakit Field mittaus toiminto.



5 Työnjohdon uudet mittaustehtävät

Työnjohtaja voi tehdä ison osan paikalleen-, tarke- ja kartoitusmittauksista vaikka mittamies jalostaisi toteumapisteet luovutusaineistoon. Työnjohtaja voi ottaa tarke- ja toteumamittaukset kaikista rakenteista, joiden toleransseihin kelpaa 1–3 cm tarkkuus. Työnjohtaja voi ottaa toteumapisteet esimerkiksi kalliosta, pengerrakenteista, alimmasta yhdistelmäpinnasta, suodatinkerroksesta, kaapelinsuojaputkien kartoituksesta, hyötykäytettävien kynnyсарvomaiden seurannasta ja muista ympäristöön liittyvistä toiminnoista, kuten pilaantuneiden maiden poisajosta.

Varmoja hyötyjä eli työnjohtajan uusia tehtäviä laitteen käytössä on haltuunottorajojen mittaus, työvaiheiden viemä tila, määrien seuranta ja työn suunnittelu. GNSS-vastaanottimella suoritettavat mittaukset toimivat pääosin työnaikaisina ja työn suorittamista tukevinä mittauksina. Lopullisten tarke- ja toteumapisteiden mittaaminen onnistuu vain osasta rakenteita. Työmaan laadunvarmistus-, paikalleen- ja tarkemittausten avulla työnjohtaja on paremmin perillä työmaan rakenteista sekä korko- ja sijaintitiedoista. Mittamies käy silti mittaamassa tarkat rakenteet, kuten vesihuollon järjestelmät ja viimeiset

pinnat. Työn tekemisen aikana on tehty epävirallisia haastatteluja mittamiesten kanssa työnjohtajalle siirtyvistä työmaamittauksista sekä eri GNSS-vastaanottimien hyvistä ja huonoista puolista.

Työtä varten haastateltiin kirjallisesti väylärakentamisen parissa työskentelevää työnjohtajaa, jolla on ollut GNSS-vastaanotin käytössä yli kaksi vuotta. Mittaustyötä tekevällä työnjohtajalla on ollut käytössä Trimblen SPS785 ja CHCNAV:n vastaanottimet. Käyttösovelluksena on ollut InfraKit Field. Merkittäviä eroja laitteiden välillä ei ole, mutta Trimble SPS785 oli mieluisampi laite käyttää.

Työnjohtaja on paikalleen mitannut kaivoja, valaisin- ja liikennemerkkijalustoja. Kaivojen paikalleen mittauksessa työnjohtaja on katsonut kaivokorteista kaivon sijaintikoordinaatit ja syöttänyt koordinaattipisteet manuaalisesti InfraKit ohjelmaan. Työnjohtaja on myös käyttänyt GNSS-vastaanotinta laadunvarmistukseen, kuten jakavan ja kantavan kerroksen tarkasteluun. Vastaanottimella voidaan myös tarkastaa työkonien koneohjauksien antama korko- ja sijaintitieto. Tämän avulla voidaan puuttua laitteiden välisiin mittaeroihin.

Väylärakentamisen parissa toimiva työnjohtaja on ottanut myös tarke- ja toteumapisteitä kaapelinsuojaputkista ja koodannut InfraRyl mukaisesti kirjoittaen kommenttikenttään minkä operaattorin putki on kyseessä. Tietomallikoordinaattori tai mittamies on jalostanut toteumapisteet luovutusaineistoon.

Työnjohtajan mielestä GNSS-vastaanotin tukee työnjohtajan työtä, eikä hän näe kuin hyviä puolia laitteen käytössä. Vastaanotinta käyttäessä työnjohtaja saa paremman kokonaiskuvan työmaasta. Tämä auttaa työn suunnittelussa, kun pystyy tarkastelemaan eri rakenteiden tilavaraukset. GNSS-vastaanotinta käyttäessä ei tarvitse aina tilata mittamiestä, kun pystyy itse mittaamaan osan rakenteista. Vastaanotinta käyttäessä, työnjohtaja on tarkemmin perillä työmaan rakenteiden korkotiedoista ja pystyy varmistamaan kaivinkoneiden koneohjauksen sijainti- ja korkotietojen paikalleen pitävyyttä. (J. Neste, henkilökohtainen tiedonanto 23.9.2021)

5.1 Työnjohdolle opastettavat asiat

Opinnäytetyössä tarkastellaan kahta eri laitetta, mutta opastettavat asiat ovat samoja laitteesta riippumatta. Laitteilla on omia ominaisuuksia, mutta laitteiden käytön eri vaiheet on kuvattu oppaassa tarkemmin. GNSS-mittatikon käyttöönotossa suositellaan tarkastamaan vastaanottimen ja tabletin virta ennen mittaustyöhön siirtymistä. Mittaustyön jälkeen akut tulee laittaa latautumaan. Mittaustyön alussa varren korkeus nostetaan kahteen metriin, jolloin tabletin asetuksissa kirjataan sama korkeus. Vastaanottimen korkeus tulee huomioida, mikäli sille on annettu erillinen korkeus. Samalla asetukseen tulee kirjata mittaushohteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä (Kuva 21). Pääkaupunkiseudulla käytetään pääosin ETRS-GK25-tasokoordinaatistoa, jonka kansainvälinen EPSG-tunniste on 3879, korkeusjärjestelmä on N2000 (Helsingin kaupunki, 2021).

Kuva 21. Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä. (Helsingin kaupunki, 2021)



5.1.1 InfraKit Field

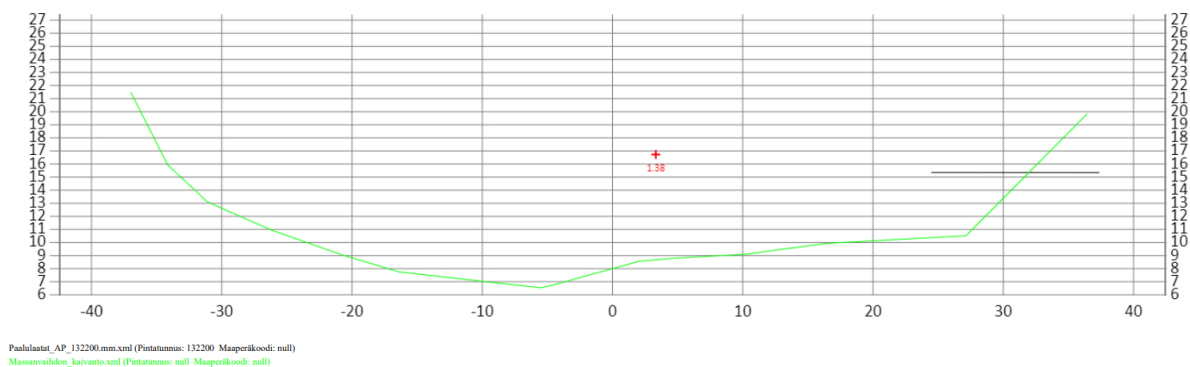
Opinnäytetyön tekemiseen auttoi InfraKitiltä saatu lisenssi, InfraKit Field tiedonhallintaohjelma työmaan tiedonhallintaa ja mittauksia varten. InfraKitin avulla työnjohtajalla oli käytössä samat tietomallit kuin työmaan kaivinkoneissa. InfraKit on helppokäyttöinen, tavallisella tabletilla tai selaimella toimiva suunnitelmien ja toteumapisteiden tarkasteluun toimiva ohjelma. Kuva 22 on aktiivisena paalulaatan alapinnan tietomalli ja massanvaihdon kaivuumalli. Taustakarttana on dronella kuvattuna koko työmaa.

Kuva 22. InfraKitistä otettu yleiskuva, poikkileikkaus massanvaihdon ja paalulaatan malleista.



Poikkileikkauksessa näkyy vihreällä massanvaihdon kaivuumalli ja mustalla viivalla oikealla paalulaatan alapinta (Kuva 23). Punainen piste on työnjohtajan ottama toteumapiste, massanvaihtoalueella olleesta ylimääräisestä asfalttikerroksesta.

Kuva 23. InfraKit poikkileikkaus massanvaihdosta ja paalulaatasta.



5.1.2 Novatron X-Site Pad

Novatron antoi koekäyttöön Novatron X-site Padin (Kuva 24), mikä linkitettiin InfraKit:iin. Novatron X-Site Padin käyttöönotossa tulee tarkistaa vastaanottimen ja padin varaustilat ennen mittaustyöhön lähtemistä. Vastaanottimeen menee kaksi akkua, joista kumpikin omaa 50 % varaustilan. X-Site Pad ja vastaanotin toimivat Bluetooth-laiteparina. Laitteet

ovat olleet ennen yhdistettynä toisiinsa, ne yhdistyvät automaattisesti. Laiteparituksen onnistuttua tulee hiilikuitusauva eli mittakeppi nostaa kahden metrin korkeuteen ja on suositeltavaa laittaa varmistushakanen kiinni lukitsemaan korkeuden. Pad toimii Windows 10 käyttöjärjestelmällä eli käyttäytyy samalla tavalla kuin tietokone. Novatron X-Site Pad toimii lähes samalla lailla kuin koneohjauksien Novatron -ohjelmat.

Kuva 24. Novatron X-Site Pad, kantokotelo.



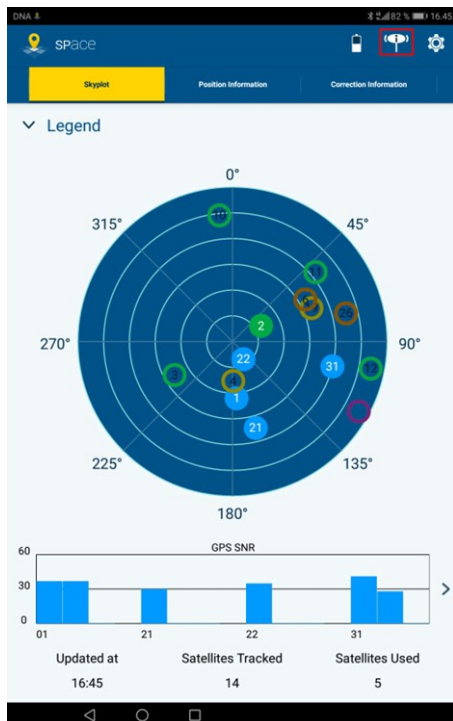
Kosketusominaisuuksia voi muuttaa "Touchscreen profiles"-sovelluksella, sääolosuhteiden mukaan. Pikakuvake, jossa on tablettikynä ja sormi on paras poutaiselle säälle. Oranssilla pohjalla oleva tarkoittaa aktiivista kuvaketta. Pikakuvake sadepisara on paras valita sateisella säällä, koska sade voi häiritä näyttöä muilla valinnoilla. Hanskoillakin on mahdollista käyttää Xsite padia, esimerkiksi talvella kylmissä olosuhteissa. Pikakuvakkeeksi tällöin valitaan hanska.

Työpöydälle voi palata Windows-näppäimellä, työpöydällä on sovelluksien pikakuvakkeet. Ensimmäiseksi täytyy avata LandNova, jolloin laite lataa tietomallit. Tämän jälkeen voi avata InfraKit Fieldin, jolla suoritetaan mittaukset. Vastaanottimen käytön lopettamisen jälkeen tulee akut laittaa lataukseen.

5.1.3 Trimble SPS785

Trimble SPS785 on GNSS-vastaanotin ja sen laiteparina toimi Huawei Mediapad T5, eli edullisimmasta päästä oleva tabletti. Tablettilalla toimii myös matkapuhelin, mutta paikannus vie paljon akkua. Käytettäessä tablettia tai matkapuhelinta tulee laitteessa olla kehittäjätila päällä eli laite voi käyttää muuta sijaintia kuin omaansa. Kehittäjätilan saa aktivoitua seuraavasti: Asetukset > Järjestelmä > Tietoja laitteesta > Näpäytä seitsemän kertaa ”ohjelmistoversion numero” kohtaa. Laitteessa tulee olla ladattuna Trimblen SPace sovellus, jonka avulla laite löytää satelliitit. Vastaanottimeen menee yksi akku, eli kahdella akulla toinen voi olla aina latautumassa. Laitteiden yhdistettyä tuttuun tapaan laitepariksi sen jälkeen voi avata SPace sovellus, vastaanotin piippaa satelliittien löytyessä. Kuva 25 on yhdistettynä 14 satelliittia, joista 5 satelliittia käytössä. Jos vastaanotin ei yhdisty Bluetoothilla voi painaa punaisessa laatikossa olevaa vastaanottimen pikakuvaketta mikä aloittaa vastaanottimen etsimisen.

Kuva 25. Trimble SPace sovellus.

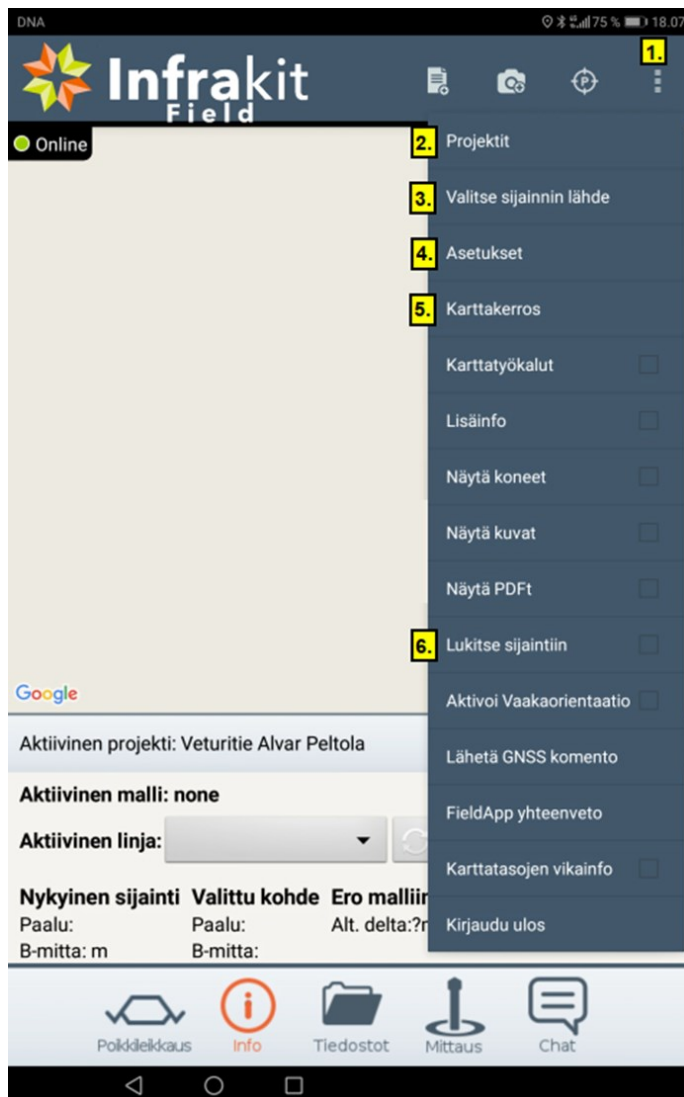


Kuva 25 mukaisen näkymän avattua voi palata työpöydälle. Tämä tarkoittaa, että vastaanotin on yhdistänyt satelliitteihin. Tämän jälkeen voi avata InfrakitField sovellus ja

säätää aluksi applikaatioon asetukset kohdilleen. Kuva 26 näkymässä esitetään, kuinka säätää InfraKit Fieldin asetukset.

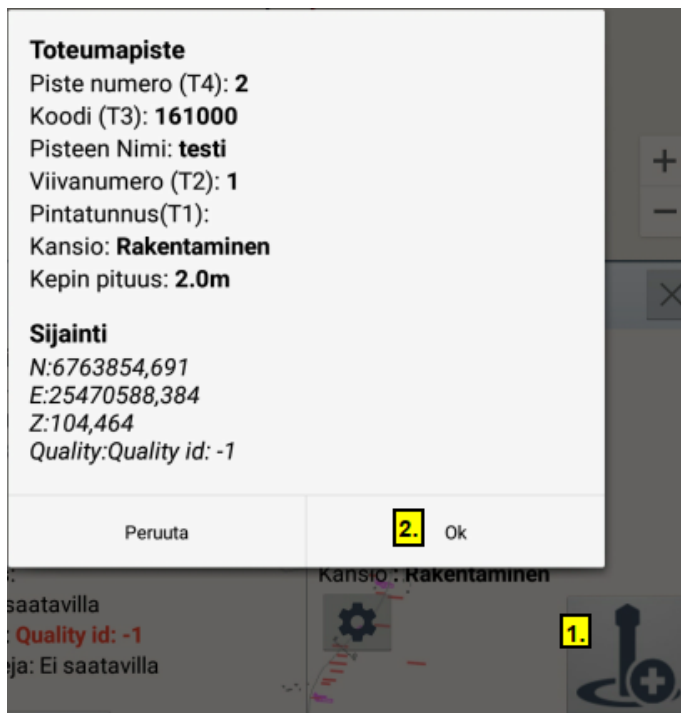
1. Kolmen pystypisteen kohdalta aukeaa valikko lisätoiminnoille. Tätä napauttamalla aukeaa alla näkyvä lista (Kuva 26).
2. Projektit kohdasta voi valita oikean projektin. Käyttäjällä voi olla useita projekteja Infrakit Fieldissä, tästä tulee valita aktiiviseksi nykyinen projekti.
3. Valitaan sijainnin lähteeksi SPace, jolloin Infrakit alkaa käyttämään vastaanottimen sijaintitietoa. Tähän voi valita eri sijainnin lähteet, jos käytössä ei ole Trimblen laite.
4. Asetukset kohdasta pääsee sovellusasetuksiin, jossa valitaan kepin pituudeksi kaksi metriä. Minimitalarkkuus toteumapisteille tulee valita RTK FIX. Tämä estää toteumapisteiden ottamisen, jos vastaanotin ei ole muutaman senttimetrin tarkkuudessa.
5. Karttakerroksesta voi valita halutun taustakartan, esimerkiksi Googlen tai Maanmittauslaitoksen karttapohjan. Dronella lennetty taustakartta tulee valittavaksi custom kohdan alle.
6. Lukitsee kuvan laitteen sijaintiin eli liikuessa ruutu seuraa käyttäjän sijaintia. Valinta kannattaa ottaa pois, jos haluaa liikuttaa näkymää.

Kuva 26. InfraKit Field alkunäkymä.



Toteumapisteen asetusten tallentamisen jälkeen voit aloittaa toteumapisteiden ottamisen. Varmista, että libelli on keskellä. Kuva 27 on mittaus välilehti auki, mittauspikakuvakkeesta (1.) voit alkaa tallentaa toteumapisteitä. Toteumapisteen vahvistus ilmestyy (2.), jossa näkyy kootusti tärkeimmät tiedot toteumapisteestä. Paina ok, jos mittaus on onnistunut. Paina Peruuta, jos haluat mitata uudelleen (Kuva 27). Toteumapisteen vahvistuksen saa halutessaan pois, näpäyttämällä kolmea pistettä oikeassa yläkulmassa > asetukset > sovellusasetukset > ota toteumapisteen vahvistus pois käytöstä. Painaessasi ok, toteumapiste tallentuu valitun kansioon alle.

Kuva 27. InfrakitField, mittaustoiminto.



6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyö valikoitui toiminnalliseksi opinnäytetyöksi, koska tarkoituksena oli kehittää käytännön toimintaa ohjeistamalla työnjohtoa GNSS-vastaanottimien käyttöönottoa, käyttöä ja sen tuomia uusia työtehtäviä. Työn alussa oli selkeät tutkimusongelmat, mihin mittaustehtäviin GNSS-laitteita voi käyttää ja mihin ei, mihin mittausdata tallennetaan ja miten koodataan, missä järjestyksessä tieto opastetaan työnjohtajalle. Tutkimuskysymysten perusteella tietoperustaksi valikoituivat alan ohjeistukset, vaatimukset, olemassa olevat tutkimukset ja kirjallisuus. Työ on jaettu teoreettiseen ja toiminnalliseen osuuteen. Opinnäytetyössä on teoreettinen osuus, joka sisältää tutkimustietoa satelliittipaikannuksesta, satelliittivastaanottimien toiminnasta, väylärakentamisen rakenneosien mittavaatimuksia ja soveltuuko GNSS-vastaanotin rakenteiden mittaukseen. Toiminnallinen osuus on työn tuotoksena tehty opas, johon on kerätty työnjohtajalle oleellinen tieto GNSS-vastaanottimen käyttöönotosta, käytöstä ja sen myötä tulevista mittaustehtävistä. Käytännön työtä GNSS-vastaanottimen kanssa olen tehnyt työnjohtajan tehtävissä toukokuusta 2021 lähtien Helsingin Länsi-Pasilassa, jossa työskentelen väylärakentamisen yksikössä työnjohtajana.

6.1 Opinnäytetyön kulku

Opinnäytetyön tekeminen alkoi perehtymällä aiheeseen, mistä lähtötietoa ei ollut yhtään. Tiedonhaku alkoi satelliittipaikannuksen toiminnasta, GNSS-vastaanottimilla tehdyistä työsuoritteista ja alan eri toimittajista. Työtä tehdessä yllätti puolustusvoimien ylläpitämien satelliittipaikannusjärjestelmien julkisen tiedon vähyyys. Satelliittipaikannusvastaanottimista ei myöskään löytynyt opinnäytetyötä vastaavan aiheen kaltaista lähdettä. Työ alkoi keräämällä tietoa maailmanlaajuisista satelliittipaikannusjärjestelmistä, niiden historiasta, kattavuudesta ja lähitulevaisuuden ennusteista. Tämän jälkeen työssä kuvattiin GNSS-laitteiden käyttöä ja sen merkittävää kasvua. GNSS-vastaanottimien tekninen toimintaperiaate ja datakoodi avattiin työssä laajalti, jotta syntyy syvä ymmärrys vastaanottimien toiminnasta. Seuraavana opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa avattiin työmaiden tiedonhallintaa mittausdatan käsittelyn näkökulmasta. Lähteenä toimi yrityksen tämänhetkinen toimintamalli ja käytössä ollut InfraKit tiedonhallintajärjestelmä. Opinnäytetyön pääaihe, työnjohdon uusi rooli työmaamittausten suorittajana on teoreettisen osan lopussa. Pääaihe on avattu toiminnallisessa osuudessa eli oppaassa asteittain, vaikka GNSS-vastaanotinta voi käyttää käyttäjän mieltymysten mukaisesti.

6.2 Oppaan tekeminen

Oppaan rakentaminen alkoi työn ohessa kesällä, kun kokemusta eri GNSS-vastaanottimien käytöstä oli tullut. Kesän aikana työssä käytettyjä laitteita ovat Trimble SPS785 tabletin ja InfraKit Fieldin kanssa, Novatron X-Site Pad vastaanottimen ja tabletin yhdistelmä yhdistettynä InfraKit Fieldin kanssa, ja lisäksi Emlid Reach RS2. Edellä mainituista GNSS-vastaanottimista on tehty opas, jossa ohjeistetaan laitteiden käyttöönotto ja käyttö järkeistetyllä opastusjärjestyksellä. Oppaan alussa on kuvattu yleisimmät ja parhaimmat käyttökohteet työnjohtajan GNSS-vastaanottimella tekemiin mittauksiin. Työnjohtajan siirtyminen mittauksiin nostaa työmaan laadunvarmistusta ja säästää kustannuksia mittauksessa, vaikka tarkoituksen ei ole korvata mittamiestä vaan tukea mittausorganisaatiota ja korostaa työnaikaista laadunvarmistusta sekä määräseurantaa.

6.3 Pohdinta

Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä ja sen tilaajana toimii Kreate Oy. Opinnäytetyö ja opas on tehty väylärakentamisen työnjohtajalle. Toiminnallisen opinnäytetyön kirjoittaminen tuki parhaiten tilaajan esittämää toivetta kehittämistyöstä. Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa opas Kreate Oy:n käyttöön työnjohdon uudesta roolista työmaamittausten suorittajana. Opinnäytetyön tavoitteena oli antaa syvälinen ymmärrys satelliittipaikannuksen toiminnasta, kuvata työnjohdolle kuuluvia asioita GNSS-vastaanottimien käyttäjänä sekä vastaanottimen myötä tulevia uusia työtehtäviä. Oppaan tavoitteena oli luoda ohjeistus GNSS-vastaanottimien käyttäjälle laitteen käyttöönotosta ja käytöstä sekä tuoda vastaanottimen hyötyjä esille. Opas on ensimmäinen versio aiheesta tilaajalle. Tutkimuskysymyksiä pohdimme yhdessä tilaajan kanssa, jotta saisin rakennettua oppaan sisällöstä tilaajan toiveita vastaavan. Valikoin edellä mainitut tutkimuskysymykset, sillä koen laitteen uuden käyttäjän haluavan vastaukset juuri näihin kysymyksiin ja tekemäni ohjeistus vie laitteen käyttäjää eteenpäin. Tutustuessani laitteiden toimintaan nämä kysymykset tulivat ensimmäisenä itselleni mieleen.

GNSS-vastaanottimen käyttökohteen olen rajannut infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia käyttäen. Opinnäytetyön kirjoittamista varten sain käyttööni kolme eri GNSS-vastaanotinta, joiden käyttöönottoa ja käyttöä on käyty läpi opinnäytetyössä sekä sen tuotoksessa. Teoreettinen viitekehys on työstetty käyttäen alan kirjallisuutta ja yleisiä inframallinnusvaatimuksia. Työ on käytännönläheinen tilaajan toiveiden mukaisesti. Satelliittipaikannusjärjestelmistä oli saatavilla tietoa organisaatioiden omilta sivuilta kohtalaisen hyvin. Tutkimustietoa GNSS-vastaanottimista on niukasti saatavilla, jonka vuoksi tutustuin aiheeseen opettelemalla laitteiden käytön. Löydetyt lähteet olivat pääsääntöisesti ulkomaalaisia. Olen pitänyt oppaan käytännönläheisenä, jotta työnjohtajan on helppo tukeutua oppaaseen vastaanotinta käyttäessä ja mittaustyötä suorittaessa.

Olen huomannut, että GNSS-vastaanottimen käytön osaamisessa on suuri hyöty työmaalla. Kesästä asti olen käyttänyt vastaanotinta työni ohessa, kun olemme tarvinneet heti tietoa esimerkiksi massanvaihdon laajuudesta tai työalueiden rajauksesta. GNSS-vastaanottimen käytön myötä työmaaorganisaatioon tulisi muutos siten, että mittamies ei olisi joka päivä työmaalla vaan työnjohtaja tukisi mittamiestä vastaanottimella tehdyin mittauksin.

Mittausorganisaation edustaja ei ole kaikilla työmailla koko ajan käytettävissä, minkä vuoksi GNSS-vastaanottimen hallitseminen hyödyttää työnjohtajaa.

Maanrakennustyömaiden digitalisoitumisen myötä työnjohdolla on lukuisia uusia välineitä työn tukena, jotka mahdollistavat työnjohtajan monipuolisemman roolin työmaalla. Uuden teknologian hyödyntäminen tuo usein kustannussäästöjä. Uuden teknologian hyödyntäminen vaatii ohjeistusta uusien välineiden käyttöönotossa ja näiden käytössä. GNSS-vastaanotinta käyttäneen Kreate Oy:n työnjohtajan mukaan vastaanottimen käytön myötä työnjohtaja on paremmin perillä työmaan sijainti- ja korkotiedoista.

Olen saavuttanut työn tarkoituksen tuottamalla oppaan Kreate Oy:n käyttöön. Oppaassa on selkeä ohjeistus eri vastaanottimien käytöstä ja se on sisällöllisesti informatiivis. Työn tavoitteen olen saavuttanut kirjoittamalla satelliittipaikannusjärjestelmistä sekä satelliittipaikannuksen toiminnasta sekä olen kuvailut työnjohtajan uusia työtehtäviä. Olen uppoutunut syväälle satelliittipaikannuksen toimintaan, mikä tukee laitteiden toimintaperiaatteen ymmärtämistä. Olen käsitellyt työssä satelliittipaikannuksen toimintaperiaatteita, satelliittipaikannusjärjestelmien historiaa ja tulevaisuuden ennusteita työnjohtajalle oleellisesta näkökulmasta, jotta työ pysyisi käytännönläheisenä.

Opinnäytetyöprosessi on kestänyt jo yli vuoden, koska työtä on kirjoitettu opintojen sekä työn ohella. Työn alussa kaikki satelliittipaikannuksesta oli uutta itselleni, jonka vuoksi aiheeseen tutustuminen vei aikaa. Aloitin työn teorian keräämisellä ja lähteiden etsimisellä. Tiedonhaku on ollut haastavaa, koska suomenkielisiä lähteitä on löytynyt vähän. Parhaiten luotettavaa tietoa löytyi Euroopan Unionin omasta siviilien satelliittipaikannusjärjestelmästä Galileo:sta, koska se ei ole sotilaallisella perustalla oleva järjestelmä. Sain kirjoittamista varten käyttööni InfraKit tiedonhallintajärjestelmän sekä Novatron X-Site Padin, jotka auttoivat käytännön opettelussa. Kiitoksia InfraKitille ja Novatronille ohjelman sekä vastaanottimen harjoitusjaksoista. Työmaalla olen käyttänyt työnantajan vastaanottimia Trimble SPS785 ja Emlid Reach RS2, joten olen tutustunut monen eri laitteen käyttöönottoon ja käyttöön. Olen työstänyt opinnäytetyötäni itsenäisesti ja tarvittaessa olen saanut ohjausta oppilaitoksen ja tilaajan ohjaajilta.

Opinnäytetyön aihe on keskeinen satelliittipaikannusten kehittymisen myötä ja aiheen hallitseminen auttaa työnjohtajaa työvälineiden digitalisoitumisessa. Opinnäytetyö ja opas tukevat työnjohtajan roolia työmaalla, parantamalla käsitystä rakenteiden korko- ja sijaintitiedoissa, työsuunnittelussa ja se luo itsevarmuutta työskentelyyn. GNSS-vastaanottimen käyttö säästää projektien kustannuksia mittauksen osalta vaikei vastaanottimen tarkoituksena ole korvata mittamiestä vaan lisätä yhteistyön määrää.

Lähteet

- BuildingSMART Finland. (11. 6 2018). *InfraBIM-nimikkeistö*. Haettu 9. huhtikuu 2021 osoitteesta Infra Rakentajakoodaus: <https://buildingsmart.fi/infrabim/infrabim-nimikkeisto/>
- BuildingSMART Finland. (2. toukokuu 2019). *Yleiset inframallivaatimukset YIV*. Haettu 7. huhtikuu 2021 osoitteesta https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/06/YIV-Yleiset-inframallivaatimukset-2019_1.pdf
- BuildingSMART Finland. (19. elokuu 2021). *InfraBIM-nimikkeistö*. Haettu 8. huhtiku 2021 osoitteesta https://buildingsmart.fi/wp-content/uploads/2019/08/InfraBIM_nimikkeist%C3%B6_v1_721.pdf
- Chen, J.;& Wang, B. (toukokuu 2018). Analysis of BDS Satellite Clock. *Analysis of BDS Satellite Clock*. Kiina. doi:10.1007/978-981-13-0005-9_50
- China Satellite Navigation Office. (2020). *Interface Control Document*. doi: China Satellite Navigation Office. Haettu 25. maaliskuu 2021 osoitteesta <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/ICD/202008/P020200803539206360377.pdf>
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. (24. kesäkuu 2019). EGNOS System. Euroopan Unioni. Noudettu osoitteesta <https://www.euspa.europa.eu/european-space/egnos/what-egnos>
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. (2019). *GSA GNSS Market Report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2878/031762
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. (2020, Toukokuu 20). *European Global Navigation Satellite Systems Agency*. Retrieved Maaliskuu 24, 2021, from GSA:n Egnos sivusto: <https://www.gsa.europa.eu/egnos/what-egnos>
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. (2020). *GNSS User Technology Report*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020. doi:10.2878/565013
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. (6. lokakuu 2020). *What is SBAS?* Noudettu osoitteesta GSA: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss/what-sbas>
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. (n.d.). Mapping & Surveying. Haettu 25. maaliskuu 2021 osoitteesta https://egnos-user-support.essp-sas.eu/new_egnos_ops/segments/mapping-surveying
- European Global Navigation Satellite Systems Agency. (17. maaliskuu 2021). *Galileo is the European global satellite-based navigation system*. Noudettu osoitteesta

<https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>

Ferrara, N. G. (2020). *Interference, Robustness, and Solutions for Multi-GNSS Receivers*.

Tampere, Pirkanmaa, Suomi: PunaMusta Oy – Yliopistopaino. Haettu 26. maaliskuu 2021 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1810-9>

Gakstatter, E. (4. helmikuu 2015). What Exactly Is GPS NMEA Data? (E. Gakstatter, Toim.)

GPS World. Haettu 29. maaliskuu 2021 osoitteesta <https://www.gpsworld.com/what-exactly-is-gps-nmea-data/>

GeoMax AG – Part of Hexagon. (2019). *Zenith40*. Haettu 7. huhtikuu 2021 osoitteesta

<https://geomax-positioning.com/products/gnss/zenith40>

GNSS.asia. (16 - 17. maaliskuu 2021). GNSS.asia Global Meetups Kick-off and Briefing.

GNSS.asia Global Meetups Kick-off and Briefing. Munich: GNSS.asia. Haettu 15. huhtikuu 2021 osoitteesta GNSS.asia Glopal Meetups at the Munich Satellite Navigation Summit:

https://us02web.zoom.us/rec/play/NBka0WT7excGQmNfMaEQOQnES5HCgvTsn3avwpZ1e8NWWKix5sMknuFQdjG0gWYo6eawVAC5eM78r8zv.Y1K54pPPp4GMEtdM?continueMode=true&_x_zm_rtaid=UIZ2s1J8RcyMVyvNbg8r7A.1618467206040.5a94570504dbbcf0ff4e2b8565aad36c&_x_zm_rhtaid=673

GNSS.asia Editorial Team. (31. maaliskuu 2021). *Flashback to the GNSS.asia Global Meetups at the Munich Satellite Navigation Summit*. (G. E. Munich, Toimittaja) Haettu 15.

huhtikuu 2021 osoitteesta <https://gnss.asia/blog/flashback-to-the-gnss-asia-global-meetups-at-the-munich-satellite-navigation-summit/>

GSA European GNSS Agency. (14. huhtikuu 2021). *Celebrating 2 billion Galileo enabled smartphones*. Haettu 15. huhtikuu 2021 osoitteesta

<https://www.youtube.com/watch?v=k9xYN5jlynM>

Helsingin kaupunki. (11. kesäkuu 2021). *Helsingin kaupunki*. Haettu 9. elokuu 2021 osoitteesta 11.06.2021 11:38

Hemisphere GNSS. (n.d.). *Hemisphere GNSS Online Technical Reference Manual*. Noudettu osoitteesta <https://www.hemispheregnss.com/technical-resource-manual/>

HEXAGON | NovAtel®. (n.d.). *The Calculations Underlying GNSS. An Introduction to GNSS Episode One*. (S. Dixon, Toim.) Haettu 25. maaliskuu 2021 osoitteesta

<https://novatel.com/tech-talk/an-introduction-to-gnss/an-intro-to-gnss-webinars>

- IAC. (2020). *Open Service Performance Standard (OS PS)*. Venäjä, 141070, Moskovan alue, Korolev, st. Pionerskaya, 4.: IAC. Haettu 1. marraskuu 2021 osoitteesta <https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/documents.php>
- Keränen, M. (26. maaliskuu 2021). EU:n satelliitti oli törmätä romuun. (M. Keränen, Toim.) *Tekniikka & Talous*(11). Haettu 7. huhtikuu 2021 osoitteesta <https://www.tekniikkatalous.fi/>
- Maanmittauslaitos. (n.d.). (Maanmittauslaitos, Tuottaja) Haettu 24. maaliskuu 2021 osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>
- National Coordination Office. (9. elokuu 2021). *GPS.gov*. Haettu 1. marraskuu 2021 osoitteesta Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>
- NovAtel Inc. (2015). *An Introduction to GNSS*(Second Edition). Calgary, Alberta, Canada: NovAtel Inc. Haettu 24. Maaliskuu 2021 osoitteesta <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss>
- Novatron. (n.d.-a). *TYÖKALU MITTAAJILLE JA TYÖNJOHDOLLE*. Haettu 1. marraskuu 2021 osoitteesta <https://novatron.fi/koneohjaus/tyomaanhallinta/xsite-pad/>
- Novatron Oy. (elokuu 2019). *Xsite® PAD Työkalu mittaajille & työnjohdolle*. Haettu 1. huhtikuu 2021 osoitteesta <https://novatron.fi/wp-content/uploads/2019/09/Novatron-Xsite-PADROVER-2019.pdf>
- Poutanen, M. (2016). *Satelliittipaikannus*. Helsinki, Suomi: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa® ry. Haettu 24.3.2021. Maaliskuu 2021
- Rakennustieto. (2/2020). *InfraRYL* (Osat/vuosik. 2/2020, 21.12.2020). Helsinki, Uusimaa, Suomi: Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennustieto Oy. Haettu 29. maaliskuu 2021 osoitteesta https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2020_2
- Susnik, A. (2013). *GPS for Weather and Soace Weather Studies*. Haettu 16. huhtikuu 2021 osoitteesta <http://www.ung.si/~library/doktorati/fizika/16Susnik.pdf>
- Tiehallinto. (28. marraskuu 2008). *Tienrakentamisen mittaussuunnitelman laatimisohe*. Haettu 9. huhtikuu 2021 osoitteesta Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus: https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2000024-v-08tienrakent_mittaussuunn_laot.pdf
- Trimble. (2021). *SPS785 GNSS Smart Antenna*. Haettu 1. marraskuu 2021 osoitteesta <https://heavyindustry.trimble.com/en/products/sps785-gnss-smart-antenna>

Väylävirasto. (4. huhtikuu 2017). *Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot*. Haettu 9. huhtikuu 2021 osoitteesta Liikenneviraston ohjeita 18/2017:
https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-18_maastotiedot_mittausohje_web.pdf

Liite 1: InfraRYL sijainti- ja korkeuspoikkeamavaatimukset.

InfraRYL sijainti - ja korkeuspoikkeamavaatimukset (Rakennustieto, 2/2020), (BuildingSMART Finland, 2019, s. 119)

Rakennusosa	Sijainti- ja korkeusasemapoikkeamavaatimukset	Työkonejärjestelmälä vaadittava tarkkuus	GNSS-vastaanottimella mitattava (Kyllä/Ei)
10000 Maa-, Pohja- ja kalliorakenteet			
InfraRYL 18111.4 Valmis maapenger	x, y: - 0 + 150 mm z: - 100 + 0 mm		Kyllä
20000 Päällys- ja pintarakenteet			
InfraBIM Väylärakenteen alapinta	x, y: - 0 + 200 mm z: - 100 + 0 mm Louhepatjan alla z: - 200 + 0 mm	x, y: ± 100 mm z: ± 30 mm	Kyllä
InfraRYL 21110.4.1 Valmis suodatinkerros kiviaineksista	x, y: - 0 + 150 mm z: ± 40 mm	x, y: ± 100 mm z: ± 30 mm	Kyllä
InfraRyl 21210.4 Valmis jakava kerros	x, y: - 0 + 150 mm z: ± 30 mm	x, y: ± 100 mm z: ± 30 mm	Kyllä
InfraRyl 21310.4 Valmis sitomaton kantava kerros	x, y: - 0 + 150 mm z: ± 20 mm	x, y: ± 50 mm z: ± 20 mm	Ei
InfraRyl 214311.4 Valmis betonikivipäällyste	x, y: ± 20 mm z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 214321.4 Valmis luonnonkivilaatoitus	x, y: ± 20 mm z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 214322.4 Valmis noppakiveys	x, y: ± 20 mm z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 214323.4 Valmis nupukiveys	x, y: ± 20 mm z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 214324.4 Valmis kenttäkiveys	x, y: ± 20 mm z: ± 20 mm		Ei

InfraRyl 21440.4 Valmis sitomaton kulutuskerros	x, y: - 0 + 150 mm z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 22110.4 Valmis reunatukirakenne	x, y: ± 50 mm z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 22120.4 Valmis hulevesikoururakenne	Kulkuväylillä: x, y: ± 50 mm Luiskissa: x, y: ± 150 mm		Kyllä
InfraRyl 22140.4 Valmis luonnonkivimuuri	x, y: ± 50 mm z: ± 50 mm		Kyllä
InfraRyl 22142.4 Valmis kivikorimuuri	x, y: ± 50 mm z: ± 50 mm		Kyllä
InfraRyl 22143.4 Valmis betonikivimuuri	x, y: ± 50 mm z: ± 50 mm		Kyllä
InfraRyl 22200.4 Valmis luiskaverhous ja eroosiosuojaus	z: ± 50 mm		Kyllä
InfraRyl 22222.4 Valmis lohkokiviverhous	z: ± 50 mm		Kyllä
InfraRyl 22291.4 Valmis molskotti-, seveli-, murske- ja soraverhous	z: ± 100		Kyllä
30000 Järjestelmät			
InfraRyl 31100.4 Valmis jätevesiviemäri	x, y: ± 100 mm z: ± 100 mm (Viettoviemärien korkeuspoikkeamat poislukien, koska riippuvainen kaltevuudesta)		Kyllä
InfraRyl 31200.4 Valmis hulevesiviemäri	x, y: ± 100 mm z: ± 100 mm		Kyllä

	(Viehto viemärien korkeuspoikkeamat pois lukien, koska riippuvainen kaltevuudesta)		
InfraRyl 31300.4 Valmis vesijohtorakenne	x, y: ± 100 mm z: ± 100 mm		Kyllä
InfraRyl 32110.4 Valmis tiekaide	x, y: ± 50 mm z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 32114.4 Valmis betonikaide	Kiinteä: x, y: ± 50 mm Siirrettävä: x, y: ± 100 mm		Kyllä
InfraRyl 32123.4 Valmis kulkuestekaiderakenne	x, y: ± 100 mm		Kyllä
InfraRyl 32610.4 Valmis liikennemerkkiasennus	x, y: Pylvään sallittu poikkeama pystysuorasta on enintään 20 mm 1,5 m:n korkeudella.		Kyllä
InfraRyl 32621.4 Valmis liikennevaloasennus	Ilmaisimen mitat ja sijainti poikkileikkauksesta x, y, z: ± 50 mm Etäisyydet pystyviivasta läsnäoloilmaisimien x, y, z: ± 500 mm kulkuilmaisimien x, y, z: ± 5000 mm Pylvään sijainnin toleranssi kadun pituussuunnassa ± 75 mm (annettuja vähimmäisetäisyyksiä ei saa alittaa)		Kyllä
InfraRyl 32630.4 Valmis tiemerkintä	Pituussuuntaisen merkinnän leveys x, y: - 5 + 20 mm Katko- ja varoitusviivan pituus x, y: - 50 + 150 mm Moduulin (viiva + väli) pituus x, y: ± 150 mm		Ei

InfraRyl 33114.4 Valmis televerkon maakaapeli-asennus	Yksittäisen kaapelin sijainti x, y, z: ± 100 mm		Kyllä
InfraRyl 33630.4 Valaisinpylvään sijainti ja korkeus	Valaisimen asennuskorkeus z: ± 100 mm		Kyllä
44000 Perustus- ja tukirakenteet			
InfraRyl 44121.4 Valmis paikalla valettu siirtymälaatta	x, y: $- 20$ mm $+ 50$ mm z: \pm		Kyllä
InfraRyl 44211.4 Valmis tukimuuri	Sijaintiluokka 1: x, y, z: ± 10 mm Sijaintiluokka 2: x, y, z: ± 20 mm		Ei
InfraRyl 44240.4 Valmiit portaat	Askelman etureunan täytyy olla 1...5 mm alempana, kuin takareunan. Askelmien nousu ja leveys saa poiketa suunnitelma-asiakirjoista ± 4 mm. Peräkkäisien askelmien nousu saa poiketa toisistaan enintään 4 mm.		Ei
InfraRyl 45110.4 Valmis meluseinä	Pilarivälin poikkeama x, y: 20 mm Sijaintipoikkeama kohtisuoraa meluseinää vasten. Maanteillä: ± 100 mm, Rautateillä ± 50 mm ja kaupunkialueella ± 50 mm.		Ei