

GNSS-mittauskoulutuksen suunnittelu infrahankkeen työnjohtajille

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)
Kevät 2024
Tatu Huusko

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri (AMK)

Tekijä Tatu Huusko

Työn nimi GNSS-mittauskoulutuksen suunnittelu infrahankkeen työnjohtajille

Ohjaaja Elis Kivi (HAMK), Antti Värri (GRK Suomi Oy)

Tiivistelmä

Vuosi 2024

Opinnäytetyön tarkoituksena oli työnjohtajille suunnattu työmaalla järjestettävä koulutuksen kehittäminen. Koulutuksen aiheena olivat GNSS-mittaus ja -laitteiden käyttö. Työn taustana olivat kokemukset GNSS-mittauksesta ja laitteistoon liittyvän koulutuksen vajavaisuus.

Työssä käytiin läpi tasokoordinaatisto ja sen määräytyminen. Korkeusjärjestelmästä esiteltiin käytössä olevat järjestelmät ja korkeuden määräytyminen mittausteknisestä näkökulmasta. Työssä tutkittiin satelliittipaikannusta ja sen toimintaa. Lisäksi työssä käsiteltiin sijaintitiedon korjaustapoja ja niiden soveltumista tarkemittaukseen. Tarkemittausten tarkoitus ja kuinka ne pitäisi ottaa, esiteltiin työssä. Koneohjaus esiteltiin opinnäytetyössä lyhyesti, koska toimintaperiaatteeltaan se on samankaltainen GNSS-mittauksen kanssa. Työssä esiteltiin muutamia eri laitteisto- ja sovellusvaihtoehtoja työnjohtajan mittaustyön suorittamiseen. Näiden eri vaihtoehtojen välillä suoritettiin vertailu ja valittiin käytettävä välineistö tiettyjen kriteerien mukaisesti.

Koulutuksen suorittamistapa kerrottiin ja suoritustavan valinta perusteltiin. Sekä koulutuksen teoria että käytännön harjoitukset osoitettiin työssä, mutta varsinainen koulutusmateriaali jää vain toimeksiantajalle. Jotta tulee ilmi, minkälainen koulutus suunniteltiin, työssä esiteltiin otteita koulutuksen esityksestä ja sisällyksestä. Koulutus järjestettiin työmaalla ja sen tuloksia sekä palautteita käsiteltiin työssä. Lopuksi kerrottiin mahdollisia jatkokehitysideoita työlle, johtopäätöksiä koulutuksen suunnittelusta sekä esitettiin hankaluudet, joita työn tekemisessä ilmeni.

Työn tuloksena syntyvän koulutuksen on tarkoitus olla mahdollisimman tiivis ja helposti järjestettävissä, jotta se on mahdollista pitää työmaaolosuhteissa. Työn tilaajana on GRK Suomi Oy ja työn tuloksena yritykselle tulee käyttöön koulutusmateriaali PowerPoint-esityksenä ja käytännön harjoitteina.

Avainsanat GNSS-mittaus, lisäkoulutus, satelliittipaikannus, tarkemittaus

Sivut 36 sivua ja liitteitä 3 sivua

Construction and Civil Engineering, Bachelor of Engineering	Abstract
Author Tatu Huusko	Year 2024
Subject Planning of GNSS Measurement Training for Supervisors of Infrastructure Project	
Supervisors Elis Kivi (HAMK), Antti Värri (GRK Suomi Oy)	

The purpose of this thesis was to create on-site training for site supervisors. The training focused on taking the GNSS measurements and using the GNSS. Experiences with GNSS measurements and the inadequacy of the organized training for hardware were the background for this thesis.

The level coordinate system and how it is determined are discussed in the work. The height systems in use and the determination of them are presented from a technical perspective. Satellite positioning and its operation methods were researched in the work. Also, different correction methods for satellite positioning and their applicability to precise point positioning were shown. The purpose of these measurements and how they should be taken are presented in the thesis. A machine control system is introduced briefly because the operating principle is similar to the GNSS measurements. A few different hardware and application options for the foreman's measurement work are presented in the thesis. A comparison was made with these options, and according to certain criteria a selection was made for the equipment.

The method of training is explained, and there are reasons given for the selected option. The theory and the practical exercises of the training are presented, but the actual training material remained only with the client. To show what the training will be like examples of the training are presented in the work. The training was organized at the site, and its results and feedback were shown and analyzed in the thesis. Finally, possible further development ideas for the thesis, conclusions regarding the planning of the training, and difficulties encountered in doing the thesis are presented.

The training, which is the result of the thesis, is supposed to be concise and easily organized so that it is possible to arrange it on-site conditions. The client of the thesis was GRK Suomi Oy, and as a result of this thesis, the company gained training material in the form of a PowerPoint presentation and practical exercises.

Keywords	GNSS-measurement, additional training, satellite positioning, point measurement
Pages	36 pages and appendices 3 pages

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Koordinaatisto	2
2.1	Tasokoordinaatisto.....	2
2.2	Korkeusjärjestelmä	4
3	Satelliittipaikannus	6
3.1	Toimintaperiaate	6
3.2	Satelliittijärjestelmät	8
4	Tarkemittausten tarkoitus ja toteutus.....	11
5	Koneohjaus.....	16
6	Koulutuksen toteutusmuoto.....	17
7	Käytettävissä olevat laitteet ja ohjelmat.....	19
7.1	Laitteet.....	19
7.1.1	Novatron.....	19
7.1.2	Leica.....	19
7.1.3	Trimble	20
7.1.4	Emlid	21
7.2	Ohjelmat	21
7.2.1	Infrakit	21
7.2.2	Surpad.....	22
7.2.3	Emlid	24
7.3	Vertailu	24
7.4	Valittu laitteisto.....	26
8	Työnjohtajien mittauskoulutus	26
8.1	Teoria	26
8.2	Käytännön harjoitteet	28
9	Koulutus työmaalla ja palaute	30
9.1	Koulutustapahtuma	30
9.2	Palaute	30
10	Pohdinta ja työn jatkokehittäminen.....	31
	Lähteet	34

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1 Lieriöprojekzio.	4
Kuva 2 Korkeuden määrittäminen.	6
Kuva 3 Paikannuksen periaate.	7
Kuva 4 Verkko-RTK korjaus.	10
Kuva 5 Venttiilin mittauspisteet.	12
Kuva 6 T- haaran ja viettoviemärin mittauspiste.	13
Kuva 7 Novatron-laitteen näyttö.	17
Kuva 8 Infrakit näyttökuva.	22
Kuva 9 Surpad näyttökuva.	23
Kuva 10 Esimerkki diasta (teksti).	28
Kuva 11 Esimerkki diasta (kuva).	28
Kuva 12 Harjoituksen tehtävänanto.	29
Kuva 13 Ote pikaoppaasta.	31
Taulukko 1 Tasokoordinaatistot.	3
Taulukko 2 GNSS-järjestelmät.	8
Taulukko 3 Jakavan kerroksen toleranssit.	11
Taulukko 4 Sallitut toleranssit.	15
Taulukko 5 Tarkkuustoleranssit.	24

Taulukko 6 Mittauslaitteiden hinta (€).....	25
Taulukko 7 Lisenssien hinnat.....	25
Kaava 1 Korkeudenlaskenta.	5

Liitteet

Liite 1.	GNSS-vastaanottimet
----------	---------------------

1 Johdanto

Mittauslaitteiden hankinta työnjohtajille on viime vuosina tullut tiedon ja mielenkiinnon lisääntyessä sekä laitteiden hankintakustannusten madaltuessa houkuttelevammaksi. Tämä oli yksi syy, miksi toimeksiantajan ja työmaan johdon puolelta tuli toivetta, että aiheeseen liittyvän koulutuksen voisi suunnitella työmaiden käyttöön. Työn tilaajana on GRK Suomi Oy, joka on osa GRK-konsernia. Konserniin kuuluu myös sisaryhtiöt Ruotsissa ja Virossa. Yhtiö on perustettu alun perin 1980-luvulla ja nykymuotoinen toiminta alkoi vuonna 2010. Siitä lähtien yritys on laajentanut toimintaansa raide- ja asfalttitoimintaan. Yhtiön henkilöstömäärä on kasvanut jatkuvasti ja vuonna 2023 yhtiön toiminnassa oli mukana ensimmäistä kertaa yli tuhat henkilöä. Yhtiön arvoissa kannustetaan haastamaan itseään ja panostetaan työntekijöiden kouluttautumiseen. (GRK Suomi, 2023)

Työnjohtoharjoittelijana osallistuin hankkeeseen, jossa oli sovittu työnjohdon ja mittaushenkilön kanssa, että työnjohtajat ottavat tarkemittaukset louhittavan kallion pinnasta sekä louhitusta kalliosta. Kallion louhinta oli projektissa yksikkölaskutettava työ. Jakson alussa tämä työtehtävä ohjattiin minun hoidettavaksi, mutta koulutus laitteisiin ja ohjelmiin oli vajavaista. Koulutus oli lyhyt, noin 30 minuutin pikakoulutus, jotta pystyin työn suorittamaan. Lisäksi asiat näytettiin, kun ne saattoivat tulla mieleen tai ymmärsin sitä itse kysyä. Yksi osaongelma, mikä tuli vastaan henkilökohtaisesti, oli tarkkeiden nimeäminen. Tämä olisi myös helposti korjattavissa koulutuksen avulla tai yhteisillä sopimuksilla. Mittausvälineitä käyttäessäni tulin huomanneeksi, että niitä voi käyttää myös moniin muihin työmaan etenemiseen vaikuttaviin tehtäviin.

Työnjohtajien suorittamien mittauksien avulla mittahenkilöstö voi keskittyä tekemään enemmän työtä tietokoneella luovutusvaiheen asiakirjojen ja piirustusten kanssa. Tarkemittauksia ja muita työmaan toimintaa nopeuttavia ja hyödyttäviä tehtäviä työnjohtajat voivat tehdä laitteistolla, johon sisältyy tabletti, GNSS-vastaanotin ja sauva. Laitteisto kulkee mukana, kun työnjohtaja on työmaalla kiertämässä. Uskoakseni työnjohtajien parempi ymmärrys työmaan etenemisestä ja työntekijöiden avustaminen nopeuttaa ja parantaa työmaan toimintaa. Lisäksi rahallinen säästö on mahdollista, mikäli mittaushenkilöstöä ei tarvita työmaalla niin paljon kuin normaalisti. Alussa kustannuksia tuovat laitteiston ja ohjelmien hankinta, lisenssit sekä koulutukseen käytettävä työaika.

Työssä on tarkoitus esitellä paikantamiseen ja satelliittien toimintaan liittyvää teoretietoa sekä näiden hyödyntämistä työmaalla. Työn käsitteisiin liittyvät olennaisesti satelliittinavigointijärjestelmä (GNSS), eri koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät, tarkemittaukset ja reaaliaikainen kinemaattinen mittaus (RTK). Nämä selitetään työn eri kappaleissa. Työssä

esitetään vaihtoehtoisia laitteita ja ohjelmia työnjohtajien mittauksien suorittamiseen. Koulutuksen sisältö on suunniteltu omien kokemusten perusteella, jotka tulivat itselleni vastaan laitetta käyttäessä ja virheitä tehdessäni.

Mittauksien ja muiden mahdollisien käyttökohteiden tullessa vastaan, koin, että jonkinlainen työmaalla suoritettava strukturoitu koulutuspaketti työnjohtajien suorittamiin mittauksiin olisi hyvä olla. Koulutus on rajattu siten, että se kattaa laitteiden peruskäytön ja yleisimpien tarkkeiden ottaminen on työnjohtajien toimesta mahdollista. Myös yleisimmät ongelmatilanteet tullaan koulutuksessa käymään läpi. Koulutus johtaa käytön ja käyttökokemuksen paranemiseen ja lisää yksilön sekä mahdollisesti työyhteisön kehitystä. Tässä opinnäytetyössä kehitetään työnjohtajille infrahankkeisiin käyttökelpoinen koulutuspaketti mittaamiseen, tarkastamiseen ja GNSS-mittalaitteiden käyttöön. Koulutus on rakennettu tietyn laite- ja ohjelmakombinaation ympärille, mutta soveltuvin osin voidaan käyttää myös muissa kokonaisuuksissa. Valinta tehdään ennalta määrättyjen kriteerien mukaisesti, mutta työssä esitetään käyttökelpoisia vaihtoehtoja mittauksien suorittamiseen. Työstä tehdään teorian ja käytännön harjoitteet yhdistävä koulutus GRK Suomi Oy:lle ja toimeksiantajan kanssa on sovittu, että lopullinen koulutusmateriaali rajataan ainoastaan yrityksen käytettäväksi. Työssä esitetään esimerkkejä koulutuksessa käytettävästä materiaalista, jotta ilmenee, minkälainen koulutus on kyseessä.

2 Koordinaatisto

2.1 Tasokoordinaatisto

Suomessa käytetään yleisesti ETRS89 koordinaattijärjestelmää, joka on yhteneväinen maailmanlaajuisen ITRS-järjestelmän kanssa. Käytettävä koordinaattijärjestelmä realisoidaan mittaamalla kiintopisteitä, joille määritetään koordinaatit käytettävän järjestelmän mukaisessa koordinaatistossa. Kiintopisteet, jotka kuuluvat ylimpään luokkaan määrittävät koordinaatiston, johon mittauksia ja tihennyksiä voidaan tulevaisuudessa suorittaa. Ylimmän luokan koordinaattiverkkoa kutsutaan koordinaattijärjestelmän realisaatioksi. Suomessa käytössä oleva realisaatio on EUREF-FIN-koordinaatisto. (Häkli ym., 2009, s. 11)

Taulukossa 1 näytetään Suomessa käytössä olevat tasokoordinaatistot ja niiden ominaisuuksia. Taulukosta ilmenee kaistanleveydet, itäkoordinaatin arvot keskimeridiaanilla ja sen sijainti, vertausellipsoidi, projektio sekä käytettävä mittakaava. TM35FIN ja yhtenäiskoordinaatisto (ykj) on keskimeridiaanin suhteen projisoitu koko maan kattavaan projektiokaistaan. ETRS-GK ja kartastokoordinaattijärjestelmä (kkj), joka oli käytössä ennen

ETRS89-koordinaatiston käyttöönottoa, on projisoitu useampiin kaistoihin. (Häkli ym., 2009, s. 5)

Taulukko 1 Tasokoordinaatistot. (Häkli ym., 2009)

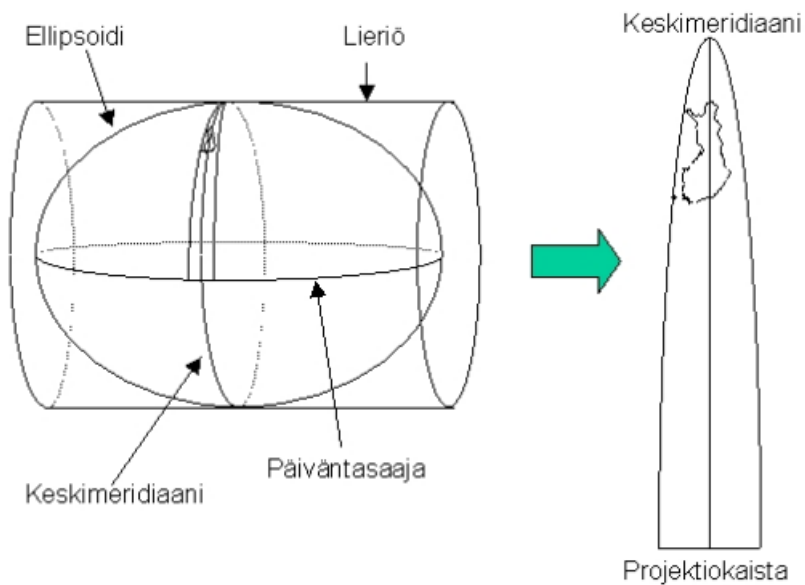
	ETRS-TM35FIN	ETRS-GKn	ykj	kkj
Karttaprojektio	UTM	Gauss-Krüger	Gauss-Krüger	Gauss-Krüger
Datumi	ETRS89	ETRS89	kkj	kkj
Vertausellipsoidi	GRS80	GRS80	Hayford	Hayford
Keskimeridiaani(t)	27°	19°, 20°... 31°	27°	18°, 21°, 24°, 27°, 30°, 33°
Meridiaanikaistoja	1	13	1	6
Kaistanleveys (suhteessa keskimeridiaaniin)	n. 13° (-8°... +5°)	Tarkoituksen mukainen	n. 13° (-8°...+5°)	3° (±1.5°)
Itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla	500 000m	n 500 000m, missä <i>n</i> on keskimeridiaanin asteluku	3 500 000m	n 500 000m, missä <i>n</i> on kaistannumero (0...5)
Mittakaava keskimerdiaanilla	0.9996	1.0	1.0	1.0

Koordinaatistot jaetaan yleisesti kaksiulotteisiin eli tasokoordinaatistoihin (x, y) ja kolmiulotteisiin koordinaatistoihin (x, y, z). Kolmiulotteiset koordinaatistot ovat joko suorakulmaisia tai ellipsoidisia. Suorakulmaisia koordinaatistoja käytetään yleisesti matemaattisissa toiminnoissa, mutta ellipsoidiset koordinaatistot soveltuvat paremmin mittaustoimintaan ja paikan määrittämiseen. (Brunnila, 2012, s. 15)

Ellipsoidisessa koordinaatistossa kohteen sijainti määritellään suhteessa origoon, joka sijaitsee Maan pyörähdysellipsoidin keskipisteessä. Leveyskulma mitataan ekvaattorilta pohjoiseen tai etelään ja pituuskulma Greenwichin nollameridiaanilta itään tai länteen. Saadut tulokset esitetään kulmamittoina eli asteina, minuutteina ja sekunteina tai asteina ja minuutteina tai pelkkinä asteina. (Brunnila, 2012, s. 15)

Kun kaksiulotteiselle karttatasolle halutaan kolmiulotteiset koordinaatit, tulee kolmiulotteiset koordinaatit projisoida. Pallon muotoisen kappaleen esittäminen tasolla tuottaa kuitenkin mittojen vääristymiä. Esimerkiksi etäisyydet ja kulmat saattavat joko venyä tai supistua. Projisoinnilla saadaan siirretyksi kolmiulotteinen kappale tasolle, minkä tuloksena syntyy kappaleen tasokuva, projektio. Mahdollisia karttaprojektioita ovat: taso-, kartio- tai lieriöprojektioita. Näistä Suomessa on yleisesti käytössä lieriöprojektio, joka on havainnollistettu kuvassa 1, jossa koko Suomi on projisoitu yhdelle kaistalle. On huomionarvoista, että mittavirhe kasvaa, mitä kauemmaksi lieriön ja ellipsoidin kosketuspinnasta liikutaan. Ilmiön vaikutusta voidaan kuitenkin vähentää jakamalla alue kapeammiksi projektiokaistoiksi. (Brunnila, 2012, ss. 18–20)

Kuva 1 Lieriöprojektiio. (Brunnila, 2012)



2.2 Korkeusjärjestelmä

Suomessa on tällä hetkellä yleisesti käytössä N2000-korkeusjärjestelmä, mutta käytettävää korkeusjärjestelmää tulee saattaa ajan tasalle aika-ajoin. Tähän on syynä muun muassa Suomen alueella jääkauden jäämassojen aiheuttaman maankuoren painuminen ja jääkauden päättymisen jälkeen maankuoren pyrkiminen palautumaan aiempaan muotoonsa maankohoamisen johdosta. Aiemmin Suomessa käytettiin NN-, N43- ja N60-korkeusjärjestelmiä. NN-korkeusjärjestelmän tarkkavaaitus suoritettiin vuosina 1892–1910 ja pääosa vaaituslinjoista kulki rautateiden mukaisesti. Järjestelmän nollapiste sijaitsi Katajanokan sillan vesiasteikon nollapisteessä. Kyseistä järjestelmää käytetään vielä muutamissa kunnissa ja muun muassa vesioikeudessa. (Häkli ym., 2009, ss. 31–32)

N43-korkeusjärjestelmä luotiin alun perin Geodeettisen laitoksen toimesta väliaikaiseksi järjestelmäksi ja lähtökorkeus on Pasilassa olevassa pisteessä. Järjestelmä ei huomioi maan kohoamista tai kallistumista ja uudet pisteet pakotettiin vanhoihin jo laskettuihin korkeuksiin. N60-korkeusjärjestelmän tarkkavaaituksen linjat saatiin valmiiksi suurimmassa osassa maata vuonna 1955. Ennen järjestelmän käyttöä suoritettiin vaaitusverkon tasoitus vuonna 1960, minkä avulla korkeuserot ja maankohoamisen suuruus saatiin selville eri kiintopisteillä. Vaaitut linjat kulkivat suurimmalta osin rautateitä pitkin. Lapissa tarkkavaaituksia tehtiin vuosina 1953–1972. Vuosina 1973–1975 suoritettiin Lapin alueella uusintavaaituksia ja näiden perusteella pystyttiin määrittämään maankohoamislukuja ja saadut korkeusarvot

sisällytettiin N60-järjestelmään. Molempia korkeusjärjestelmiä käytetään edelleen joissain kaupungeissa ja kunnissa. (Häkli ym., 2009, s. 32)

N2000-korkeusjärjestelmä on tarkkavaaituksen tulos, joka suoritettiin vuosien 1978–2006 välisenä aikana. Järjestelmän lähtötaso on NAP (Normaal Amsterdams Peil), joka on Hollannissa sijaitseva kiintopiste. Lähtöarvo määritettiin pohjoismaisena yhteistyönä Itämeren ympäri tehdyllä tasoituksella. Tässä tasoituksessa on vaaitushavaintoja useasta eri maasta Euroopasta. (Häkli ym., 2009, ss. 32–33)

Korkeuden määrittäminen on heikoiten määritetty satelliittipaikannuksen osa. Tähän on syynä satelliittien sijaitseminen suoraan yläpuolellamme ja mittauksen tarkkuuteen vaikuttaa esimerkiksi ilmakehä. Tarkkuus verrattuna tasokoordinaatteihin voi olla jopa puolitoista tai kaksi kertaa huonompi. Tarkkuutta voidaan kuitenkin parantaa yhdistettyjen satelliittien määrällä. Tarkkuuden parantaminen mahdollistetaan mittauksen sijainnilla aukealla paikalla ja pitkällä yhtämittaisilla havaintojaksoilla. Parhaimmillaan päästään jopa alle senttimetrin korkeustarkkuuteen. Satelliittipaikannuksen antama korkeus on mittauspisteen ja maan vertausellipsoidin välinen etäisyys ja se on geometrinen suure. Tämä tulee kuitenkin muuntaa geoidimallin avulla normaali- tai ortometriseksi korkeudeksi. Tämä tehdään, koska mitattu etäisyys vertailuellipsoidista ei kerro etäisyyttä merenpintaan tai mihin suuntaan vesi virtaa kahden eri korkeudella olevan pisteen välillä. (Bilker-Koivula, 2008, ss. 1–2)

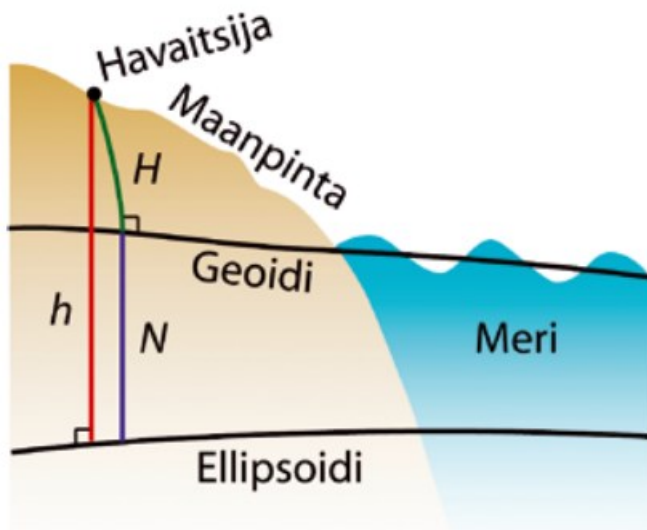
Geoidiksi kutsutaan muotoa, joka muodostuu valtameren lepotilanteessa. Se on jatkuva pinta, joka jatkuu mantereiden ali ja yhdistää valtameret. Käytettäviin korkeusjärjestelmiin on määritetty teoreettinen keskivedenpinta. Tämän vuoksi esimerkiksi N2000-korkeutta voidaan kutsua geoidipinnaksi. Korkeusjärjestelmä luodaan vaaituksella ja sen avulla voidaan GNSS-paikannusta hyödyntää kaavan 1, missä N = tunnettu geoidinkorkeus, eli geoidipinnan etäisyys ellipsoidista, h = GNSS-laitteella mitattu ellipsoidinen korkeus ja H = vaaituksella saatu korkeusjärjestelmän, esimerkiksi N2000, korkeus keskivedenpinnasta (Bilker-Koivula, 2008, s. 2) mukaisesti:

Kaava 1 Korkeudenlaskenta. (Bilker-Koivula, 2008)

$$H_{\text{vaaitus}} = h_{\text{GPS}} - N_{\text{geoidimalli}}$$

Korkeuden määrittäminen havainnollistetaan esimerkinomaisesti kuvassa 2.

Kuva 2 Korkeuden määrittäminen. (Bilker-Koivula, 2008)



Geoidimallit ovat usein integroituina GNSS-laitteisiin tai -ohjelmiin ja käyttäjä voi halutessaan vaihtaa eri korkeusjärjestelmien tai projisoitujen tasokoordinaattien välillä. Myös muuntaminen eri koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien välillä on mahdollista. Tällöin tulee ottaa huomioon mahdolliset muunnosvirheet, jotka vaihtelevat korkeusjärjestelmien osalta muutamien senttimetrien luokasta tasokoordinaattien jopa metrin luokkaan. (Bilker-Koivula, 2008, ss. 2–3; Häkli ym., 2009, ss. 33, 44–46)

3 Satelliittipaikannus

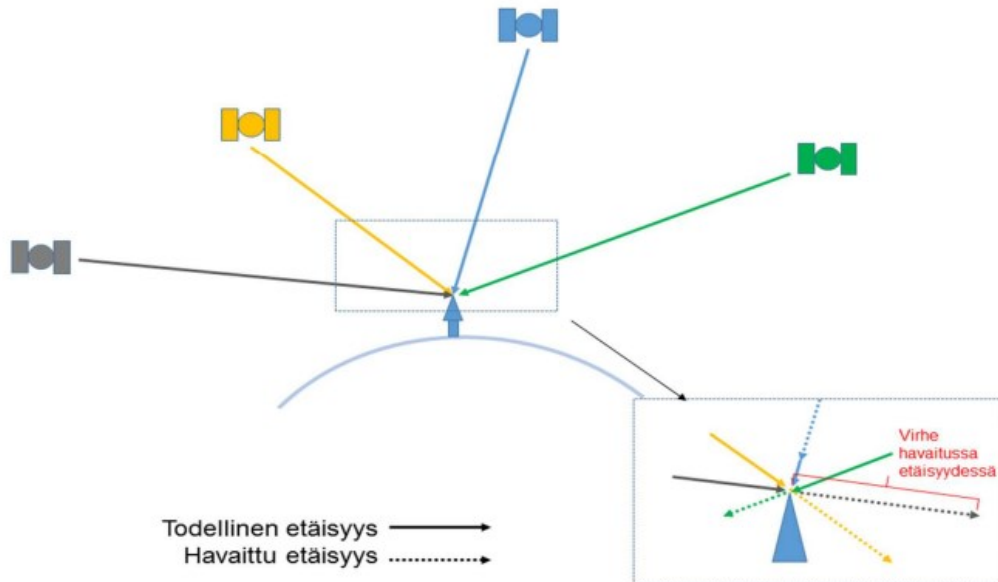
3.1 Toimintaperiaate

Satelliittipaikannuksen perustana on tarkka ajansiirto ja satelliittien varustaminen tarkoilla atomikelloilla. Niillä satelliitit lähettävät maahan aikaisignaaleja sekä dataa, mitkä kertovat esimerkiksi kyseisen satelliitin sijainnin. (Maanmittauslaitos, n.d. -a)

Tästä signaalista saatavan tiedon sekä käytettävän vastaanottimen antaman vastaanottoajan erotus muutetaan etäisyysmittaukseksi. Tämä tapahtuu kertomalla signaalien etenemisnopeudella, joka on valonnopeus. Satelliitit, jotka kuuluvat samaan järjestelmään, ovat keskenään samassa ajassa, mutta vastaanottimien kertoma vastaanottoaika ei ole vertailukelpoinen suoraan. Syynä tähän on yleisesti vastaanottimien kelloissa käytetyt halvemmat kvartsikiteet. Ratkaisuna käytetään useamman satelliitin antamaa informaatiota ja dataa. Neljä satelliittia ja niiden paikkatiedot ovat minimimäärä, jotta aikaongelma voidaan

ratkaista. (Maanmittauslaitos, n.d. -a) Tämä useamman satelliitin tuottama etäisyysvirheen korjaus on esitetty kuvassa 3.

Kuva 3 Paikannuksen periaate. (Maanmittauslaitos, n.d. -b)



PRN-koodin avulla voidaan korjata paikantimien kellojen epätarkkuutta. PRN-koodi on jono ykkösiä ja nollia, mitkä on tarkasti määritelty algoritmeilla. Satelliitin ja paikantimen aikaero havaitaan, kun niiden samanlaista ja samaan aikaan tuottamaa koodia verrataan satelliitista saatuun koodiin. Tällä tavoin toteutettuna korjaus on yksinkertainen ja halpa toteuttaa, mutta toinen tapa korjata paikantimen kellon epätarkkuutta on käyttää apuna kantoaaltoa. Tämä tapa edellyttää kuitenkin tuotettujen virheiden kumoamista erillisiltä tarkkailuasemilta saatuja mittauksia hyödyntäen. Tämä on syynä siihen, että kantoaallon käyttäminen on kallista ja monimutkaista. (Koivisto, 2010, ss. 13–14)

GNSS-paikannukseen liittyy kuitenkin monia tekijöitä, jotka voivat aiheuttaa epätarkkuutta. Esimerkiksi ilmakehän ionosfääri ja troposfääri voivat vääristää signaalin kulkua. Lisäksi sekä heijastukset että signaalin vaimentuminen voivat aiheuttaa virhearvoja paikannukseen. (Maanmittauslaitos, n.d. -b) Myös aurinkomyrskyt, ympäröivät korkeat rakennukset tai muut rakenteet (puut) voivat häiritä GNSS-paikannusta.

Erityisesti korkeat rakennukset ja muut rakenteet aiheuttavat signaalin monitieheijastumista. Tämä tarkoittaa sitä, että signaali tulee vastaanottoon heijastuen jonkin pinnan kautta. Tämä yksistään voi aiheuttaa jopa 10–20 metrin vääristymän sijaintiin tai signaali voi kadota kokonaan. (Koivisto, 2010, s. 15)

Koiviston mukaan (2010, ss. 14–15) Miettinen (2002) mainitsee, että kello- ja ratavirheiden lähes täydelliseen poistamiseen pyritään esimerkiksi edellä mainittujen PRN-koodin avulla, mutta tästä huolimatta kelloihin jää pieniä virheitä. Nämä virheet voivat vaikuttaa mittaustarkkuuteen noin kahden metrin verran. Myös satelliittien ennalta suunnitellut kiertoradat joutuvat vaikutuksien alaisiksi, muun muassa planeettojen ja aurinkotuulien vuoksi. Myös näiden ratamuutoksien vaikutukset paikantamisen tarkkuuteen ovat noin metrin verran.

Satelliittien keskinäinen geometria vaikuttavaa paikannuksen tarkkuuteen. Satelliittien välisen tilavuuden ja sen käänteisarvon avulla saadaan DOP-luku, joka kertoo satelliittigeometrian vaikutusta paikantamiseen. Paikannustarkkuus on sitä parempi, mitä tasaisemmin satelliitit ovat jakautuneet avaruudessa. (Koivisto, 2010, s. 15)

3.2 Satelliittijärjestelmät

Satelliittipaikannukseen viitataan nykyään lyhenteellä GNSS (Global Navigation Satellite System), vaikka paikannusta tarjoavia tahoja on useita. Näitä ovat esimerkiksi yhdysvaltalainen GPS, eurooppalainen Galileo, venäläinen GLONASS ja kiinalainen BeiDou. Näistä ainoastaan Galileo suunniteltiin alun perin siviilien käyttöön, muut sotilaskäyttöön. (Maanmittauslaitos, n.d. -a) Eri satelliittijärjestelmät, käyttöönottovuodet, järjestelmään kuuluvien satelliittien määrä sekä sijainnin että ajan tarkkuudet esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2 GNSS-järjestelmät. (Traficom, 2020)

	Galileo	GPS	GLONASS	BeiDou
Hallinnoija	EU	USA	Venäjä	Kiina
Peruspalveluiden käyttöönotto	Käytössä vuodesta 2016	Käytössä vuodesta 1995	Käytössä vuodesta 1993	Käyttöönotto 2020
Satelliittien lukumäärä	24+6	31+1	23+4	30
Sijaintitiedon tarkkuus	- Peruspalvelu 1-2 m - Tarkkuuspalvelu (HAS) 0,2 m	2-5 m	10 m	10 m
Aikapalvelun tarkkuus	< 15 ns	< 20 ns	-	< 20 ns

Kuten edellä olevasta taulukosta voidaan havaita, satelliittipaikannusta käyttämällä sijainnin tarkkuus on metriluokkaa, mutta rakentamisessa vaaditaan senttimetrin tarkkuutta. Tällöin tarvitaan korjaustietoa, mitä tuottavat esimerkiksi kaupalliset toimijat. Tähän korjaustapaan

kuuluvat muun muassa staattinen GPS-mittaus, RTK-mittaus ja verkko-RTK-menetelmä. (Koivisto, 2010, ss. 16–17)

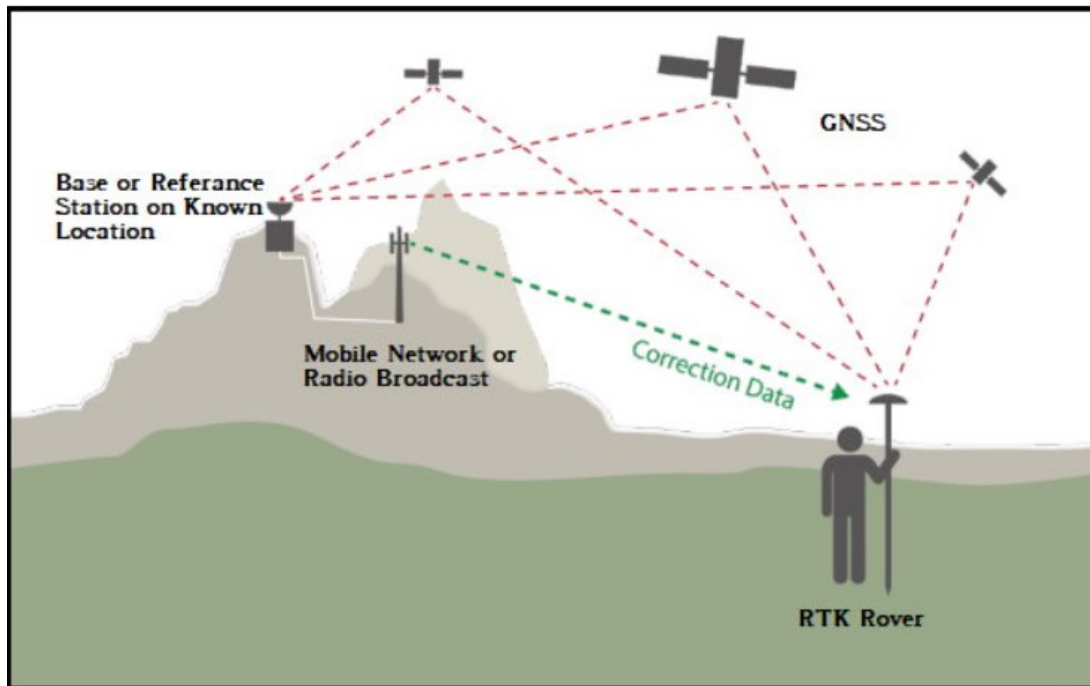
GPS-mittaukset ovat tavanomaisesti staattista, nopeaa staattista tai dynaamista mittauksia, mitkä vaativat jälkikäsitteilyä, jos halutaan tarkemittauksen senttimetrin tarkkuutta. GPS-tukiasemien avulla voidaan liikkuvilla vastaanottimien avulla päästä noin metrin tarkkuuteen. Tämän vuoksi se soveltuu vain tarkkojen kiintopisteiden mittaamiseen. Reaaliaikainen kinemaattinen (RTK) mittaus tunnetaan toiselta nimeltään kantoaaltofaasieroteknologiana, joka on nykyisin yleinen GPS-mittausmenetelmä. Menetelmällä voidaan reaaliajassa saavuttaa senttimetrin tarkkuus. (Toivonen & Ylikoski, 2013, ss. 4–6)

RTK-mittauksessa käytetään hyödyksi satelliittisignaalien vaihehavaintoja, mikä tarkoittaa sitä, että havaintosuure on kantoaallon vaiheen mittaus. Tässä mittaustavassa ratkaistaan tietyn havaintojakson alkuhetkellä satelliitin ja antennin väliin jäävien kokonaisten kantoaaltojen aallonpituudet. Näitä kutsutaan alkutuntemattomiksi. Näiden alkutuntemattomien ratkaisua kokonaisluvuksi kutsutaan FIX-ratkaisuksi. Se on lukittu tiettyyn satelliittiin. Mikäli yhteys katkeaa tai tilalle tulee uusi satelliitti, tulee vastaanottimen ratkaista alkutuntematon uudelleen. RTK-mittauksessa apuna käytetään tunnetulla pisteellä olevaa vertailuvastaanotinta eli tukiasemaa. Yhteys tähän tukiasemaan voidaan saada esimerkiksi radiosignaalin tai Wi-Fi-verkon avulla. Tukiasema lähettää omat mitatut vaihehavainnot käyttäjän käytössä olevaan vastaanottimeen, joka yhdistää nämä tiedot ja omat havainnot erotushavainnoiksi. Erotushavainnoinnilla voidaan vähentää tai jopa poistaa kokonaan satelliittimittauksiin liittyviä virheitä. Tämän menetelmän haittapuolena on mitta alueen rajallisuus, joka on käytännöllisesti katsoen alle 20 kilometrin etäisyydellä tukiasemasta. (Toivonen & Ylikoski, 2013, ss. 6–7)

Verkko-RTK-mittauksessa toimintaperiaate on sama kuin RTK-mittauksessa, mutta käyttäjän ei tarvitse hankkia tai asentaa tukiasemia erikseen. Menetelmässä yksittäiset tunnetussa sijainnissa olevat tukiasemat muodostavat kokonaisen virtuaalisen verkon ja sen avulla lasketaan verkkoratkaisu. GNSS-vastaanotin saa korjaussignaalin yleensä Wi-Fi-verkon avulla. Verkkoratkaisulla voidaan ionosfääriin ja troposfääriin liittyvät virheet korjata paremmin. Menetelmän hyödyksi tulee, että mitta alue on huomattavasti suurempi kuin perinteisellä RTK-mittauksella, koska käyttäjän ei tarvitse huolehtia etäisyydestä tukiasemaan. Lisäksi menetelmä tuo kustannussäästöjä laitteiden ja kustannustehokkuuden osalta, mutta käyttölisenssit kaupallisten toimijoiden tukiasemaverkostoon voivat olla hintavia. Suomessa kaupallisia palveluita tarjoaa esimerkiksi Geotrim Oy (VRSnet.fi). Maanmittauslaitoksella on myös oma tukiasemaverkosto käytössä, joka käyttää hyödyksi FinnRef- ja FINPOS-verkkoa. (Toivonen & Ylikoski, 2013, ss. 9–11; Maanmittauslaitos, n.d. -

b) Kuvassa 4 on osoitettu verkko-RTK:n toiminta yhden tukiaseman avulla. Käyttäjän GNSS-vastaanotin saa dataverkon avulla sijainnin korjaustiedon tukiasemasta, jonka sijainti tiedetään.

Kuva 4 Verkko-RTK korjaus. (Datagnss, 2023)



Muita mahdollisia tarkkuuden parannuskeinoja ovat satelliittien signaalien C/A-koodin avulla tehtävä paikanmääritys. Tällä voidaan päästä noin 10 metrin tarkkuuteen. Toinen mahdollinen tapa on käyttää apuna tunnetun pisteen koordinaatteja, joilla määritetään korjaukset satelliittien etäisyyksiin. Tarkkuus on 0,5–5 metrin luokassa. (Koivisto, 2010, s. 16)

Korjaussignaali on perinteisesti siirretty vastaanottimen ja tukiaseman välillä joko radio- tai GSM-liikenteen avulla. Radioliikenteen huonoksi puoleksi muodostuu liikenteen yksisuuntaisuus sekä kuuluvuusongelmat erityisesti peitteisessä maastossa. GSM-liikenne on aiemmin tuotettu GPRS- ja UMTS-yhteyksillä, mutta uudemmat vastaanottimet kykenevät nykyaikaisempaan LTE-teknologiaan. GSM-liikenteen avulla siirretty korjaussignaali tuo lieviä kustannusten nousua dataliikenteen siirtokustannusten muodossa. (Koivisto, 2010, s. 16; (Toivonen & Ylikoski, 2013, ss. 28–29)

4 Tarkemittausten tarkoitus ja toteutus

Satelliittipaikannusta käyttämällä sijainnin tarkkuudessa on mahdollista saavuttaa senttimetritarkkuus. Tämän takia niiden tuottamaa paikannusta ja navigointia voidaan hyödyntää työmaalla monessa eri työtehtävässä. Erilaiset tarkemittaukset kuuluvat laadunvarmistukseen sekä laadun seurantaan. Suoritetuilla mittauksilla voidaan todentaa rakentamisen olevan suunnitelmien mukaista ja laadultaan oikeanlaista. Kesken työvaiheen otettujen mittausten avulla voidaan mahdollisiin virheisiin ja ongelmiin puuttua ja ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin näiden korjaamiseksi. Käytettävät menetelmät ja vaatimukset ovat kirjattuna laatusuunnitelmiin ja työselostuksiin. Yleisesti käytettävät toleranssivaatimukset ovat saatavilla Rakennustiedon ylläpitämästä InfraRYL -teoksesta. Taulukossa 3 esitetään esimerkiksi jakavan kerroksen yläpinnan sallitut sijaintipoikkeamat.

Taulukko 3 Jakavan kerroksen toleranssit. (Rakennustieto, 2023)

Ominaisuus	Sallittu poikkeama
Rakenteen yläpinnan tasosijainti	
Poikkeama vaakasuunnassa	– 0 / + 150 mm
Em. poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	100 mm
Rakenteen yläpinnan korkeustaso	
Yksittäinen poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan ¹⁾	± 30 mm
Yksittäisen poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	30 mm
Keskiarvon poikkeama kohtisuoraan pintaa vastaan	± 15 mm
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	± 1,0 %-yksikköä
Tasaisuus 3 m:n oikolaudalla mitattuna	20 mm
¹⁾ Tähtäysmerkkien ja mittakepin avulla mitataan poikkeama kohtisuoraan pintaa vasten, mutta takymetrimittauksessa poikkeama pystysuuntaan.	

Näitä mittauksia otetaan työmailla laatusuunnitelmien mukaan joko mittahenkilön tekemänä tai kaivinkoneen koneohjauksella. Rakennusurakan yleisissä sopimusehdoissa on mainittu, että urakoitsijan tulee esittää rakennuttajalle ja tilaajalle käytettävät laadunvarmistustoimenpiteet, mitkä on hyväksytty sopimusasiakirjoissa. Lisäksi urakoitsijan

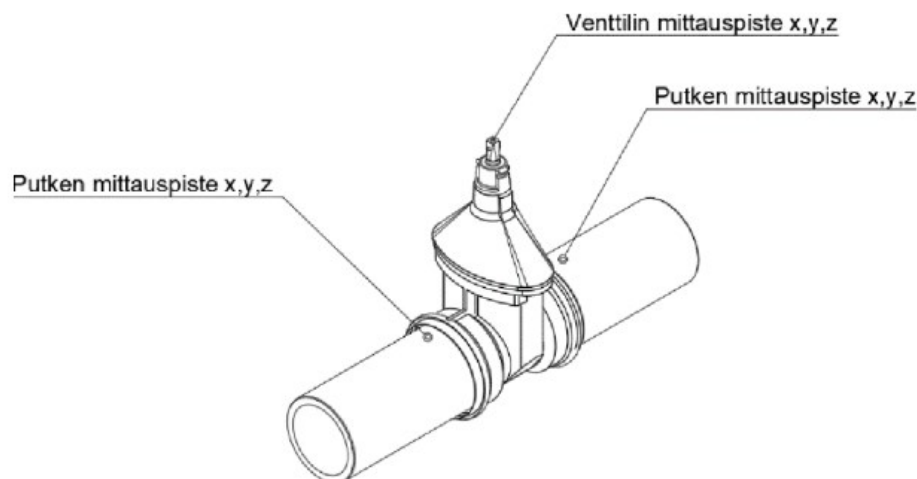
tulee tehdä laadunvalvontaa esimerkiksi erilaisilla mittauksilla, joihin tarkemittaukset kuuluvat. (YSE, 1998. s. 5)

Liukkonen (2014, ss. 14–15) mainitsee omassa tekstissään, että hänen esimerkkihankkeessaan tarkemittaukset suoritettiin takymetrimittauksin. Näihin kuuluivat muun muassa maanleikkaus, jakavakerros, asfaltti, putkilinjat, kaivot, eristykset ja suojaputket. Hän myös mainitsee, että näin toimiessaan urakoitsija voi osoittaa laatuvaatimusten täyttyneen. Mittahenkilöllä oli käytössään pintamalli rakenteista, jota mittauksen suorittaja pystyi käyttämään apuna rakenteiden x, y, z -koordinaattien määrittämiseen. Rakenteiden oikeellisuuden näki heti.

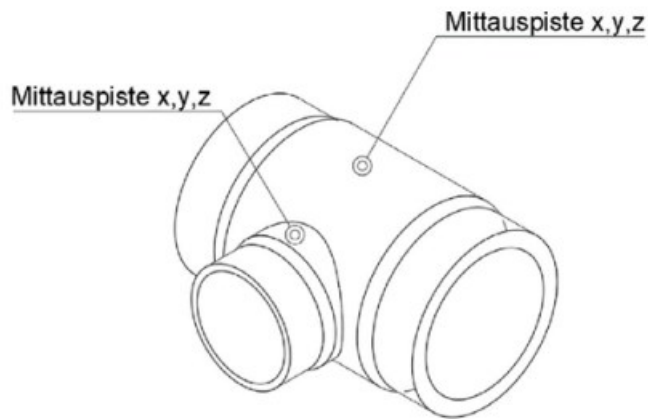
Toleranssien osalta esimerkiksi Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä (2017, s. 3) mainitsee ohjeessaan, että vesihuollon osalta keskivirhe voi olla enintään +/- 50 millimetriä pois lukien viettoviemärin osalta keskivirhe voi olla maksimissaan +/- 20 millimetriä. Maksimivirheeksi mainitaan samassa teoksessa 100 millimetriä, mutta tämä ei koske viettoviemäreitä. Lisäksi kerrotaan, että tarkkuusvaatimus perustuu suhteelliseen pistevirheeseen ja koskee sisäistä tarkkuutta. Mittauksen lähimpiä lähtöpisteitä käytetään tarkastelukantana. Mittaustiheydeksi mainitaan 20 metriä.

Vesilaitosyhdistys (2021, s. 46) havainnollistaa kuvilla, mistä kohdin tulisi vesijohdon venttiiliin ja T-haaran tarkkeet ottaa. Mittaus tulee suorittaa suoraan venttiiliin päältä sekä vesijohdon taitepisteistä. Lisäksi ohjeessa esitetään viettoviemäreiden mittauskohta, joka sijaitsee putken vesijuoksussa. Nämä vesihuollon mittauskohdat on esitetty kuvissa 5 ja 6.

Kuva 5 Venttiilin mittauspisteet. (Vesilaitosyhdistys, 2021)



Kuva 6 T- haaran ja viettoviemärin mittauspiste. (Vesilaitosyhdistys, 2021)



HUOM! Viettoviemäreiden mittauspiste vesijuoksussa.

Lisäksi Vesihuoltoyhdistys mainitsee mittaustarkkuudeksi kaikkien koordinaattien osalta +/- 2 senttimetriä (Vesihuoltoyhdistys, s. 39)

Sähkö-, puhelin ja tietotekniikkasuojaputkien, valaisinjalustojen ja kaapelikaivojen tarkkeiden osalta mainitaan toleranssien osalta seuraavaa: taajama-alueella niin x- kuin y-koordinaatti tulee ilmoittaa vähintään +/- 10 senttimetrin tarkkuudella ja taajaman ulkopuolella +/- 50 senttimetrin tarkkuudella. Korkeustiedon osalta tulee ilmoittaa joko z-koordinaatti tai suojaputken sijainnin syvyys +/- 10 senttimetrin tarkkuudella. (Traficom, 2023, s. 25)

Myös lainsäädäntö asettaa vaatimuksia maahan asennettavien johtojen kartoituksesta. Asetuksessa mainitaan kartoituksesta seuraavaa:

Kunta voi kadunpidon järjestämiseksi sekä katualueen ja sen ylä- ja alapuolisten johtojen, laitteiden ja rakenteiden tilojen yhteen sovittamiseksi pitää kartastoa tai tiedostoa, johon johtojen, laitteiden ja rakennelmien omistajan tai haltijan tulee toimittaa tarpeelliset tiedot. (Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999, § 45)

Vantaan kaupungin johtokartoitusohjeen (2017, ss. 1–2) mukaan maanalaisten johtojen sijaintimittauksen tarkoituksena on luoda johtokartta. Sen avulla saadaan selville esimerkiksi haarakappaleiden sijainnit. Tulevaisuudessa tällä tiedolla voidaan tarpeettomat kaivutyöt minimoida. Myös kaivuvaurioiden minimointi on johtokartan yksi tehtävä. Lisäksi samassa ohjeessa mainitaan, että kaupunki huolehtii katujen ja muiden yleisten alueiden

rakentamisesta ja johtokartan päivittämisen vuoksi näille alueille asennettavien maanalaisten johtojen sijaintitiedot tulisi toimittaa kaupungille.

Tarkkeiden ottamisessa GNSS-laitteilla tulee ottaa huomioon muutamia mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Käyttäjän tulee huolehtia, siitä että vastaanottimen edessä on tarpeeksi tilaa, jotta laite on mahdollista saada FIX-tilaan. Yleisesti suositetaan 15–20 asteen näkymää horisonttiin nähden. Tähän kuitenkin vaikuttavat käytettävissä olevien satelliittien sijainnit suhteessa vastaanottimeen. Myös aiemmin kappaleessa 3 mainitut asiat, kuten korkeat rakennukset, puut ja muut yläpuolella olevat rakenteet voivat aiheuttaa häiriöitä sijaintitarkkuuteen. Näissä tilanteissa erityisesti korkeuskoordinaatti on altis virhearvoilla. Käyttäjän tulee huomioida se, ettei vastaanottimen sauva ole liian kallistetussa asennossa. Tätä on kuitenkin mahdollista korjata vastaanottimen kallistuksen kompensatiolla. Vastaanottimen virhetoleranssi kasvaa kuitenkin suuremmaksi, mitä isompi kallistus sauvassa on. (Datagnss, 2023)

Korjatulla paikannustiedolla, satelliittien tuottamaa paikannusta ja navigointia voidaan hyödyntää työmaalla monessa eri työtehtävässä. Huolimatta mahdollisista häiriöistä ja virhearvoista, tarkemittaukset ovat tärkeitä ja kriittisiä mittauksia työmaalla. Tarkemittauksilla voidaan varmistaa tehtyjen rakenteiden oikeellisuus esimerkiksi väylärakenteista tai voidaan tarkistaa valaisinjalustan korkeusasema. Lisäksi oikeanlaisella kalustolla ja ohjelmilla voidaan tarkistaa ja merkitä mittatietoja maastoon. Näin toimien voidaan kentällä suorittaa työnsuunnittelua. (Novatron, n.d. -b)

GNSS-laitteen avulla työnjohtaja voi ottaa samoja tarkemittauksia kuin varsinainen mittahenkilö. Poikkeuksena tarkkeet, joiden ottamisessa takymetrimittauksesta on hyötyä tai tarkkuuden toleranssi on niin pieni, ettei GNSS-mittaus ole tähän soveltuva. Taulukkoon 4 on koottuna Yleisten inframallivaatimusten mukaisia rakennekerrosten toleransseja tarkepeisteille, joita tulee noudattaa niin työkonelijärjestelmän kuin mittauslaitteiden osalta. Näiden lisäksi tilaaja voi esittää urakka-asiakirjoissa omat vaatimukset tarkemittausten toleranssirajoille tai sallituille laitteille, joilla mittauksia voidaan tehdä.

Taulukko 4 Sallitut toleranssit. (Buildingsmart, 2021)

<u>Tie- ja katurakenteet</u>					
<u>Rakenne-kerros</u>	<u>Mittausväli [m]</u>	<u>InfraRYL mittavaatimukset</u>		<u>Työkonejärjestelmältä vaadittava tarkkuus</u>	
		XY [mm]	Z [mm]	XY [mm]	Z [mm]
Kantava kerros	20	-0 ... + 150	+ 20 ... - 20	+ 50 ... - 50	+ 20 ... - 20
Jakava kerros	20	-0 ... + 150	+ 30 ... - 30	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
Suodatin kerros	20	-0 ... + 150	+ 40 ... - 40	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
Väylärakenteen alapinta	20	-0 ... + 200	+ 0 ... -100 Louhepatjan alla + 0 ... -200	+ 100 ... - 100	+ 30 ... - 30
*Hankekohtaisesti sovittu mittausmenetelmä tai korkeustoleranssi					

Yleisesti infratyömailla tilaajalle luovutetaan niin sanottu toteumamalli. Tällä tarkoitetaan rakenteen tai järjestelmän toteutusta kyseisessä hankkeessa. Malli yhdistää mittahenkilöiden mittaukset ja koneohjauksella saadut tiedot. Sisältö kootaan yleensä InfraBIM-nimikkeistön mukaan. Malli sisältää tehdyn urakan toteumat, tarkemittaukset, toteumamittaukset ja kartoitustiedot. Jokainen rakennepinta on itsenäinen rakennusosan toteumamalli, ja nämä muodostavat keskenään kohteen toteumamallin. Malli voidaan tehdä päivittämällä rakennussuunnitelmia tai toteutusmalleja. Mallin tarkoituksena on todentaa geometrinen laatu ja vaatimustenmukaisuus. Lisäksi se toimii tilaajan lähtötilanteena kunnossapitoprosessissa. Toteumamallin sisältöön kuuluvat esimerkiksi maaleikkaukset, täytöt, reunatuet, eri järjestelmät ja pintarakenteet. (Building SMART Finland, 2021, s. 11, 132)

Mikäli työmaalla on käytössään vielä erillinen Näin rakennettu -kuva (NR-kuva), voidaan tarkemittausten avulla päivittää NR-kuvaa, joka luovutetaan tilaajalle. NR-kuvassa esitetään mahdolliset suunnitelmapoikkeavuudet esimerkiksi vesi- ja viemärijohtoverkostoon liittyen.

Tilaaajalle hyväksyttäväksi menevät tarkemittaukset lähetetään halutussa muodossa, esimerkiksi dgn-, dwg- tai gt-formaatissa. Lisäksi tilaajalla voi olla vaatimuksena se, että tarkkeet koodataan tilaajan esittämän koodaustavan mukaisesti.

5 Koneohjaus

Koneohjauksella kaivinkoneen kuljettaja pystyy tekemään esimerkiksi vesihuoltokanaalin kaivuutyön valmiin mallin mukaan. Koneohjausta varten kaivinkoneessa tulee olla asentoanturit, joilla lasketaan esimerkiksi kauhan asento, GNSS-antennit, lähetin-vastaanotin tiedonkulkua varten, näyttölaite tiedonlukuja varten, GNSS-vastaanottimet sekä tietokone. Kuljettajan tulisi olla myös koulutettu järjestelmän käyttöön. Yleisesti käytössä oleva järjestelmä on RTK-GNSS, jota voidaan parantaa työmaalla sijaitsevan tukiaseman avulla. Tämä tukiasema pienentää toleranssin noin viiden senttimetrin sisälle. Aineistot voidaan siirtää joko ulkoisella laitteella (muistitikku) tai nykyään pilvipalveluiden avulla. Työmailla voi olla käytössä oma pilvipalvelu, josta käyttäjät voivat ladata uusimmat koneohjausmallit itse tai mallit voidaan päivittää automaattisesti. (Laukkanen, 2017) Koneohjauksen laitteita tarjoavat muun muassa Novatron, Leica sekä Trimble. Toimintaperiaate on kuitenkin kaikissa sama ja eroavaisuudet ilmenevät käyttöliittymissä.

Ennen työn aloitusta kuljettajan tulisi valita oikea malli tai tiedot, joita tarvitaan työntekoa varten. Näytöltä kuljettaja näkee oman sijainnin xy-koordinaatit sekä poikkileikkauksuvasta kauhan xyz-koordinaatit (sijainti sekä korkeus). Myös toteumapisteiden ottaminen onnistuu koneohjauksen avulla ja ne saadaan siirretyksi samalla tavalla kuin mallit. Otettuja toteumapisteitä voidaan myöhemmin tarkastella ja ne yksilöidään tunnuksella, minkä voi itse valita, järjestysnumerolla ja koneen tunnuksella. (Laukkanen, 2017) Kuvassa 7 havaitaan koneohjauksen näytön antamaa informaatiota ja näkymää, jossa näkyy muun muassa kauhan sijainti verrattuna tiettyyn rakennekerrokseen sekä kauhan sijainti.

Kuva 7 Novatron-laitteen näyttö. (Laukkanen, 2017)



6 Koulutuksen toteutusmuoto

Koulutuksen teoriaosuus ja harjoitteiden ohjeistus esitetään PowerPoint-esityksenä.

Harjoitteet tehdään teorialiedon ja informaation saamisen jälkeen. Hiidenmaan (2008, s. 14) mukaan Peltonen (1985) mainitsee omassa teoksessaan, että ihmisten oppiminen paranee, mitä enemmän aisteja ihmiset käyttävät opetuksen aikana. Oppimisen tehokkuus on 90 %:n asteella, kun oppimistilaisuuteen sisältyy tekemistä, puhumista, näkemistä ja kuulemistä. Tähän koulutukseen valitulla opetustavalla voidaan tuo lukema saavuttaa. Näkeminen ja kuuleminen tulevat teoriaopetuksen ja infon muodossa, tekeminen ja puhuminen käytännön harjoitteissa. Suurin tehokkuus teorian opetuksessa kuitenkin saavutetaan näkemällä ja kuulemalla (Hiidenmaa, ss. 14–15).

Teoriaosuudessa on huomioitava ulkoasun tärkeys: luettavuus, merkinnät ja niiden tarkkuus ja siisteys vaikuttavat oppimiseen sekä opetuksen arvostukseen. Perinteisesti on käytetty

luentokalvoja ja piirtoheitintä, mutta nämä on nykyisin korvattu PowerPoint-ohjelmalla, johon voidaan helposti lisätä esimerkiksi kuvia ja videoita. Diojen osalta tulee huomioida, että opetustilaisuuden vetäjä ja itse diat täydentävät toisiaan. Ydinasioiden esittäminen dioissa on tärkeää, sillä osa koulutukseen osallistuvista voi tehdä muistiinpanoja itselleen. Yleisesti neuvotaan, että 5–9 asiaa diaa kohden on riittävä ja sama määrä on myös riittävä lauseen sanojen määrälle. Diassa ei tulisi olla liikaa tai liian vähän informaatiota ja dian otsikon tulee liittyä itse tietoon, jota dialla on. Mikäli halutaan antaa mielikuvia tai visualisoida asioita kuvien käyttö on tehokas keino, mutta niiden tulee liittyä käsiteltävään asiaan. (Hiidenmaa, 2008, ss. 15–16; Helsingin yliopisto, nd.)

Esityksen tekstin tulee olla luettavaa ja selkeää. Kirjaisinjajeja tulisi olla korkeintaan kahta erilaista ja tehostamiseen tai korostukseen voidaan käyttää seuraavia keinoja: väritys, lihavointi tai kursivointi. (Helsingin yliopisto, nd.) Teoriaa käsittelevien diojen lukumäärä tässä koulutuksessa on 20 ja tähän lisäksi teoriaa tukevien kuvien muodossa noin 15 diaa ja käytännönharjoitteiden infodiat lisänä. Suunniteltu teoriakoulutuksen pituus on noin 20–30 minuuttia. Koulutus jaetaan karkeasti seuraavanlaisesti: johdanto, jossa käydään läpi koulutuksen aihe ja käsiteltävät asiat, varsinainen teksti, jossa aihe käsitellään (teoria) ja yhteenveto (harjoitukset), jossa kerrataan asiat.

PowerPoint-esityksessä tulee ottaa myös huomioon avainsanojen käyttö, termien ja käsitteiden määrittely, tekstin ymmärrettävyys ja yksinkertaisuus sekä kuvien antama havainnollistavuus. Koulutuksen pitäjän olisi hyvä olla tietoinen koulutukseen osallistuvien taustatiedoista ja miksi koulutusta järjestetään. Itse asian omaksumiseen vaikuttavat koulutuksen asiasisältö sekä osallistujien tietämys. (Hiidenmaa, 2008, ss. 21–25) Aiheen soveltamisvaiheen kouluttamisessa PowerPoint-esitys on käyttökelpoinen ja käytännön harjoitteita tukeva opetustapa.

Harjoitteet suoritetaan alkuinformaation jälkeen. Tässä kerrotaan harjoitusten sisältö ja tarkoitus. Harjoitteet pidetään rastikoulutuksena. Jokaiselle rastille varataan aikaa noin 10–15 minuuttia, riippuen osallistujien määrästä. Kouluttaja varmistaa, että koulutettava asia osataan käytännössä. Koulutuksen jälkeen voidaan koulutusmateriaali jakaa halukkaille osallistujille, jotta mahdollisten unohdusten takia asia voidaan helposti tarkistaa.

Teoriaosuuden tarkoituksena on opastaa käyttäjä käyttämään laitetta ja käyttäjä kykenee hyödyntämään näitä tietoja harjoituksissa. Myös mahdolliset ongelma- ja virhetilanteet käydään läpi niin teoriassa kuin käytännössä. Erityisesti harjoituksissa ilmenee mahdolliset ratkaisut näihin. Koulutuksen lähtökohtana oletetaan, että laitteiden alkuasetukset on tehty ja ohjelmat on asennettu laitteelle.

7 Käytettävissä olevat laitteet ja ohjelmat

7.1 Laitteet

Mittausta suorittavilla henkilöillä on mahdollisuus valita laite useasta eri vaihtoehdosta. Tähän työhön valittiin vertailuun muutamia eri laitevaihtoehtoja, joiden kriteereinä olivat kallistuksen tunnistus ja tarpeeksi pienet mittauksen toleranssit. Valmistajilta kysyttiin suosituksia ja yleisesti työmaiden käyttöön myydyt laitevaihtoehdot näillä kriteereillä.

7.1.1 Novatron

Novatron on suomalainen yritys, joka valmistaa koneohjausjärjestelmiä ja tarvittaessa tarjoaa koulutuksia työmaantarpeisiin (suunnittelu, mallinnus, koneohjaus ja laadunvarmistus).

Yrityksen tarjonnasta laitteeksi valittiin heidän valikoimastaan tarkoituksenmukaisin laitekokonaisuus: Novatron XSite Pad -tabletti ja XSite Rover -antenni. Novatronin mukaan XSite Pad toimii samalla tavalla kuin kaivinkoneiden koneohjaus, mutta se on suunniteltu erityisesti mittaaajien ja työnjohdon käyttöön. Tablettitietokonetta voidaan käyttää ilman GNSS-vastaanotinta, mutta sen käyttö on suositeltavaa, koska se parantaa laitteen tarkkuutta. Toiminnot ja ohjelmiston ulkoasu ovat samanlaiset kuin Novatronin valmistamassa koneohjausjärjestelmässä. Tämä voidaan kokea hyödyksi, sillä se helpottaa työnjohdon ja kuljettajien välistä keskustelua. Järjestelmän käyttöliittymänä toimii Windows. (Mäenpää, 2022, ss. 8–12.)

GNSS-vastaanotin on varustettu kallistuksen kompensatiolla, mikä tarkoittaa sitä, että laite huomioi kallistuksen ja ottaa tämän huomioon mittauksessa. Antenni kykenee muodostaa WiFi-verkon, jolla voidaan olla yhteydessä erilaisiin pilvipalveluihin sekä vastaanottaa korjaussignaaleja. Yhteys päätelaitteeseen muodostetaan Bluetooth-yhteyden avulla ja tällä tavoin vastaanottimen sijainti siirtyy päätelaitteeseen. Novatron tarjoaa myös laitteilleen etätuen, johon kuuluvat vianhaku-, korjaus- ja koulutustoimenpiteet. (Novatron, n.d.-a)

7.1.2 Leica

Leica Geosystems (Leica) omaa yli 200 vuoden kokemuksen maanmittauksen alalta ja pyrkii laadukkaisiin laitteisiin (Leica, n.d.-a). Alun perin sveitsiläinen Leica tarjoaa useita vaihtoehtoja mittauksien toteuttamiseen. Vaihtoehtona on esimerkiksi vastaanotin GS18 I, missä on mahdollista hyödyntää visuaalista paikannustekniikka, mikä perustuu GNSS:n,

IMU:n ja kameran yhdistelmään. Työmaalla otetuista kuvista suoritettava mittaustyö ja pisteiden ottaminen on yhtä tarkkaa kuin itse varsinaisella mittaustyöllä tuotettu data työmaalla. Lisäksi kuvista voidaan luoda pistepilviä (Leica, n.d. -b).

Tarkoituksenmukaisin GNSS-vastaanotin on kuitenkin Leican GS18T, jolla on samat ominaisuudet kuin Novatronin vastaavalla laitteella. Leica tarjoaa myös useita eri tabletti vaihtoehtoja mittaustyöhön, mutta tähän opinnäytetyöhön laitteeksi valittiin CS30 -tabletti, joka on kompakti ja riittävät ominaisuudet omaava tabletti. Tabletista kerrotaan, että se on käytettävissä kaikissa olosuhteissa ja omaa erinomaiset veden-, pölyn- ja iskunkestävyyden. Tässä laitteessa on myös käytössä Windows käyttöjärjestelmä. (Leica, n.d. -c; Leica, n.d. -d)

7.1.3 Trimble

Trimble on yhdysvaltalainen yritys, joka tuottaa laitteita yhdistämään fyysisen ja digitaalisen maailman. Laitteita yritys tuottaa niin maatalouteen, rakentamiseen, paikantamiseen kuin kuljetuksiin. Rakentamisessa yrityksen tuotteita voi kohdata niin suunnittelutoimistoissa kuin työmaalla. (Trimble, n.d. -b)

Trimblen laitteita myyvältä yritykseltä kysyttäessä kriteereihin sopivaa laitekokonaisuutta, vaihtoehtoja tuli erityisesti tablettien osalta paljon. Vastaanottimeksi valittiin Trimblen R12i ProPoint ja tablettien yleisimmät valinnat asiakkaiden toimesta ovat seuraavat: TSC7, TSC5, TDC600 ja T7.

Trimblen R12i vastaanotin on varustettu kallistuksen kompensatiolla sekä muista laitteista poiketen valmistaja tarjoaa laitteelle xFill-toiminnon. Toiminnolla voidaan korvata normaali verkkoRTK-korjaus, mikäli esimerkiksi verkkoyhteydet ovat poissa käytöstä. Korjaus on käytettävissä niin kauan kuin yhteys MSS-satelliittiin on olemassa. xFill parantaa myös vastaanottimen yhteyttä satelliitteihin ympäristössä, jossa on esteitä, kuten siltojen tai korkeiden rakennusten läheisyydessä. Kuitenkin mittausvirhe kasvaa, mitä kauemmin normaali paikannuskorjaus on poissa käytöstä. Laite ei tallenna mittauspisteitä automaattisesti, mikäli mittausvirhe on käyttäjän asettamien toleranssien ulkopuolella. Mittausvirheen suuruus xFill-toiminnon aikana kasvaa seuraavalla tavalla: 10 mm/minuutissa horisontaalisesta ja 20 mm/minuutissa korkeuden suhteen. Tähän mittausvirheeseen tulee lisätä normaalitoiminnassa oleva mittausvirhe. (Trimble, n.d. -a)

7.1.4 Emlid

Yhdysvaltalainen Emlid valmistaa kolmea käyttökelpoista GNSS-vastaanotinta: Reach RS2+, Reach RS3 ja Reach RX. Tähän työhön valittiin laitteeksi RS3, koska tämä oli ainoa, missä oli kallistuksentunnistus. Lisäksi laitteessa on sisäänrakennettu 4G-antenni. (Emlid, n.d. -a)

Laitteen ominaisuudet ovat yhteneväiset muiden valmistajien laitteiden kanssa, mutta Emlidin laitteen päätelaitteena voidaan käyttää mittajaan omaa puhelinta tai muuta laitetta, jossa on mahdollisuus Bluetooth-yhteyteen.

7.2 Ohjelmat

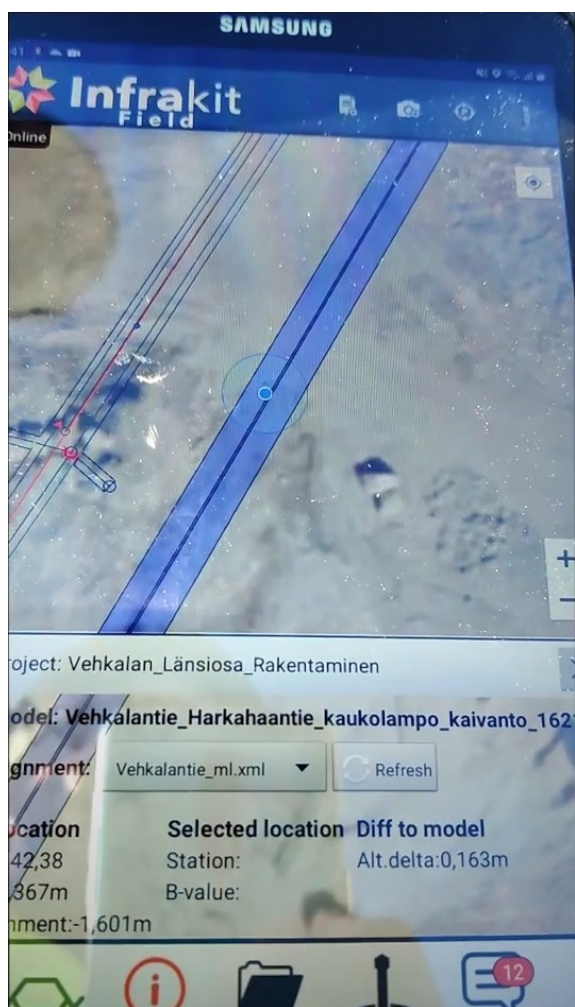
Ohjelmia on myös valittavana useita eri vaihtoehtoja. Tähän työhön valittiin ohjelmiksi muutamia vaihtoehtoja ja kriteereinä olivat: tiedostojen tuonti ja vienti, pisteiden ja linjojen merkintä sekä mallien hyödyntäminen mittauksessa ja laadunvarmistuksessa.

Laittevalmistajien omien ohjelmien lisäksi tarjolla on kaupallisia versioita, joilla mittaustyötä voidaan suorittaa. Työssä esitellään muutamia vaihtoehtoja, joista on kokemusta esimerkkihankkeissa. Kaksi näistä vaihtoehtoista on kolmannen osapuolen valmistamia ja yksi on laitevalmistajan oma. On tärkeää huomata, ettei muiden laitevalmistajien kuin Emlidin tuottamasta sovelluksesta ole kokemuspäistä dataa.

7.2.1 Infrakit

Infrakit on suomalainen ohjelmisto ja sitä voidaan hyödyntää koko työmaan seurantaan sekä laadunvarmistukseen. Infrakitin perustana on pilvipalvelu tyylinen tietojen ja tiedostojen jako. Kaikki siihen liitetyt tiedostot ovat jokaisen käyttäjän saatavilla, jos ovat palveluun kirjautuneet. Laadunvarmistusta voidaan suorittaa esimerkiksi tarkkailemalla kaivinkoneen käyttämää kaivuumallia ja tarkastamalla otettuja tarkepisteitä. Ohjelma toimii niin tietokoneella kuin mobiililaitteella. Mobiililaitteelle on oma erillinen mittaukseen tarkoitettu ohjelma, mutta toiminnot ovat suurimmalta osin samanlaisia kuin tietokoneversiossa. (Infrakit, n.d. -b) Kuvassa 8 havainnollistetaan, miten ladatun mallin ja mittalinjan avulla voidaan määritellä nykyisen pinnan korkeus kyseisessä sijainnissa suhteessa suunniteltuun.

Kuva 8 Infrakit näyttökuva. (Infrakit, n.d. -a)



Otetut tarkepisteet voidaan helposti tarkistaa heti työmaalla, jos tarke on sidottu mallin ja toleranssit on asetettu oikein. Ohjelmaan voidaan tuoda tiedostoja useassa eri formaatissa ja näitä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaivojen paikkojen määrittämisessä. Myös käytettävät mallit voidaan tuoda esimerkiksi XML-tiedostona ja pinnan tasoa sekä omaa sijaintia voidaan tarkastella työmaalla reaaliajassa. Pinta-alojen ja tilavuuksien mittaus onnistuu esimerkiksi tarkepisteiden avulla.

7.2.2 Surpad

Surpad on ukrainalainen mittaukseen käytettävä ohjelma, jota voi käyttää Android-laitteissa. Kuvassa 9 nähdään mahdollisia toimia, joita ohjelmalla voidaan suorittaa. Ohjelman käyttöliittymä nähdään myös kuvasta. Suomen kieli on valittavissa asetuksista.

Kuva 9 Surpad näyttökuva.



Ohjelma tukee muun muassa DXF-, CSV- ja DWG-tiedostojen tuontia ja vientiä. Tiedostojen avulla voidaan tuoda ohjelmaan haluttuja tasoja (vesihuolto, kaapelit, valaistus), jolloin laadunvarmistusta voidaan tehdä tarkemmin. Ohjelmassa on myös oma DWG-ominaisuus: ohjelmalla pystytään luomaan eri tasoja kartalle. Luotuja tasoja on mahdollista myös jäädäyttää, jos sille ilmenee tarvetta. Tarve voi olla esimerkiksi hulevesiviemäreiden tason jäädäyttäminen, jos halutaan tarkastella vain jätevesiviemäreitä. Pintamallit voidaan tuoda laitteeseen muun muassa XML-tiedostona ja ohjelmassa näkyy oma sijainti mallissa, sekä kertoo sen, tarvitseeko sillä kohdin pintaa leikata vai täyttää. Myös pisteiden ja linjojen piirto tietyn etäisyyden päähän esimerkiksi reunalinjasta on mahdollista. Ohjelmalla on mahdollista myös mitata etäisyyttä tiettyyn pisteeseen tai linjaan. (Surpad, n.d.)

Ohjelman aiempi versio ei tukenut kallistuvaa sauvaa. Tämä muutettiin ohjelman uusimmassa versiossa. Tarkepisteet voidaan nimetä ja laite muistaa käytetyt nimet. Samoja

nimiä voidaan käyttää myös tulevilla projekteilla. Mitatut pisteet voidaan lähettää sähköpostilla esimerkiksi CSV-tiedostona eteenpäin. Ohjelma lähettää pelkästään kyseisen aktiivisen projektin pisteet vastaanottajalle, vaikka laitteella olisi muitakin projekteja tallennettuna.

7.2.3 Emlid

Emlid Flow on Reachin valmistajan tekemä ohjelma, jota käytetään mittaustoimintoihin. Ohjelman ilmaisversiolla voidaan ottaa tarkepisteitä, tuoda/viedä CSV-, DXF-, ja SHP-tiedostoja. Vuosilisenssillä on mahdollista mitata linjoja ja tehdä sekä mitata linjan sivuttaissiirtoja, käyttää taustakarttoja, lisätä pisteiden koodeja ja käyttää WMS/WMTS tasojen. (Emlid, n.d. -b)

7.3 Vertailu

Ominaisuuksiltaan laitteissa ja ohjelmissa on jonkin verran eroja. Suurin eroavaisuus ilmenee kuitenkin hankintakustannuksissa. Yksi tärkeimmistä ominaisuusvertailun aiheista on mittauksen suorituskky ja tarkkuus. Kaikkien valikoitujen GNSS-vastaanottimien toleranssit ovat todella lähellä toisiaan. Emlid lupaa kuitenkin omalle laitteelleen toleranssin olevan 20 millimetriä 60 asteen kallistuksessa. Eri valmistajien laitteiden tarkemmat toleranssit ja alustusajat ovat listattuna taulukossa 5. Työn liitteessä 1 on GNSS-laitteiden tekniset tiedot, joista eroavaisuudet ja yhtäläisyydet löytyvät.

Taulukko 5 Tarkkuustoleranssit.

	Novatron	Leica	Trimble	Emlid
RTK-alustus aika	<10 s	4 s	2-8 s	5 s
Toleranssi (taso)	8 mm+1 ppm	8 mm+1 ppm	8 mm+0,5 ppm	7 mm+1 ppm
Toleranssi (korkeus)	15 mm+ 2ppm	15 mm+1 ppm	15 mm+0,5 ppm	14 mm+1 ppm
Kallistuksen vaikutus tarkkuuteen	RTK+2 cm (30°)	RTK+5 mm+ 0,4 mm/kallistusaste	RTK+5 mm+ 0,4 mm/kallistusaste	RTK+2 mm+ 0,3 mm/kallistusaste

Laitteiden osalta hyödyn ja hinnan vertailu on suuressa osassa. Kaikilla laitteilla pystytään tekemään tarvittavia asioita, joita työnjohtaja voi työmaalla tehdä. Taulukosta 6 ilmenee eri valmistajien laitteistojen hinta verrattuna Leican laitteeseen. Laitteiden hintojen keskiarvo on 18 000 euroa. Tarkat hinnat ovat tiedossa, mutta niitä ei julkaista mahdollisiin yrityssalaisuuksiin vedoten. Laitteiden hinnat on pyydetty tai hankittu yrityksen sivuilta talvella 2024. Emlidin osalta taulukossa on huomioitu tabletin ja sauvan hinnat, koska nämä tulee

hankkia erikseen. Tabletin ja sauvan osalta hintoina on käytetty tarkoituksenmukaisten laitteiden listahintoja. Käyttäjä voi kuitenkin hankkia välineet, jotka hän itse haluaa.

Taulukko 6 Mittauslaitteiden hinta (€).

	Novatron	Leica	Trimble	Emlid
GNSS-vastaanotin	-	-	-	-
Tabletti	-	-	-	700
Sauva	-	-	-	179
Vertailuhinta Leicaan	0,42x	x	0,85x	0,12x

Leicalla ja Emlidillä on tarjolla myös vastaanotin, joka ei tue kallistusta. Käytännön kokemus on kuitenkin osoittanut, että työ nopeutuu ja helpottuu, kun kallistusta on mahdollista käyttää. Trimblen laitteiston hinta riippuu valitusta maastotietokoneesta ja hinnaksi määräytyi keskiarvollinen hinta.

Kuten taulukosta 7 havaitaan, eri palveluntuottajien lisenssien ja ohjelmien summissa on jonkin verran hajontaa. Leican, Novatronin ja Trimblen lisenssien keskihinta on noin 500 euroa vuodessa. Näiden valmistajien lisenssien hintatiedot ovat tiedossa, mutta taulukkoon on valittu vertailuhintoja, koska hintatiedot eivät ole julkisia. Emlidin ja Surpadin lisenssien hinnat on taulukossa, koska ne ovat vapaasti saatavilla yritysten sivuilta. Leican laitteiden lisensseille on eri hinnat, mutta laitteet ovat kuitenkin käyttökelpoisia, vaikka vuosittaisia maksuja ei jatkossa suorittaisi. Laitteistojen päivitykset ja tekninen tuki kuuluvat kuitenkin vuosittaisiin maksuihin. Trimblen omaan Access-ohjelmistoon voidaan hankkia eri lisäohjelmistoja, jos asiakas haluaa. Näiden hintoja ei kuitenkaan tullut kyselyn aikana ilmi. Novatronin ja Leican laitehintoihin sisältyvät vuoden lisenssit, Trimblen ohjelmistoon kuuluu yhden vuoden ohjelmistotakuu ja Emlidin laitteeseen kuuluu kolmen kuukauden lisenssi EmlidFlow -ohjelmaan. Emlidin tuottamaa ohjelmaa voidaan myös käyttää ilman lisenssimaksua, mutta tällöin se soveltuu vain pisteiden tallentamiseen. Surpadin lisenssin hinta dollareissa ja on kertaluontoinen ja maksun jälkeen lisenssi on voimassa ikuisesti. Lisäksi voidaan hankkia 2 lisenssiä, jolloin hinta on yhteensä 530 dollaria. Emlidin vastaanottimen kanssa toimivia sovelluksia voi olla muitakin, mutta työhön valikoitui 2, joita on työmaalla käytetty onnistuneesti.

Taulukko 7 Lisenssien hinnat.

Novatron	Leica	Trimble	Emlid	Surpad
0,42y	y (maastotallennin)	1,61y	279 €	280 \$ (1 lisenssi)
	0,3y (vastaanotin)			530 \$ (2 lisenssiä)

Kaupallisissa ohjelmissa eroja tulee enemmän ja riippuen käyttötarkoituksesta käyttäjän tulisi miettiä, minkälaiseen käyttöön laite tulee. Esimerkkihankkeissa on huomattu, että Emlid Flow

sopii parhaiten tarkepisteiden ottamiseen, mutta Surpad soveltuu sitä paremmin muuhun työhön. Surpadin heikkous tulee tarkepisteiden lähettämisessä, ne pitää erikseen lähettää sähköpostilla. Esimerkiksi Emlidin ohjelmaan voidaan kirjautua tietokoneella ja pisteet saadaan sieltä reaaliajassa siirretyksi tietokoneelle ja siistittäväksi. Molemmissa sovelluksissa tiedostoja voidaan siirtää tietokoneesta tablettiin ja käyttää niitä hyödyksi mittauksissa ja muissa työtehtävissä. Infrakitin valinta pelkästään työnjohtajan käyttöön ei ole järkevää, ohjelman käyttömahdollisuuksien vuoksi ja jäisi täten vajaakäytölle. Jotta saataisiin paras teho ohjelmasta se edellyttäisi myös, että kaivinkoneet, mittahenkilö ja työnjohtaja käyttävät ohjelmaa.

7.4 Valittu laitteisto

Koulutuksen sisällön suunnittelun pohjana käytetään laitteiston osalta Emlidin tarjoamaa Reach RS3 -vastaanotinta ja Oukitelin valmistamaa tablettia. Syinä tähän ovat hankintahinta, mittaustoleranssi, laitekombinaatioiden ja sovellusten muokattavuus, soveltuvuus työmaakäyttöön ja laitteiden ominaisuuksien monipuolisuus. Oukitelin tabletti on valittu akunkeston ja muiden hyödyllisten ominaisuuksien vuoksi. Ohjelmiston ja lisenssin osalta valinta on Surpadin tuottama ohjelma. Tähän on syynä ohjelman ominaisuus mallien tarkasteluun, suomen kieli ja ohjelman sisältämien infotekstien monipuolisuus. Lisäksi elinikäinen lisenssi ohjelman käyttöön edulliseen hintaan vaikutti valintaan.

8 Työnjohtajien mittauskoulutus

8.1 Teoria

Teoriaosuudessa tutustutaan ohjelman käyttöliittymään ja läpikäydään tarvittavien asioiden sijainti ohjelmassa. Laitteet ja ohjelma esitellään lyhyesti sekä GNSS-vastaanottimen ja tabletin yhdistäminen käydään läpi. Myös laitteiden alkuasetusten tekeminen ja ohjelmien käyttökuntoon saattaminen käydään lyhyesti läpi. Tämä siitä syystä, että voidaan varmistua laitteiden oikeasta toiminnasta. Itse mittausten tekeminen käydään teoriassa läpi.

Teoriaopetuksen tarkoituksena on selventää, mihin tarkoitukseen ohjelman ominaisuuksia voidaan käyttää ja kuinka niitä käytetään. Teoriaopetuksessa käydään läpi seuraavia asioita:

- Laitteiden yhdistäminen toisiinsa.
- Projektin luominen ohjelmaan ja kansiorakenteen rakentaminen laitteelle.
- Mittasauvan todellisen ja ohjelman oletettaman sauvan pituuden tarkistus

- Yleisempien työjohtajien otettavien tarkemittausten ottaminen (vesijohto, kaapelisuoja-putket, maanpintojen/rakennekerrosten korot ja sijainnit ja valaisinjalustat).
- Tarkepisteiden nimeäminen ja esimerkit.
- DWG/DXF-tiedostojen tuonti ja hyödyntäminen Surpad-ohjelmassa.
- Kartta- ja piirtotasojen käyttö ohjelmassa.
- Mallien tuominen Surpad-ohjelmaan sekä mallien käyttäminen.
- CAD-ohjelman käyttäminen ohjelmassa.
 - Linjan piirto etäisyydelle x -toiminto.
 - Etäisyyden määrittäminen pisteestä tai linjasta.
- Tarkkeiden tuonti juureen ja lähettäminen sähköpostilla.
- Otettujen tarkkeiden muokkaaminen ja poistaminen.
- Pinta-alojen mittaaminen pisteiden avulla.

Käsiteltävät asiat käydään laajemmin läpi koulutuksessa. Joidenkin aiheiden kohdalla kerrotaan, miksi tietty asia on koulutuksessa otettu huomioon tai miksi se pitää tietää. Parhaiten asia tulee kuitenkin esille käytännön harjoituksissa. Ohessa muutamia esimerkkejä:

Laitteiden yhdistäminen tulisi tapahtua automaattisesti, jos laitteita ei käytetä muuhun tarkoitukseen tai muissa laitteissa. (Ohjeistus, kuinka laitteet yhdistetään)

Tarkepisteiden nimeämisen suhteen tulee projektikohtaisesti määritellä, minkälaista nimikkeistöä tai lyhenteitä tarkkeille käytetään. Taulukossa esitetty esimerkkejä, mitä lyhennettä tietyille tarketyypille voidaan käyttää. (Diassa esitetään kyseinen taulukko)

Tiedostojen tuonti tapahtuu helpoiten luomalla tabletille projektikohtaisen kansion, johon voi tuoda kaikki tarvittavat tiedostot tai luoda alikansioita, mikäli käyttäjä haluaa lajitella tiettyyn rakenteeseen liittyvät tiedostot omaan sijaintiin tai jos tiedostoja on paljon. (Projektikansion tekeminen)

Teoriatietoa esitetään koulutuksessa niin sanallisesti kuin kuvallisesti. Esimerkkinä kuvissa 10 ja 11 on aiheena tarkepisteen nimeämiseen ja ottamiseen liittyvä dia.

Kuva 10 Esimerkki diasta (teksti).

Tarkepisteet

- "oikeat" nimet helpottavat pisteiden jäsentelyä
- Tiedetään, mitä on mitattu
- Toleranssit
 - Vesihuollon keskivirhe +/- 50mm (maks. +/- 100mm, 1% kaikista tarkkeista) pl. viettoviemärit +/- 20mm
- Kaapeleiden ja valaisinjalustojen toleranssit Traficom
 - Taajama +/- 10 cm, taajaman ulkopuolella +/- 50 cm (x,y,z)

20
GRK

Kuva 11 Esimerkki diasta (kuva).

22
GRK

8.2 Käytännön harjoitteet

Harjoitteissa harjoitellaan laitteiden ja ohjelman käyttöä, mittauksia sekä ongelmatilanteiden ratkaisuja. Harjoitteet koostuvat asioista, joita käydään läpi teoriassa. Esimerkiksi vesijohdon tarkkeen ottamiseen ja tarkkeen oikeaan nimeämiseen tarkoitettu rastiharjoituksen ohjeistus menee kuvan 12 osoittamalla tavalla. Kouluttaja tarkistaa ja pitää huolen, että kaikki seuraavat asiat ovat menneet oikein: tarkkeen nimi ja ottopaikka, sauvan asemointi ja tarkkeen tallennus laitteelle.

Kuva 12 Harjoituksen tehtävänanto.

Tarkkeen ottaminen ja nimeäminen

- Ota vesijohdosta (dn110) tarke putken päältä
- Varmista sauvan asemointi ja FIX-tila
- Nimeä se seuraavalla tavalla: VJ dn110
- Tallenna tarke laitteelle

46



Koska tietoteknisten laitteiden käytössä ilmenee aina ongelmia, on tärkeää käydä läpi näitä myös koulutuksessa. Kokemuseräisesti voidaan todeta, että seuraavat asiat ovat yleisimpiä ongelmatilanteita. Ne myös koulutuksessa esitetään sekä kerrotaan yleiset korjaustoimenpiteet:

- GNSS-vastaanotin ei mene FIX-tilaan tai muut mittausvirheet.
 - Syy: Katvealue, yläpuoliset rakenteet/puut, aurinkomyrsky, satelliittien sijainti, lisenssi vanhentunut
 - Ratkaisut: Siirtyminen parempaan sijaintiin, GNSS-vastaanottimen peittäminen noin 5 sekunnin ajaksi (nollaa satelliittihaun), laitteen uudelleenkäynnistys, lisenssin uusinta, mittahenkilön määrittelemä tarkistuspiste/tunnettupiste, tukiaseman sijoitus työmaalle
- Laitteet eivät yhdisty.
 - Syy: Bluetooth poispäältä, yhdistetty toiseen laitteeseen
 - Ratkaisut: Bluetoothin kytkentä päälle, mahdollisten muiden laitteiden yhteyden katkaisu
- Vesisade ja lumi vaikeuttavat tabletin käyttöä.
 - Ratkaisu: Tabletin asennon korjaus pystympään asentoon, näytön pyyhkiminen paperilla, parempien olosuhteiden odottaminen
- Ohjelmaan tuotava tiedosto ei ole käytettävissä tai se ei sisällä tarvittavaa tietoa.
 - Syy: ohjelma ei tue tiedostoformaattia, tiedostosta tarvittava tieto on tuotu vääränlaisena viitekuvana tuotavaan tiedostoon
 - Ratkaisu: Muuta tiedostoformaattia, korjaa tiedoston viitekuva, tee uusi tiedosto tarvittavilla tiedoilla

- Korko ja sijainti eivät täsmää.
 - Syy: Mittasauvan ja GNSS-vastaanottimen oletettaman sauvan pituuden ero, vastaanottimen antennin korkeutta ei ole huomioitu, väärä koordinaatisto tai korkeusjärjestelmä
 - Ratkaisu: Mittasauvan ja GNSS-vastaanottimen oletettaman sauvan korkeuden tarkistus/korjaus, antennin pituuden tarkistus/asettaminen, koordinaatiston ja korkeusjärjestelmän vaihto.

Mahdolliset käyttäjäkohtaiset ongelmat liittyvät yleensä tarkkeiden virheelliseen nimeämiseen tai johonkin muuhun virheeseen mittauksessa. Tässä mahdollisuudessa ratkaisuna on virhepisteen muokkaus tai poistaminen ja pisteen uudelleen tallennus.

9 Koulutus työmaalla ja palaute

9.1 Koulutustapahtuma

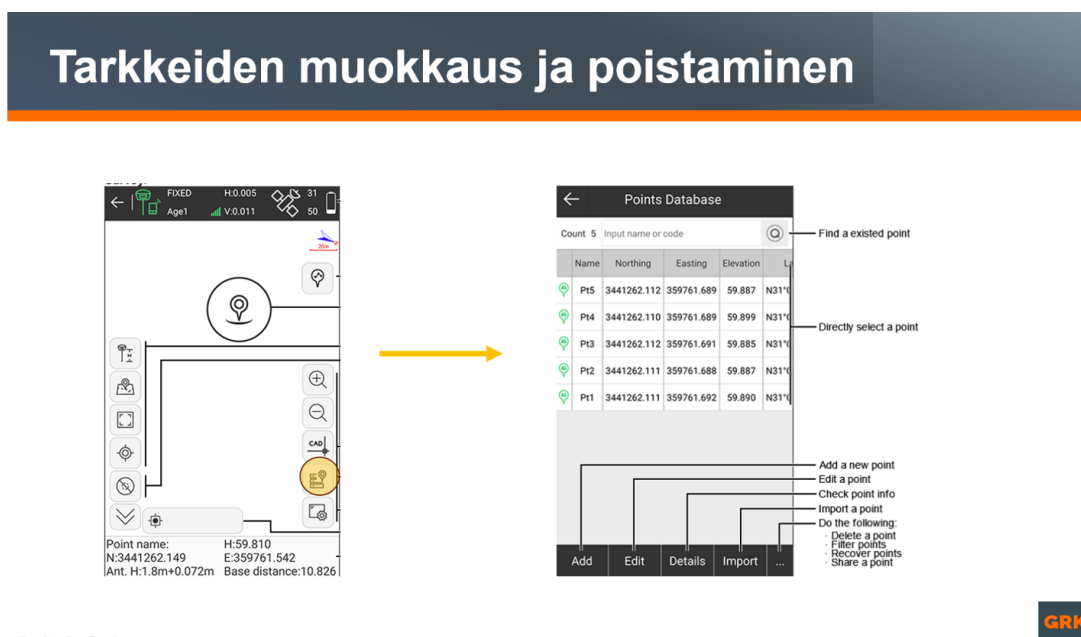
Koulutus järjestettiin työmaalla ja siihen osallistui vastaava työnjohtaja, työnjohtaja sekä työmaainsinööri. Työnjohtajalla oli aiempaa kokemusta mittalaitteiden käytöstä työmaalla, mutta tähän koulutukseen valittu laitteisto ja ohjelma olivat tuntemattomia. Koulutuksen teoriaosuuden kokonaiskesto oli noin 30 minuuttia. Osa ajasta meni kommenttien, ideoiden ja työn taustojen läpi käymiseen. Harjoitteet suoritettiin autenttisesti työmaalla. Käytettävät tiedostot saatiin meneillään olevasta projektista ja esimerkiksi tarkkeet mitattiin jo mitatuista järjestelmistä. Tarkemittaukset suoritettiin vesihuollosta ja kaapelien suojaputkista. Lisäksi koulutuksessa tarkistettiin tulevien kaivojen paikat ja merkattiin ne maastoon. Saadut tarkkeet lähetettiin sähköpostilla ja ne tarkistettiin tietokoneelta, että täsmäsivät jo mitattuihin tarkkeisiin tai suunnitelmiin.

9.2 Palaute

Palautteen perusteella teorian tiedosta vähennettiin hiukan GNSS-mittauksen taustatietoa sekä selkeytettiin muutamien diojen tekstiä. Muuten koulutukseen osallistuneet olivat yhtä mieltä siitä, että koulutukseen sisällytetty tieto on hyvin koottu ja tarpeellista olla mukana. Kuvallisten osioiden sisällyttäminen teoriaosuuteen koettiin hyväksi ratkaisuksi. Osallistujat kokivat, että koulutuksen laajempi käyttö yrityksen sisällä olisi suotavaa ja koulutuksen avulla työnjohtajat kykenevät mittauslaitteiden peruskäyttöön. Harjoitukset olivat selkeitä ja tukivat hyvin teorian tietoa. Harjoituksissa käytiin osallistujien mielestä tarvittavat asiat, jotta laitteita voisi käyttää itsenäisesti.

Suurin kehitysidea tuli lyhyestä pikaoppaasta, josta voisi tarkistaa, mistä tietyt asiat löytyvät. Tämä tehdään koulutuspaketin lisäksi ja tulevaisuudessa luovutetaan muun koulutusmateriaalin kanssa toimeksiantajalle. Pikaoppaan muodoksi ehdotettiin kuvallisia dioja ja otsikko siitä, mihin kyseinen kuva liittyy. Kuvassa 13 on esimerkki pikaoppaan sivusta, jossa selitetään kuvallisesti, miten tarkkeita voidaan muokata tai poistaa.

Kuva 13 Ote pikaoppaasta.



Lisäksi osallistujat mainitsivat, että yksi ryhmä kenelle koulutusta voisi järjestää olisi kesäksi tulevat työnjohtoharjoittelijat. Mittalaitteiden käyttö lisäisi koulutettavien työmaan toiminnan ja ympäristön ymmärrystä. Lisäksi osallistujat olivat sitä mieltä, että harjoittelijat saisivat myös koulutusta ja sen tuomia etuja paremmin tuoduksi työmaalle. Koulutukseen osallistuneiden mielestä yritysten tulisi aktiivisesti pyrkiä saamaan aiheeseen liittyvää koulutusta työmaiden käyttöön ja kouluttaa niin työnjohtajia kuin harjoittelijoita tähän. Tähän on syynä se, että hyödyt koulutuksesta ovat niin isoja.

10 Pohdinta ja työn jatkokehittäminen

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä lisäkoulutus työnjohtajille liittyen GNSS-mittaukseen ja laitteiden käyttöön. Koulutuksen on tarkoitus olla materiaalina toimeksiantajalla, kun työnjohtajat haluavat itse toimia mittaustoiminnassa mukana. Koulutuksesta oli tarkoitus tehdä tiivis ja työmaalle käyttökelpoinen työkalu. Henkilökohtaisesti voin sanoa, että työn tekeminen lisäsi mielenkiintoa mittaustyötä ja sen toimintaperiaatteita kohtaan. Opinnäytetyö myös lisäsi omaa ymmärrystä asioihin, joista ei itsellä ollut niin paljon tietoa, kun mittauksia

aloin työharjoittelussa suorittamaan. Koulutuksen sisällöstä muodostui sellainen, mitä odotinkin sen olevan ja ainakin itse olisin jotain tällaista toivonut ja tällaista oli ilmeisesti myös ajateltu järjestettävän. Toimeksiantajan ja työnjohtajien myönteisyys aiheesta ja koulutuksen muodostamista kohtaan oli työn tekemistä helpottava asia.

Teoria- ja taustatietoa on työssä riittävästi, jotta lukija voi paremmin ymmärtää mittaustoimintaa ja erityisesti GNSS-mittausta sekä niiden merkitystä. Näitä samoja asioita on tuotu myös itse koulutukseen mukaan. Tarkoituksena on, että koulutukseen osallistujat ymmärtävät aiheesta myös taustoja. Koulutuksen avulla työnjohtajien työnkuvaa voidaan muokata lisäämättä heidän työkuormaa. Työnjohtajien ottamien mittausten avulla he pystyvät paremmin suorittamaan työnsuunnittelua ja kykenevät avustamaan helpommin työntekijöitä, kun he näkevät reaaliaikaisesti, minkälainen tilanne työmaalla on verrattuna suunnitelmiin. Koulutuksen järjestämisessä ilmeni hyviä muutoskohteita ja kehitysideoita liittyen niin teoriaan kuin harjoitteisiin. Myös jatkokehitysideoita ilmeni palautekeskustelun yhteydessä. Pidemmällä aika välillä voidaan huomata, onko koulutus tullut todelliseen tarpeeseen ja onko mittalaitteiden käyttö työnjohtajien toimesta laajentunut yrityksen sisällä. Strukturoitu koulutusrunko ja aihio jatkokehitykseen on yrityksellä työn tuloksen myötä käytettävissä.

Opinnäytetyön haasteita olivat työn rajaaminen, oikeanlaisen työn rakenteen kehittäminen, hyvien lähteiden löytäminen ja tarpeellisten asioiden valitseminen itse koulutukseen. Työn rajauksen osalta suurin työ tehtiin jo ennen varsinaista työn aloitusta. Rajausta tehtiin muun muassa seuraavasti: mitkä asiat ovat olennaista teoreettista tietoa koulutuksen pohjalle ja mitä voi jättää pois, kuinka laajasti on tarpeen käydä läpi koneohjausta sekä mitä laitteita ja ohjelmia valitaan vertailuun. Työn rakenteen kehittäminen oli ainoastaan pieni haaste, sillä se tuli lähes omalla painolla, mutta koordinaattijärjestelmien käsittely tuli vasta toteutusvaiheessa mukaan. Jonkin verran otsikointia jouduttiin karsimaan toteutusvaiheessa epäselvyyksien vuoksi. Lähteiden haku osoittautui lähes suurimmaksi haasteeksi, sillä useissa lähteissä oli tietoa, jota en kokenut tarpeelliseksi tähän työhön. Toisaalta osassa lähteitä oli paljon tietoa asiaan liittyen, mutta työhön sopivan aineiston läpikäyminen vei aikaa. Koulutuksen sisällön suunnittelussa pyrin mahdollisimman kompaktiin koulutukseen. Käsiteltävät asiat valitsin sen mukaan, mihin itse olisin kokenut koulutusta tarvitsevani.

Mittauskoulutuksen avulla työnjohtajat kykenevät suorittamaan yleisimpiä tarkemmittauksia työmaalla. Työnjohtajat kykenevät avustamaan työryhmää esimerkiksi kaivojen sijaintien ja putkilinjojen määrittämisessä. Normaalisti tähän on tarvittu mittahenkilöä, joka ei välttämättä ole jatkuvasti työmaalla. Koulutuksen avulla saavutetaan ajallista säästöä, kun työt eivät seisahtu mahdollisen odottamisen takia. Lisäksi työmaa voi saavuttaa rahallista hyötyä, kun

mittahenkilöitä ei tarvita työmaalla niin usein. Tämä korostuu erityisesti pienemmillä työmailla. Isommilla työmailla, joissa mittahenkilö on jatkuvasti paikalla, saavutetaan ajallista säästöä, kun työnjohtaja kykenee osittain samoihin tehtäviin kuin mittahenkilö. Ymmärrys työmaan toiminnasta paranee erityisesti henkilöillä, joilla ei ole aiempaa kokemusta rakennusalaista, kun he käyttävät GNSS-mittalaitteita muiden työtehtävien rinnalla. Lisäksi työnjohtajat pysyvät paremmin työmaan tilanteesta kiinni, kun pystyvät tarkastamaan asioita paikan päällä.

Työtä voisi jatkokehittää suunnittelemalla rungon ympärille tarkempaa sisältöä ja jopa lukujärjestyksen omaisesti tehdyn opintosuunnitelman ja koulutusaiheiden jäsentelyn. Mahdollisuus olisi muokata koulutusta ja järjestää se halutulle joukolle ja tietyn seuranta-ajan jälkeen tarkastella tuloksia ja ajatuksia koulutuksen osalta. Kokivatko koulutukseen osallistuneet saaneensa riittävästi tietoa mittausten tekemiseen ja mitä he muuttaisivat koulutuksessa. Myös rahallista vaikutusta voisi seurata, mikäli erillisen mittaushenkilö käyttä työmaalla vähentyi ja työnjohtajat ottivat suurimman osan GNSS-tarkkeista. Työn tarkoituksena oli tehdä mittauskoulutus, jonka voisi suorittaa työmaalla työn ohessa yhden tai kahden työpäivän aikana. Laajempi koulutus vaatisi enemmän koulutuspäiviä ja koulutus tulisi mahdollisesti järjestää muualla kuin työmaaolosuhteissa.

Koulutuksesta voisi järjestää toisen koulutuspaketin, jossa olisi jo opittujen asioiden kertausta sekä pientä lisäkoulutusta. Mikäli koulutusta on tarjottu tämän työn mukaisella rungolla ja sisällöllä pidemmän aikaa, olisi mahdollista suorittaa laajempi palautekysely, jonka avulla koulutusta voisi kehittää parempaan suuntaan. Työtä olisi mahdollisuus laajentaa siten, että koulutus olisi laajempi ja käsittäisi myös pienet mallien korjaamiset tai muokkaamiset. Tähän kuuluisi esimerkiksi vesihuollon korkojen ja kaatojen muutokset tiedostoihin ja kaivojen paikkojen muokkaus. Mahdollisesti lyhyiden opetusvideoiden tekeminen koulutuksen tueksi on yksi keino kehittää koulutusta. Toisen aiheen valinta samantyylliseen koulutukseen olisi mahdollisesti toteutettavissa oleva jatkokehittämiskohde.

Teknologia tulee yhä enemmän mukaan myös rakentamiseen. Opinnäytetyön teon yhteydessä vastaan tuli laitteita, joilla on mahdollista lisätä laitteiden antamaan kuvaan virtuaalista todellisuutta. Esimerkiksi kaivot ja jalustat saadaan näkymään reaaliaikaisesti laitteen näytölle. Tästä syystä myös oman toiminnan jatkuva kehittäminen ja arviointi ovat jokaisella alalla tärkeitä. Yksilöiden omalla panostuksella kehittymiseen, voidaan työntekoa ja tehokkuutta parantaa. Nämä auttavat myös työssäjaksamiseen, kun ihminen kokee pieniä muutoksia työnkuvassa ja työtehtävissä. Ei tule vain luottaa siihen, että järjestelmä hoitaa, vaan on oltava valmis kehittymään itsekin. Muuten voi jäädä jälkeen työtavoista.

Lähteet

- Bilker-Koivula, M. (2008). *Miten GPS-korkeudet eroavat vaaituista?* Positio.
https://www.paikkatietoikkuna.fi/c/document_library/get_file?uuid=82002a9b-b4a0-485b-8e02-25cc222c56da&groupId=10128
- Brunnila, P. (2012). *Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät – Infrasuunnittelijan opas*. [opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205036122>
- Building SMART Finland, Infra-toimialaryhmä. (4.10.2021). *Yleiset inframallivaatimukset YIV*.
<https://drive.buildingsmart.fi/s/JcbLwHkqSkX2W99?dir=undefined&openfile=5738>
- Datagnss. (2023). *About RTK*. <https://docs.datagnss.com/d303-docs/common/about-rtk/>
- Emlid (n.d. -a). *Reach RS3 Specification*. <https://files-emlid.s3.eu-central-1.amazonaws.com/docs/RS3-Datasheet-UHF.pdf>
- Emlid. (n.d. -b). *Emlid Flow Mobile app for land survey*. <https://flow.emlid.com/>
- GRK Suomi. 2023. Perekdytysmateriaali.
- Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. (9.5.2017). *Rakennettujen vesihuoltolinjojen maastokartoitusohje*.
<https://static.espoo.fi/cdn/ff/ SefYo5duFJ60V7r8LB4DFAMm7vYEOWNibjXHQwijZo/1630577533/public/2021-09/Liite%207 Maastokartoitusohje%209.5.2017.pdf>
- Helsingin yliopisto. (n.d.). *Opiskelijan digitaidot*. Esityksen laadinnan hyvät käytänteet.
<https://blogs.helsinki.fi/opiskelijan-digitaidot/syventavat-taidot-tiedon-esittaminen/s-4-diaesitykset/esityksen-laadinnan-hyvat-kaytanteet/>
- Hiidenmaa, S. (2008). *PowerPoint-oppimateriaali oppimisen edistämiseksi*. [kehittämishankeraportti, Jyväskylän ammattikorkeakoulu].
<https://core.ac.uk/download/pdf/38014376.pdf>
- Häkli, P., Koivula, J., Poutanen, M., Puupponen, J. (10.12.2009). *Suomen geodeettiset koordinaatit ja niiden väliset muunnokset*. Maanmittauslaitos.
<https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/fqi/GLtiedote30.pdf>
- Häkli, P., Koivula, J., Poutanen, M., Puupponen, J. (2009). *Suomen geodeettiset koordinaatit ja niiden väliset muunnokset*. Maanmittauslaitos. [taulukko].
<https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/fqi/GLtiedote30.pdf>
- Infrakit, (n.d. -a). *Cloud for infra projects*. [kuvakaappaus videosta *Infrakit rakennustyömaille*]
<https://www.infrakit.com/fi/tuote/>
- Infrakit, (n.d. -b). *Urakoitsija – tehosta työmaan toimintaa*.
<https://www.infrakit.com/fi/tuote/urakoitsija/>
- Koivisto, J. (2010). *Satelliittipaikannus koneohjauksessa* [opinnäytetyö, Seinäjoen ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010102513947>

- Laukkanen, J. (12.1.2017). *Kuinka koneohjaus auttaa maarakennuksen käytännön töissä? - Pahuksen hyvä asia*. Koneviesti. <https://www.koneviesti.fi/huolto-ja-teknikka/be6da353-15cd-57bb-980e-b3f269c1ecd8>
- Leica. (n.d. -b). *Leica GS18 I RTK -vastaanotin*. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-gs18i>
- Leica. (n.d. -c). *Leica CS30 -tabletti*. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/total-stations/controllers/leica-cs30>
- Leica. (n.d. -d). *Leica GS18 T GNSS RTK -vastaanotin*. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/products/gnss-systems/smart-antennas/leica-gs18-t>
- Leica. (n.d. -a). *200 vuoden historia maanmittausalalta*. <https://leica-geosystems.com/fi-fi/about-us/summary/history>
- Liukkonen, T. (2014). *Hanke 40083 maanrakennusurakan laadunvarmistus* [opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2014112717096>
- Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895#L9P45>
- Maanmittauslaitos. (n.d. -a). *Satelliittipaikannus*. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/satelliittipaikannus>
- Maanmittauslaitos. (n.d. -b). *FINPOS-paikannuspalvelu*. <https://www.maanmittauslaitos.fi/finpos>
- Miettinen, S. (2002). *GPS käsikirja*. Genimap Oy.
- Mäenpää, P. (2022). *Työnjohdon käyttöohjeet XSite-Padiin mallipohjaista työsuunnittelua varten* [opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202204155251>
- Novatron. (n.d. -a). *XSite Pad ja Xsite Rover*. <https://novatron.fi/tiedostot/xsite-pad-rover-esite/>
- Novatron. (n.d. -b). *Xsite Pad*. <https://novatron.fi/koneohjaus/tyomaanhallinta/xsite-pad/>
- Rakennustieto (14.12.2023). *Infraryl. 21210.4 Valmis jakava kerros* [taulukko] https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2023_2/21210.html#id21210.4
- Surpad, (n.d.). *Surpad 4.2 App*. <https://surpadapp.com/#home>
- Toivonen, T., Ylikoski, J. (2013). *Verkko-RTK-mittaus*. [opinnäytetyö, Metropolia ammattikorkeakoulu]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201305077025>
- Traficom. (2023). *Määräys verkkotietojen toimittamisesta Sijaintitietopalveluun*. https://www.finlex.fi/data/normit/50138/02_Perustelumuistio_Maarays_verkkotietojen_toimittamisesta_sijaintitietopalveluun_M71_2023.pdf
- Trimble. (n.d. -a). *About the Trimble xFill service*. <https://receiverhelp.trimble.com/r750-gnss/xFill.html>
- Trimble. (n.d. -b). *Our life's work*. <https://www.trimble.com/en/about>

Vantaan kaupunki. (2017). *Ohje maanalaisten johtojen sijaintitietojen toimittamisesta Vantaan kaupungille.*

https://www.vantaa.fi/sites/default/files/document/130526_Johtokartoitusohjeet_ETRS-GK25_N2000.pdf

Vesilaitosyhdistys. (2021). *Vesihuoltoverkoston mittaus ja dokumentointi.*

https://www.vvy.fi/site/assets/files/5659/vesihuoltoverkosto_004_19022021.pdf

Vihavainen, T. (12.5.2020). *Satelliittipaikannuksen nykytila ja kehitysnäkymät.* Traficom.

<https://www.traficom.fi/fi/satelliittipaikannuksen-nykytila-ja-kehitysnakymat>

YSE 1998. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot. Suomen toimitila- ja rakennuttajaliitto

RAKLI ry ja Rakennustietosäätiö RTS.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/api/content/6902#page=1>

Liite 1. GNSS-vastaanottimet

XSITE® ROVER -ÄLYANTENNI

TEKNISET TIEDOT

GNSS Receiver Specifications

Receiver Type:	Multi-Frequency GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, QZSS, IRNSS, and Atlas L-band
Signals Received:	GPS L1CA/L1P/L1C/L2P/L2C/L5 GLONASS G1/G2/G3, P1/P2 BeiDou B1I/B2I/B3I/B10C/B2A/B2B/ ACEBOC GALILEO E1BC/E5a/E5b/E6BC/ALTBOC QZSS L1CA/L2C/L5/L1C/LEX IRNSS L5 Atlas
Channels:	800+
RTK Formats:	RTCM2.1, RTCM2.3, RTCM3.0, RTCM3.1, RTCM3.2 including MSM
Recording Intervals:	Selectable from 1, 2, 4, 5, 10 Hz (20 Hz or 50 Hz optional)

Accuracy

Positioning:	RMS (67%)	2DRMS (95%)
Autonomous, no SBAS: ¹	1.2 m	2.4 m
SBAS: ¹	0.3 m	0.6 m
RTK: ^{1,2}	8 mm + 1 ppm	15 mm + 2 ppm
Static Performance: ¹	2.5 mm + 1 ppm	5 mm + 1 ppm
Initialization Time:	< 10 s	
Tilt Compensation (Within 30°)	2 cm (with 1.8 m pole)	

L-Band Receiver Specifications:

Receiver Type:	Single Channel
Frequency Range:	1525 to 1560 MHz
Sensitivity:	-130 dBm
Channel Spacing:	5.0 kHz
Satellite Selection:	Manual and Automatic
Reacquisition Time:	15 seconds (typical)

Connector Ports

TNC:	For connecting to UHF radio antenna
LEMO 5-pin:	For connecting to external power supply, external radio
LEMO 7-pin:	For serial port, USB
Card Slots:	For Micro SIM card and Micro SD card

Data & Storage

Storage Type:	8 GB internal, SD card up to 32 GB
---------------	------------------------------------

Physical

Weight:	1.19 kg (1 battery), 1.30 kg (2 batteries)
Dimensions:	156 x 76 mm

Environmental

Operating Temperature:	-30°C ~ +65°C
Storage Temperature:	-40°C ~ +80°C
Protection:	IP67. Protected from temporary immersion to a depth of 1 m
Shock Resistance:	MIL-STD-810G, method 516.6. Designed to survive a 2 m pole drop on concrete floor. Designed to survive a 1 m free drop on hardwood floor
Humidity:	Up to 100%
Vibration:	MIL-STD-810G, method 514.6E-I
Inflammability:	UL recognized, 94HB Flame Class Rating (3) 1.49 mm
Chemical Resistance:	Cleaning agents, soapy water, industrial alcohol, water vapor, solar radiation (UV)

Electrical

Input Voltage:	9 to 28 V DC
Battery:	With removable dual battery, for single battery parameter: 7.2 V, 3400 mAh, 24.48 Wh
Working Time:	12 hours in Rover UHF mode (2 batteries)

User Interface

Button:	Switch receiver on/off, broadcast current operation mode and status
LEDs:	Power, Satellite, Data Link, Bluetooth
WebUI:	Supports software updates, receiver status and settings, and data downloads via smartphones, tablets, or other Wi-Fi capable devices.

Communications

Bluetooth:	Bluetooth 2.1+EDR / 4.0 LE
Wi-Fi:	802.11 b/g
Network:	LTE FDD: B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/B13/ B18/B19/B20/B25/B26/B28 LTE TDD: B38/B39/B40/B41 UMTS: B1/B2/B4/B5/B6/B8/B19 GSM: B2/B3/B5/B8
Radio:	Frequency range: 410MHz ~ 470MHz and 902.4MHz ~ 928MHz Channel Spacing: 12.5 KHz / 25 KHz Protocol: TrimTalk 450S, PCC EOT, TrimMark III(19200)
WebUI:	To upgrade software, manage status and settings, data download, via smartphone, tablet or other electronic device, configure advanced radio settings

Leica GS18 T

GNSS-TEKNOLOGIA JA PALVELUT

Itseoppiva GNSS	Leica RTKplus	Käytön aikana mukautuvia satelliittien valintoja
HiGN SmartNet Global	HiGN SmartNet Pro HiGN SmartNet+ HiGN SmartNet PPP	Verkko RTK ja rajoittamaton maailmanlaajuinen RTK-siltaus ja PPP-palvelu Verkko RTK ja RTK-siltauspalvelu Rajoittamaton maailmanlaajuinen RTK-siltaus ja PPP-palvelu
Leica SmartCheck	RTK-ratkaisun jatkuva tarkistus	Luotettavuus 99,99 %
Signaalien seuranta	GPS GLONASS Galileo BeiDou QZSS NavIC SBAS TerraStar	L1, L2, L2C, L5 L1, L2, L2C, L3 E1, E5a, E5b, A1BOC, E6 B1I, B1C, B2I, B2a, B3I L1, L2C, L5, L6 L5 WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN L-Band, IP
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring	Virheellisten satelliittisignaalien tunnistus ja poisto parempaa paikannusratkaisua ja GNSS:n laadua varten
Kanavien lukumäärä		555 (enemmän signaaleja, nopea ratkaisu, suuri herkkyys)
Kallistuskompensatio	Parempi tuottavuus ja jäljitettävyyys	Ei vaadi kalibrointia, immuuni magneettisille häiriöille

MITTAUKSEN SUORITUSKYKY JA TARKKUUS¹

RTK-alkutusaika		Typillisesti 4 s
Reaaliaikainen kinemaattinen (noudattaa standardia ISO17123-8)	Vaihtainen kantavektori Verkko RTK	Hz 8 mm + 1 ppm V 15 mm + 1 ppm Hz 8 mm + 0,5 ppm V 15 mm + 0,5 ppm
Reaaliaikainen kinemaattinen kallistuksen kompensointi	Ei staattisiin tarkistuspisteisiin	Ylimääräinen Hz-epätarkkuus on alle 5 mm + 0,4 mm/kallistusaste 30° kaltevuuteen asti
RTK-siltaus	Jopa 10 min RTK-katkosten siltaus	Hz 2,5 cm V 5 cm
PPP	Alkuperäinen konvergenssi täydelliseen tarkkuuteen tyypillisesti 10 min, uudelleen konvergenssi < 1 min	Hz 2,5 cm V 5 cm
Jälkilaskenta	Staatittinen (vaihe), pitkät havaintoajat Staatittinen ja Nopea staatittinen (vaihe)	Hz 3 mm + 0,1 ppm V 3,5 mm + 0,4 ppm Hz 3 mm + 0,5 ppm V 5 mm + 0,5 ppm
Koodi differentiaalinen	DGNSS	Hz 25 cm V 50 cm

YHTEYDET

Tiedonsiirtoportit	Lemo Bluetooth® WLAN	USB ja RS232 -sarjat Bluetooth® v4.0 (BLE & BR/EDR), luokka 1.5 802.11 b/g/n vain maastotallennuksen tiedonsiirtoon
Kommunikointiprotokollat	RTK dataprotokollat NMEA-ulosotulo Verkko RTK	Leica, Leica 4G, CMR, CMR+, RTCM 2.2, 2.3, 3.0, 3.1, 3.2 MSM NMEA 0183 v4.00 & v4.10 ja Leican omat VRS, FKP, IMAX, IMC (RTCM SC 104)
Sisäänrakennettu LTE-modeemi ²	LTE-taajuuskaistat UMTS-taajuuskaistat	20, 8, 3, 1, 7 13, 17, 5, 4, 2 19, 3, 1 8, 3, 1 5, 4, 2 6, 19, 1
Sisäänrakennettu UHF-modeemi ²	Vastaanottava ja lähettävä UHF-radiomodeemi	900, 1800 850, 900, 1800, 1900 MHz 403 - 473 MHz, kanavaväli 12,5 kHz, 20 kHz, 25 kHz, maks. 1 W lähtöteho, enintään 28800 bittiä sekunnissa tai 902 - 928 MHz (ei vaadi lisenssiä Pohjois-Amerikassa), 1 W lähtöteho

YLEISTÄ

Maastotallennin ja ohjelmisto	Leica Captivate -ohjelmisto	Leica CS20 -maastotallennin, Leica CS30 & CS35 -tabletit
Käyttöliittymä	Painikkeet ja merkkivalot Web-palvelin	Virta- ja toimintopainikkeet, 8 tilavaloa Täydelliset tilatiedot ja kokoonpanoseurukset
Tiedon tallennus	Muisti ja tiedon tallennus Tietotyyppi ja tallennusnopeus	Sisäinen muisti jopa 4 Gt, irrotettava SD-kortti Leica GNSS raaka- ja RINEX-dataan 20 Hz asti
Virran hallinta	Sisäinen virtalähde Ulkoinen virtalähde Toiminta-aika ³	Vaihdettava Li-ion akku (2,8 Ah / 11,1 V) Nimellijännite 12 V DC, alue 10,5 - 26,4 V DC Tyypillinen käyttöaika jopa 8 h
Paino ja mitat	Paino Mitat	1,23 kg / tyypillinen liikkuva RTK-sauvakokoonpano 3,53 kg 173 mm x 173 mm x 109 mm
Ympäristö	Lämpötila Pudotus Suojattu vettä, hiekkaa ja pölyä vastaan Tärinä Kosteus Ikut	Käytössä -40 - +65°C, varastoinnissa -40 - +85°C Kestää kaatumisen 2 m suoran päinsä kovalle alustalle IP66 IP68 (IEC60529) MIL STD 810G CHG-1 510.6 I MIL STD 810G CHG-1 506.6 II MIL STD 810G CHG-1 512.6 I Kestää voimakasta tärinää (ISO9022-36-08 MIL STD 810G 514.6 luokka 24) 95 % (ISO9022-13-06 ISO9022-12-04 MIL STD 810G CHG-1 507.6 II) 40 g / 15-23 ms (MIL STD 810G 516.6 I)

Trimble R12i GNSS -JÄRJESTELMÄ

LAITE		
FYYSISET TIEDOT		
Mitat (LxK)	11,9 cm x 13,6 cm	
Paino	1,12 kg sisältäen sisäisen akun, sisäisen UHF-antennilla varustetun radion, 3,95 kg, yllä mainittujen lisäksi kartoitussauva, Trimble TSC7 -maastotietokone ja kiinnike	
Lämpötila ¹⁾	Käyttö Varastointi	-40 °C ... +65 °C -40 °C ... +75 °C
Kosteus	100 %, kondensoituvaa	
Suojaus	kestää tilapäisen upotuksen 1 m syvyyteen	
Iskut ja tärinä	(Testattu. Täyttää seuraavat ympäristöstandardit)	
	Iskut	Ei käytönaikainen: Suunniteltu kestämään pudotuksen 2 m:n saavasta betonille. Käytössä: 40 G, 10 ms, shakeritila MIL-STD-810F, FIG.514.5C-1
	Tärinäkestävyys	
VIRTA		
	Virta 11 - 24 V DC, ulkoinen virransyöttö ylijännitesuojauksella portista 1 ja portista 2 (7-nastainen Lemo) Ladattava, irrotettava 7,4 V, 3,7 Ah litiumioni-älyakku LED-tilaosoittimilla Virrankulutus on 4,2 W RTK-rovettissa sisäisellä radiolla ²⁾	
Käyttöaika sisäisellä akulla ³⁾	450 MHz vain vastaanotin 450 MHz vastaanotto/lähetys (0,5 W) 450 MHz vastaanotto/lähetys (2,0 W) Mobiilidata, vastaanotto	6,5 tuntia 6,0 tuntia 5,5 tuntia 6,5 tuntia
TIEDONSIIRTO JA -TALLENNUS		
Sarja	3-johdin sarja (7-nastainen Lemo)	
USB v2.0	tukee tietojen latausta ja nopeita tietoliikenneyhteyksiä täysin integroitu, suljettu 450 MHz:n laajakaistavastaanotin/-lähtetin 403 - 473 MHz:n taajuuksilla, tukee Trimble-, Pacific Crest- ja SATEL-radioprotokollia:	
Radiomodeemi	Lähetysteho	2 W
	Kantama	3–5 km tyypillisesti / 10 km paras ⁴⁾
Datamodeemi ⁵⁾	Integroitu, 3,5 G-modeemi, HSDPA 7,2 Mbps (lataus), GPRS multi-slot luokka 12, EDGE multi-slot luokka 12, UMTS/HSDPA (WCDMA/FDD) 850/1900/2100 MHz, Nopeus E-GSM 850/900/1800/1900 MHz, GSM CSD, 3GPP LTE, Versio 4.1 ⁶⁾	
Bluetooth	802.11 b.g, yhteysosoite ja asiakasmoodi, WPA/WPA2/WEP64/WEP128-salaus	
Wi-Fi	Sarja, USB, TCP/IP, IBSS/NTRIP, Bluetooth	
I/O-portit	6 GB:n sisäinen muisti	
Mittaus-tiedon tallennus	Tulo ja lähtö CMR+, CMRx, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, RTCM 3.2	
Tiedonsiirtoformaatit	24 NMEA-lähtöä, lähdöt GSOFF, RT17 ja RT27	
WEB-KÄYTTÖLIITTYMÄ		
	Helppo asetusten muokkaus, toiminnot, tila ja tiedonsiirto Pääsy Wi-Fi:n, sarjaportin, USB:n ja Bluetoothin kautta	
TUETUT MAASTOTIETOKONEET JA MAASTO-OHJELMISTOT		
	Trimble TSC7, Trimble T10, Trimble T7, Android ja iOS -laitteet, joissa on tuetut sovellukset Trimble Access 2020.10 tai uudempi	
	Tukee ulkoisen lisäyksen todellisuuden ominaisuuksia Trimble SiteVisionin avulla, joka toimii Trimble TSC7 -maastotietokoneella	
SERTIFIKAATIT		
	FCC Part 15 (Class B device), 24, 32; CE Mark; RCM; PTCRB; BT SIG	

SUORITUSKYKY

GNSS-MITTAUS

Konstellatioiden määritys, muovautuva signaalin seuranta, parametrit paikannus haastavissa GNSS-olosuhteissa¹⁾ ja IMU-integraatio ProPoint GNSS-tekniikan kanssa.
Lisäintyynyt mittauksen tuottavuus ja jäljitettävyyden IMU-pohjainen Trimble TIP™
Käyttöolosuhteiden teknologian ansiosta
Edistyneet Trimble Maxwell 6 Custom Survey GNSS -siirto, 672 kanavaa
Vähemmän radioaaltosignaalin katkeamisen aiheuttamia seisoja Trimble xFill -tekniikan ansiosta
Samanakaisten satelliittisignaalin seuranta
GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5
GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3
QZSS: WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS L1C/A, L5
Galileo: E1, E5A, E5B, E5 ARBOC, E6²⁾
BeiDou: B1, B1C, B2, B2A, B2B, B3
QZSS: L1C/A, L1-SAIF, L1C, L2C, L5
NavIC (IRNSS): L5
L-taajuus Trimble RTX™ -korjaukset
Iridium-filtri (yli 1636 MHz) mahdollistaa antennin käytämisen 20 m päästä iridium-lähteestä
LTE-filtri Japaniin (alle 1510 MHz) mahdollistaa antennin käyttämisen 100 m päästä Japanin LTE-mastoista
Digitaaliset signaaliprosessoriteknikat (DSP) havaitsevat ja korjaavat GNSS-signaaliääristymiä
Edistynyt vastaanottimen autonominen eheyden monitorointialgoritmi (RAIM) havaitsee ja estää satelliittimittauksen ongelmia ja parantaa sijaintien laatua
Parametrit suoja virheellisiä efemeritietoja vastaan
Paikannusnopeudet:

1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz ja 20 Hz

PAIKANNUKSEN TARKKUUS¹⁾

STAATTINEN GNSS-MITTAUS

Erittäin tarkka staattinen

Taso	3 mm + 0,1 ppm RMS
Korkeus	3,5 mm + 0,4 ppm RMS

Staattinen ja pikastaattinen

Taso	3 mm + 0,5 ppm RMS
Korkeus	5 mm + 0,5 ppm RMS

REAALIAIKAINEN KINEMAATTINEN MITTAUS

Yksittäinen tukiasema <30 km

Taso	8 mm + 1 ppm RMS
Korkeus	15 mm + 1 ppm RMS

Verkko-RTK⁴⁾

Taso	8 mm + 0,5 ppm RMS
Korkeus	15 mm + 0,5 ppm RMS

RTK-ajustusnopeus erityistarkkuuksille⁵⁾

2 - 8 sekuntia

TRIMBLE INERTIAL PLATFORM (TIP) TEKNOLOGIA

TIP-kompensoitu mittaus⁶⁾

Taso	RTK + 5 mm + 0,4 mm/” kallistus (30° asti) RMS
Korkeus	RTX + 5 mm + 0,4 mm/” kallistus (30° asti) RMS

TRIMBLE RTX -KORJAUSPALVELU

CenterPoint RTX⁷⁾

Taso	2 cm RMS
Korkeus	5 cm RMS
RTX:n konvergentiaaikoja erikoissovelluksille tietyillä alueilla (Trimble RTX Fast)	< 1 minuutti
RTX:n konvergentiaaikoja erikoissovelluksille tietyillä alueilla (ei Trimble RTX Fast)	< 15 minuuttia
RTX QuickStart -konvergenssiaika erityistarkkuuksille	< 1 minuutti

TRIMBLE xFILL⁸⁾

Taso	RTK ⁹⁾ + 10 mm/minuutti RMS
Korkeus	RTK ⁹⁾ + 20 mm/minuutti RMS

TRIMBLE xFILL PREMIUM⁸⁾

Taso	3 cm RMS
Korkeus	7 cm RMS

DGNSS-TARKKUUS

Taso	0,25 m + 1 ppm RMS
Korkeus	0,50 m + 1 ppm RMS
SBAS ¹⁰⁾	tyypillisesti <5 m 3DRMS

REACH RS3

Technical specifications

POSITIONING

Precision	Static	H: 4 mm + 0.5 ppm V: 8 mm + 1 ppm
	PPK	H: 5 mm + 0.5 ppm V: 10 mm + 1 ppm
	RTK	H: 7 mm + 1 ppm V: 14 mm + 1 ppm
Convergence time	~5 s typically	
Tilt compensation	RTK + 2 mm + 0.3 mm/°	
Signals	GPS/QZSS L1C/A, L2C, GLONASS L1OF, L2OF, BeiDou B1I, B2I, Galileo E1-B/C, E5b	
Number of channels	18+	
Update rate	Up to 10 Hz	
IMU	6DOF	

MECHANICAL

Dimensions	126 x 126 x 142 mm
Weight	950 g
Operating temperatures	-20 to +65 °C
Ingress protection	IP67

ELECTRICAL

Autonomy	18 hrs as an RTK rover with tilt compensation, 22 hrs of logging
Battery	Li-Ion 5200mAh, 7.2V, 37.44Wh
Charging	USB Type-C 5V, 3A

CONNECTIVITY

LoRa radio	Transmit and receive	
	Frequency range	868/915 MHz
	Power	0.1W
UHF radio	Distance	Up to 8 km
	Receive-only*	
	Frequency range	410–470 MHz
LTE modem	Protocol	TRIMTALK 450C**
	Modulation type	QPSK
	Regions	Global
Wi-Fi	Bands	FDD-LTE: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 18, 19, 20, 26, 28, 66
		TD-LTE: 38, 40, 41
		UMTS (WCDMA/FDD): 1, 3, 2, 4, 5, 6, 8, 19
Bluetooth		Quad-band, 850/1900, 900/1800 MHz
	SIM card	Nano-SIM
		802.11b/g/n
Ports	RS-232, USB Type-C	
Protocols	Corrections	NTRIP, RTCM3
	Position output	NMEA, LLH/XYZ
Data logging	RINEX, NMEA, LLH/XYZ, UBX	
Internal storage	16 GB	

* Requires a 410–470 MHz antenna, sold separately

** TRIMTALK is a trademark of Trimble Inc.