



Katariina Laamanen

Leican ja Trimblen erot käytettävyydessä ja GNSS-vastaanottimen tarkkuudessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

12.12.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Katariina Laamanen
Otsikko:	Leican ja Trimblen erot käytettävyydessä ja GNSS-vastaanottimen tarkkuudessa
Sivumäärä:	30 sivua + 2 liitettä
Aika:	12.12.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	maanmittaustekniikka
Ohjaajat:	Ryhmäpäällikkö Lauri Turunen Tutkintovastaava Ilkka Partonen

Insinööriyössä keskityttiin Leican ja Trimblen GNSS-vastaanottimien tarkkuuden ja käytettävyyden vertailuun. Insinööriyön tarkoituksena oli tukea päätöksentekoa uusien mittalaitteiden hankinnassa. Tavoitteena oli analysoida mitattujen havaintopisteiden tarkkuutta kolmeen E5-luokan kiintopisteeseen, jotka sijaitsevat peitteisyydeltään vaihtelevissa paikoissa. Mittauksissa noudatettiin JHS184-ohjeita. Mitattujen pisteiden x- ja y-koordinaattia verrattiin kiintopisteiden koordinaatteihin. Korkeuseroja verrattiin GNSS-laitteiden ja tukiasemaverkkojen välillä.

Tulokset osoittivat, että Leican ja Trimblen laitteet sekä SmartNetin ja Trimnetin tukiasemaverkot toimivat lähes samalla tarkkuudella tasosijainnissa insinööriyöhön valituilla kiintopisteillä. Eroja havaittiin lähinnä muutamissa millimetreissä, ja tukiasemaverkkojen väliset erot olivat vielä pienempiä. Trimblen laite oli korkeuseroissa enimmillään 2,6 senttimetriä korkeammalla kuin Leican laite kaikissa tapauksissa.

Käytettävyyden arvioinnissa otettiin huomioon GNSS-vastaanottimien lisäksi takymetrit. Käytettävyyttä tutkittiin haastattelemalla neljää mittaajaa kolmesta eri yrityksestä. Trimblen vahvuutena mainittiin tehokkaammat tallentimet ja mittaussopeus sekä takymetria että GNSS-vastaanottimia käyttäessä. Tunnustusta sai prisman seurantaominaisuus ja monipuoliset merkintä- ja kartoitusominaisuudet infrapuolella. Leica puolestaan koettiin Trimblea paremmin sopivaksi rakennusmittauksiin. Leican takymetrimittauksia pidettiin tarkempina kuin Trimblen, samoin kuin GNSS-laitteiden mittaustarkkuutta peitteisessä maastossa. Lisäksi Leican laserkeilaustekniikka koettiin edistyksellisenä. Leican mittalaitteita ja muuta mittauskalustoa pidettiin yleisesti laadukkaana.

Mittaustulokset osoittavat, että insinööriyöhön valituilla kiintopisteillä molempien valmistajien laitteet ja tukiasemaverkot toimivat lähes identtisellä tarkkuudella tasosijainnissa. Kootut haastattelutiedot käytettävyydestä tarjoavat monipuolisen näkemyksen, joka auttaa päätöksentekijöitä valitsemaan sopivan laitteiston eri mittaustehtäviin. Nämä tutkimustulokset yhdistettynä voidaan tehdä perusteltuja päätöksiä uusien mittalaitteiden hankinnassa.

Avainsanat: satelliittipaikannus, GNSS-vastaanotin, Leica, Trimble, SmartNet, Trimnet, käytettävyys

Abstract

Author: Katariina Laamanen
Title: Differences in Usability and GNSS Receiver Accuracy between Leica and Trimble
Number of Pages: 30 pages + 2 appendices
Date: 12 December 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Land Surveying
Supervisors: Lauri Turunen, Team Leader
Ilkka Partonen, Head of Programme

The thesis compared the accuracy and usability of Leica and Trimble GNSS receivers. In order to support decision-making in the procurement of surveying instruments. The objective was to analyze the accuracy of measured observation points at three E5-class points in varying degrees of cover. The compared the x- and y-coordinates of the measured points with those of reference points according to standard. Differences in height were compared between GNSS receivers and reference station networks.

The results indicated the devices perform almost equally in terms of horizontal accuracy. Only differences of a few millimeters were observed, with even smaller variations between the reference station networks. Trimble devices showed a maximum difference of 2.6 centimeters in height compared to Leica devices in all cases.

Usability assessment considered both GNSS receivers and total stations. In interviews, four surveyors from three different companies highlighted Trimble's strengths, Leica was deemed more suitable for construction measurements, and its total station measurements were considered more accurate. The laser scanning technology of Leica received praise.

The combined results from measurements and interviews provided a comprehensive perspective, assisting decision-makers in selecting equipment for surveying tasks. These insights facilitate well-founded decisions in the procurement of surveying instruments.

Keywords: satellite positioning, GNSS receiver, Leica, Trimble, SmartNet, Trimnet, usability

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Satelliittipaikannus	3
2.1	GNSS-paikannuksen periaate	3
2.2	Verkko-RTK-mittauksen periaate	4
2.3	Satelliittimittauksen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät	7
2.3.1	Ilmakehän virheet	7
2.3.2	Monitieheijastus	8
2.3.3	Satelliittigeometria ja DOP-luvut	9
2.3.4	Kello- ja ratavirheet	10
3	Testihavainnot	12
3.1	Suunnittelu	12
3.2	Toteutus	14
3.3	Tulokset	17
4.3.1	Havaintopiste 1	17
4.3.2	Havaintopiste 2	18
4.3.3	Havaintopiste 3	21
4.3.4	GNSS-laitteilla mitattujen pisteiden väliset korkeuserot	22
3.4	Yhteenveto	23
4	Käytettävyys	25
4.1	Tausta	25
4.2	Trimblen vahvuudet	25
4.3	Leican vahvuudet	26
4.4	Yhteenveto	27
5	Lopuksi	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1: JHS184 taulukko 5.	
	Liite 2: Kaikki mitatut testihavainnot	

Lyhenteet

GNSS: *Global Navigation Satellite System*. Eri satelliittijärjestelmien muodostama kokonaisuus.

E5: EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän runkopisteluokka.

JHS184: Julkisen hallinnon suositukset. Suositukset on tarkoitettu EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä kiintopistemittauksia tekeville.

RTK: *Real Time Kinematic*. Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus.

1 Johdanto

Satelliittipaikannus on ollut maanmittausmenetelmänä jo pitkään keskeinen, sillä sen avulla voidaan optimoida paikannuksen tarkkuus, nopeus ja varmuus Maan pinnalla. Tämä insinööriyö on tehty Ramboll Finland Oy:lle, ja se keskittyy Leican ja Trimblen GNSS-vastaanottimien tarkkuuden ja käytettävyyden vertailuun. Työn tarkoituksena on tarjota tietoa uusien mittalaitteiden investointeja koskevien päätösten tueksi.

Tanskassa vuonna 1945 perustettu Ramboll Group on kansainvälinen suunnittelu- ja konsultointiyritys, joka on omistautunut kestävien ratkaisujen tarjoamiseen kaupunkien, infrastruktuurin, liikenteen, energian sekä ympäristön suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Ramboll Finland Oy, joka on osa Ramboll Groupia, on vakiinnuttanut asemansa Suomessa toimien 22 eri paikkakunnalla ja työllistäen noin 2500 henkilöä.

Ramboll Finland Oy:n toimipaikoista mittauspalveluja tarjotaan 12 eri paikkakunnalla, joista yhdeksän tarjoaa myös pohjatutkimuspalveluja. Mittausten ja pohjatutkimuksien tarkoituksena on tukea etenkin infrastruktuuri-, talo- ja ympäristösuunnittelua. Kenttätutkimuksia suoritetaan pääasiassa Etelä- ja Keski-Suomessa noin 100 henkilön voimin. Tämän insinööriyön aihe on saatu Espoon toimiston kenttätutkimusyksiköltä.

Insinööriyössä käsitellään satelliittipaikannuksen ja työn mittauksissa käytetyn verkko-RTK-mittauksen toimintaperiaatteita. Satelliittipaikannuksen tarkkuuteen vaikuttavista tekijöistä tarkastellaan ilmakehän aiheuttamia virheitä, monitieheistä, satelliittigeometriaa sekä kello- ja ratavirheitä.

Insinööriyön mittaukset suoritetaan noudattaen JHS184-ohjeita. JHS eli julkisen hallinnon suositukset varmistavat, että tiettyyn pisteluokkaan mitatut kiintopisteet ovat riittävän tarkkoja ja yhteentoimivia. JHS184 sisältää ohjeet reaaliaikaisella GNSS-mittauksella tehtävien E6-luokan käyttökiintopisteiden

mittaamiseen. Laitteiden tarkkuuden lisäksi halutaan tutkia, millainen vaikutus tukiasemaverkoilla on mittaustulokseen. Kummallakin laitteella mitataan kummassakin tukiasemaverkossa.

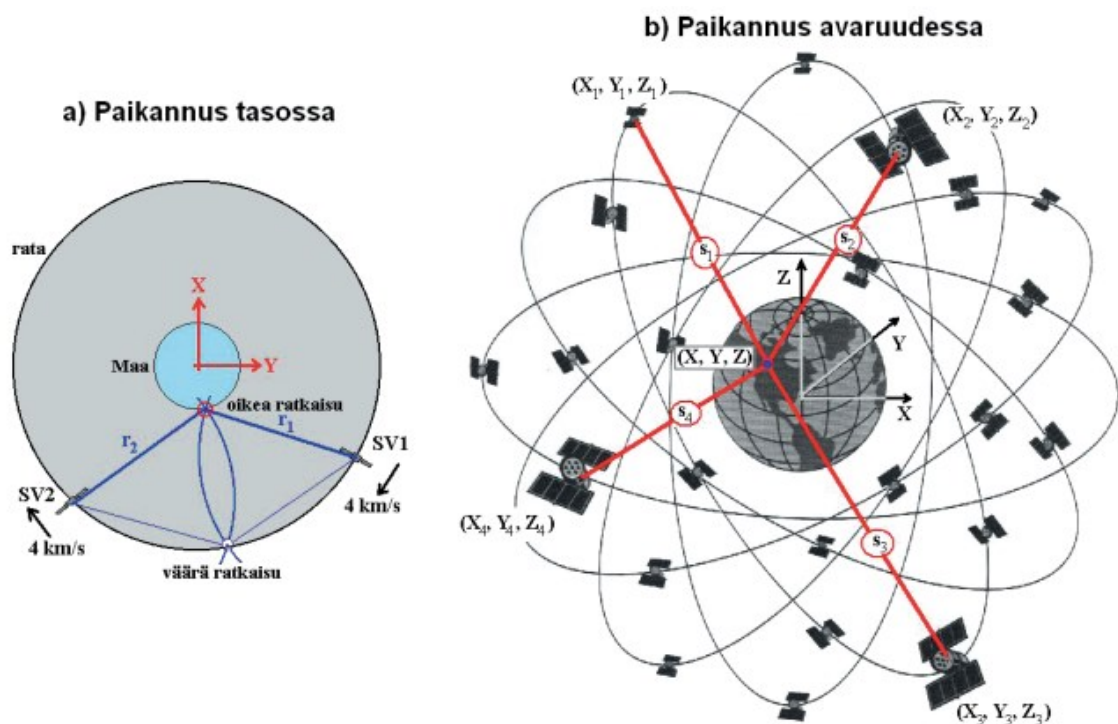
Käytettävyyden vertailu toteutetaan haastattelemalla maanmittausalan ammattilaisille, joilla on vuosien kokemus Trimblen ja Leican laitteiden käytöstä. Haastateltavina on neljä mittaajaa, jotka tekevät erilaisia mittaustehtäviä. Vastauksien perusteella kootaan kummankin laitevalmistajan vahvuudet ja ne laitteiden ominaisuudet, jotka koetaan paremmiksi kuin toisen laitteen vastaavat ominaisuudet.

2 Satelliittipaikannus

2.1 GNSS-paikannuksen periaate

GNSS (Global Navigation Satellite System) on monisatelliittijärjestelmä, joka pystyy käyttämään useita satelliittijärjestelmiä samanaikaisesti. Näistä tunnetuin, Yhdysvaltojen ylläpitämä GPS (Global Positioning System) on yksi niistä satelliittijärjestelmistä, joita GNSS pystyy hyödyntämään. (1, s. 280, 289.)

GPS:n lisäksi muita maailmanlaajuisia satelliittijärjestelmiä ovat eurooppalainen Galileo, venäläinen GLONASS ja kiinalainen Beidou (2, s. 8). Kuva 1 esittää satelliittipaikannuksen periaatetta.



Kuva 1. Satelliittipaikannus tasossa ja avaruudessa (1, s. 291).

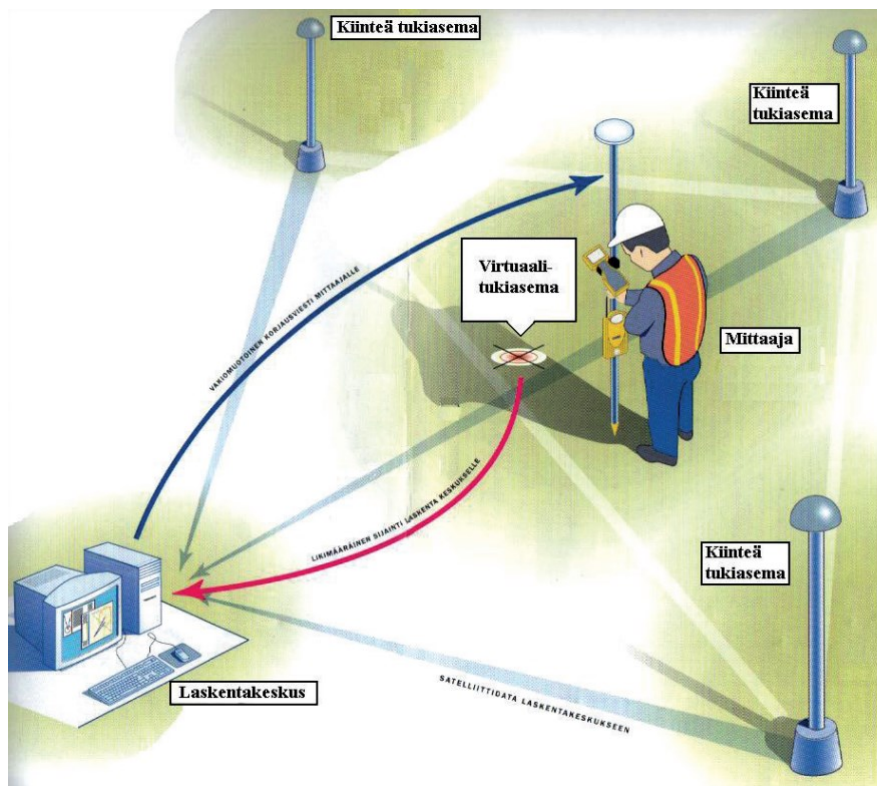
Satelliittipaikannus on etäisyyksien ja etäisyyserojen mittaamista satelliittien ja niiden signaaleja havaitsevan vastaanottimen välillä. Vastaanotin havaitsee lähetettyjä signaaleja ja määrittää niiden perusteella etäisyydet vähintään kolmeen eri satelliittiin. Vastaanottimen sijainti pystytään laskemaan, kun

satelliittien sijainti havaintohetkellä tiedetään. Mittausten tarkentamiseksi etäisyysmittaukset tulisi tehdä vähintään neljään satelliittiin. (1, s. 291.)

GNSS-paikannuksessa voidaan käyttää useita eri mittaustapoja. Kolme perusmittaustapaa ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus ja suhteellinen mittaus. Näistä maanmittausalan ammattilaisten käytössä on tarkin mittaustapa eli suhteellinen mittaus. (1, s. 293.)

2.2 Verkko-RTK-mittauksen periaate

Toisin kuin perinteisessä RTK-mittauksessa, verkko-RTK-mittauksessa pystytään hallitsemaan ionosfäärin ja troposfäärin aiheuttamia virheitä. Verkko-RTK-mittauksessa käytetään yhden tukiaseman sijasta useita tukiasemia. Tämän ansiosta mittaukset ovat vaivattomampia, nopeampia ja varmempia kuin perinteisessä RTK-mittauksessa. Lisäksi etäisyydet tukiasemiin voivat olla pidempiä. (1, s. 321–322.) Kuvassa 2 on esitetty, kuinka verkko-RTK-mittaus toimii.



Kuva 2. Verkko-RTK-mittaus Trimblen Trimnet-tukiasemaverkossa (1, s. 321).

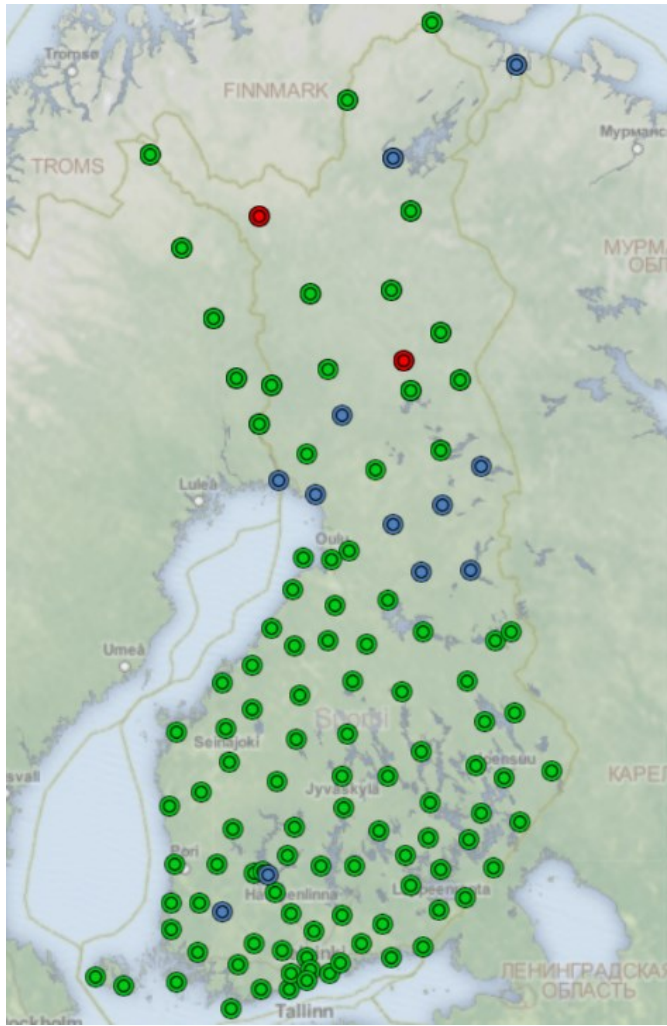
Verkko-RTK-mittauksen pääkohdat:

- Kiinteät tukiasemat vastaanottavat satelliiteilta dataa ja lähettävät datan laskentakeskukselle.
- Laskentakeskus mallintaa ja korjaa satelliittidataa.
- Mittaaja lähettää sijaintinsa matkapuhelinverkon välityksellä laskentakeskukselle.
- Laskentakeskus muodostaa virtuaalitukiaseman mittaajan lähelle tukiasemien lähettämän datan ja mittaajan lähettämän sijainnin perusteella. Samalla se lähettää korjausdatan mittaajalle. Menetelmällä on mahdollista päästä jopa 1–2 cm reaaliaikaiseen tarkkuuteen. (1, s. 321; 3.)

Suomessa on käytössä Trimblen tukiasemaverkko Trimnet, jota ylläpitää ja kehittää Geotrim. Trimnet VRS-palvelun pohjana on VRS-tukiasemaverkko, josta tuli koko Suomen kattava vuonna 2005. Trimnet koostuu lähes 130 GNSS-tukiasemasta, joita on ympäri Suomea. Laskentakeskus sijaitsee Vantaalla. (3; 4.)

Toinen koko Suomen kattava tukiasemaverkko on Leican ylläpitämä HxGN SmartNet -verkko. Se tuli koko Suomen kattavaksi vuonna 2012 ja siinä on tällä hetkellä 120 aktiivista tukiasemaa. Laskentakeskukset sijaitsevat Amsterdammassa ja Lontoossa. HxGN SmartNet eroaa Trimnetin toimintatavasta siten, että se ei luo mittaajan lähelle kuvitteellista tukiasemaa, vaan se käyttää yhtä kiinteää tukiasemaa, joka on yleensä lähinnä mittaajaa oleva. (5.)

Kuvassa 3 on esitetty Smartnetin tukiasemien tilanne tietyllä ajanhetkellä Suomen alueella. Vihreä väri tarkoittaa, että tukiasema ja sen verkkolaskenta ovat käytössä. Sininen väri tarkoittaa, että tukiasema on kytketty ja se vastaanottaa dataa, mutta verkkolaskennan tila ei ole käytössä. Punainen väri kertoo, että tukiasema ei ole sillä hetkellä käytössä. (6.)

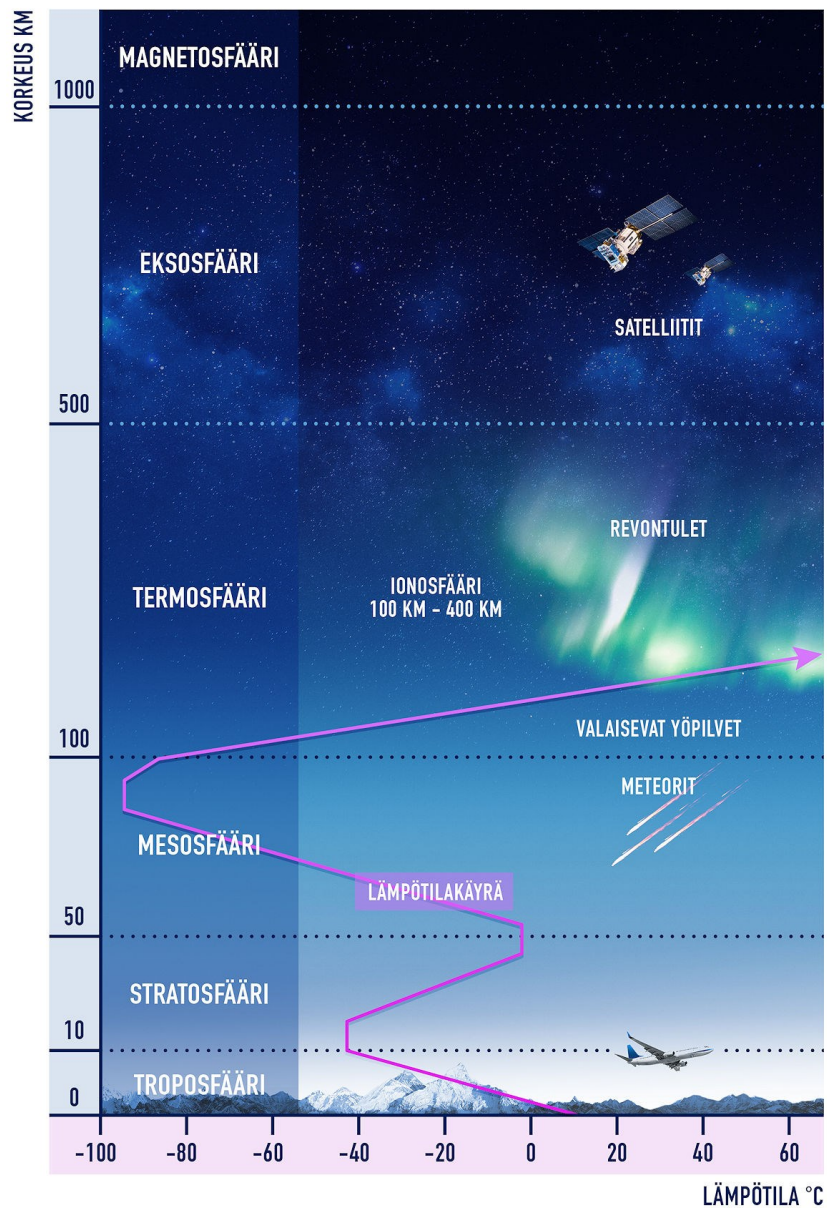


Kuva 3. HxGN SmartNet:n tukiasemien tila 11.9.2023. Kuvakaappaus HxGN Smartnetin Tukiaseman tila -ikkunasta. (6.)

2.3 Satelliittimittauksen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

2.3.1 Ilmakehän virheet

Satelliittien lähettämät paikannussignaalit kulkevat maapallon ilmakehän läpi. Ilmakehän kerroksista etenkin ionosfääri ja troposfääri voivat muuttaa signaalin kulkemaa matkaa, mikä haittaa mittaustarkkuutta. (7, s. 56.) Kuvassa 4 on esitetty ilmakehän eri kerrokset.



Kuva 4. Ilmakehän kerrokset (8).

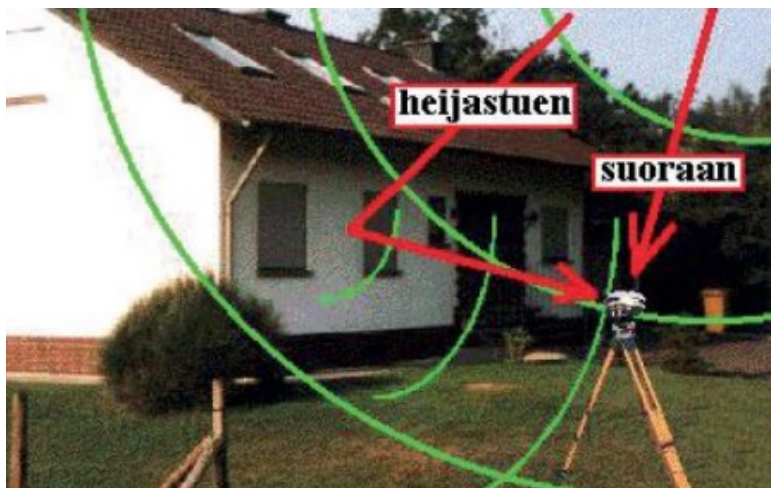
Ionosfääri sijaitsee 100–400 kilometrin korkeudessa, ja se koostuu useista kerroksista. Useat näistä kerroksista heijastavat paikannussignaaleja, ja heijastuminen on voimakkainta silloin, kun satelliitti on lähellä horisonttia. Ionosfäärissä on paljon sähköisesti varautuneita hiukkasia, joita Auringon säteily lataa eli ionisoi. Signaalin matka hidastuu, kun se kulkee ionisoituneiden hiukkasten läpi. Hidastumisen seurauksena syntynyt viive väärentää satelliitin ja havaitsijan välistä etäisyyttä. (7, s. 56.)

Ionosfäärin kerroksista aiheutuvat heijastukset on korjattu lähes kokonaan, kun vastaanottimet eivät huomioi liian lähellä horisonttia olevien satelliittien signaaleja. Myös viive voidaan korjata helposti, sillä Auringon hiukkassäteilyn aktiivisuuskasot tunnetaan varsin tarkasti. (7, s. 57.)

Ionosfääriä hankalampia ongelmia aiheuttaa ihmistä lähimpänä oleva kerros, noin 10 kilometrin korkeuteen ylettävä troposfääri. Signaali törmää troposfäärissä esimerkiksi vesihöyryyn, jäähän ja epäpuhtauksiin, jotka ovat aiheutuneet ihmisten toimesta. Muutokset signaalin kulkuun ovat sattumanvaraisia, mutta häiriöt ovat nopeita ja voimakkaita. Siksi niitä on vaikea ennakoida ja poistaa. (7, s. 57.) Suomessa ja samankaltaisilla alueilla troposfäärin aiheuttamat virheet ovat kuitenkin pieniä eli korkeudenmäärityksessä suunnilleen muutamia senttimetrejä (1, s. 306).

2.3.2 Monitieheijastus

Monitieheijastukseksi kutsutaan ilmiötä, jossa signaali ei kulje suorinta reittiä GNSS-vastaanottimeen vaan saapuu siihen heijasteena, esimerkiksi lähellä olevasta rakennuksesta tai auton pinnasta. Tällaisten pintojen lisäksi myös vesi aiheuttaa heijastumista. Monitieheijastumista on vaikea ennakoida. (7, s. 59.) Kuvassa 5 on esitetty, kuinka monitieheijastumista tapahtuu.



Kuva 5. Monitieheijastumista tapahtuu lähiympäristöstä, kuten esimerkiksi rakennusten seinistä, ikkunoista tai autojen pinnoista (1, s. 307).

Heijastusten vaikutuksia on pyritty vähentämään antennin rakenteella ja signaalinkäsittelyllä. Reaaliaikaisessa kinemaattisessa mittauksessa (RTK) havaintoaika on sen verran lyhyt, että heijastuksen reitti ja suuruus eivät ehdi muuttua. Näin ollen monitieheijastukset jäävät mittausdataan systemaattisen kaltaisena virheenä. Jos vastaanotin on mitattaessa jatkuvassa liikkeessä, monitieympäristö vaihtelee koko ajan ja vaikutus jokaisessa pisteessä on yksilöllinen. (9, s. 202–203.)

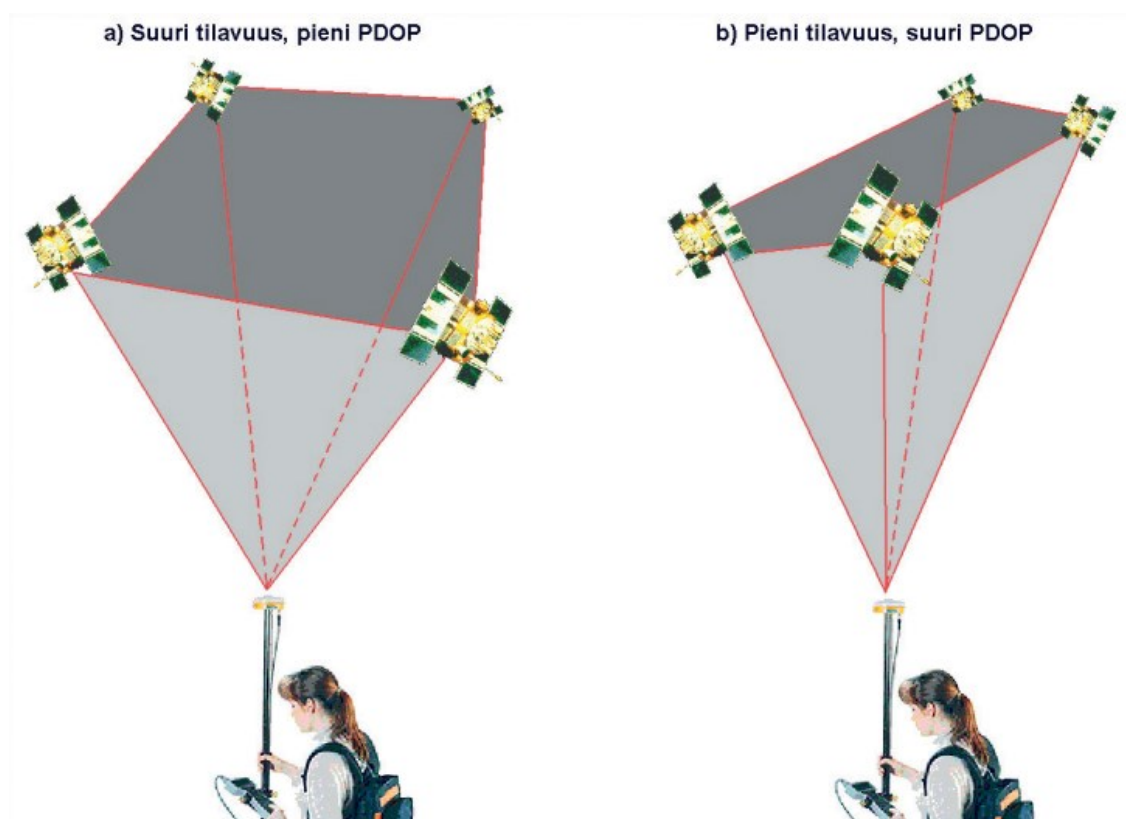
2.3.3 Satelliittigeometria ja DOP-luvut

Satelliittigeometrialla tarkoitetaan satelliittien muodostamaa kokonaisuutta, joka koostuu satelliittien lukumäärästä ja niiden keskinäisistä sijainneista toisiinsa ja havaitsijaan nähden. Satelliittien tulee olla riittävän korkealla havaitsijan horisonttiin nähden, eivätkä ne saa olla liian pienessä ryppäessä. (1, s. 308; 6, s. 59.) Satelliittigeometrian vaikutukset on esitetty kuvassa 6.

DOP (Dilution of Precision) -lukuilla esitetään satelliittigeometrian aiheuttamaa epävarmuutta mittaustarkkuuteen. Periaatteen mukaan satelliittigeometria on hyvä ja DOP-luku pieni, kun satelliitit ovat kaukana toisistaan ja sijoittuneet tasan välein toisiinsa nähden. Nykyisin huonot DOP-luvut johtuvat pääasiassa

satelliittien ja havaitsijan välillä olevista näköesteistä, kuten korkeista rakennuksista ja puustosta. Mittaustarkkuuden epävarmuutta voidaan esittää eri tavoin, joista merkittävimmät epävarmuudet ovat seuraavat:

- HDOP (Horizontal Dilution of Precision) = tasosijainnin epävarmuus
- VDOP (Vertical Dilution of Precision) = korkeussijainnin epävarmuus
- PDOP (Position Dilution of Precision) = taso- ja korkeussijainnin yhdistelmän epävarmuus. (1, s. 308–309)



Kuva 6. Satelliittigeometrian vaikutukset PDOP-lukuun. Vasemmalla tilanne on mittaustarkkuuden kannalta parempi. (1, s. 310.)

2.3.4 Kello- ja ratavirheet

Ratavirheeksi kutsutaan sitä, kun satelliitti poistuu omalta lasketulta kiertoradaltaan. Avaruudessa on erilaisia tekijöitä, jotka horjuttavat satelliitteja niiden kiertoradoilta. Nämä häiriötekijät ovat joko vetovoimasta johtuvia tai siitä johtumattomia. Maan vetovoiman vaihtelu sekä Kuun, Auringon ja muiden planeettojen

aiheuttamat vetovoimahäiriöt kuuluvat vetovoimasta johtuviin häiriöihin. Vaikeammin hallittavia ovat vetovoimasta johtumattomat tekijät, kuten aurinkotuuli, magneettikenttä ja Auringon säteilypain. Tällöin radan muotoa ei voida laskea analyyttisesti, mutta sitä varten on numeerisia menetelmiä. (9, s. 131, 145–146.)

Havaintojakson aikana maapallo ja sen pinnalla oleva havaitsija liikkuvat koko ajan. Myös GNSS-satelliitit liikkuvat jatkuvasti. Liike vaikuttaa satelliitin sekä vastaanottimen kelloihin ja syntyy kellovirhe. (9, s. 125.) Kellovirhe kumoutuu, kun satelliitin ja tukiaseman vastaanotettu kellokorjausdata yhdistetään (10, s. 15).

3 Testihavainnot

3.1 Suunnittelu

Paikkatietoaineistojen ja -palveluiden tuottamista ohjaavat tietyt standardit ja suositukset. Suomessa ohjaavana tahona toimii JHS eli julkisen hallinnon suositukset. Asetetuilla standardeilla ja suosituksilla varmistetaan se, että paikkatietoaineistot, paikkatietopalvelut ja paikkatietojärjestelmät ovat yhtenäisiä ja yhteentoimivia. (11.)

Mittausohjeet

Mittaukset päätettiin suorittaa JHS184-ohjeita (12, s. 20–21) mukailleen. JHS184 sisältää ohjeet reaaliaikaisella GNSS-mittauksella tehtävien uusien käyttökiintopisteiden (luokat E5-E6) mittaamiseen. Insinööriyössä noudatettiin pisteluokan E6 mittausohjeita. Tässä insinööriyössä ei ole tarkoitus tehdä uusia käyttökiintopisteitä vaan vertailla kahden eri mittalaittevalmistajan GNSS-vastaanottimien tarkkuutta. Oleelliset suositukset ja ohjeet insinööriyön mittauksen tekoon on koottu alla olevaan taulukkoon 1. JHS184:n taulukko löytyy kokonaisuudessaan liitteestä 1.

Taulukko 1. Ohjeet insinööriyön mittauksen suorittamiseen

Maastossa	E6
Liikkuvan yksikön pystytys	Korkeintaan 2 m:n sauva statiivilla tuettuna
Liikkuvan yksikön keskistystarkkuus	5 mm
Korkeuskulmamaski liikkuvassa yksikössä	10–15 astetta
PDOP enintään	5
Satelliittien lukumäärä vähintään	6
Havaintoväli	1 s
Havaintoja (epookkeja) / mittaus	5

Maastossa	E6
Mittauksia / sarja	5
Sarjojen lukumäärä	1
Omat alustukset jokaiseen mittaukseen	Kyllä
Alustus aika korkeintaan	2 min
Lopullisten koordinaattien laskenta	Mittausten keskiarvo

Mittauksissa testattiin myös Trimblen Trimnetin ja Leican SmartNetin tukiasemaverkkoja GNSS-laitteissa ristiin. Esimerkiksi Trimblella mitattiin ensin sen omassa tukiasemaverkossa ja sen jälkeen SmartNetin tukiasemaverkossa. Sama tehtiin Leican vastaanottimella.

Valitut kiintopisteet

Mittaustarkkuusvertailut tehtiin kolmeen E5-luokan pisteeseen, jotka on merkitty kuvaan 7. Tarkoituksena oli vertailla eri laitteilla mitattujen pisteiden keskinäisiä tasosijainti- ja korkeuseroja sekä eroa tasosijainniltaan tunnettuun kiintopisteeseen. Mittaukset tehtiin kolmena päivänä ja kaksi kertaa päivässä. Kellonajoiksi valitaan aamulla kello 9 ja iltapäivällä kello 15. Näin pyrittiin vähentämään vuorokauden aikana vaihtelevan satelliittigeometrian muutoksen vaikutusta mittaus-tulokseen.



Kuva 7. Keravan kaupungin E5-luokasta valitut kolme pistettä. Kuvakaappaus 3D-Winohjelmistosta (13).

Pisteet pyrittiin valitsemaan peitteisyyden vaihtelevuuden mukaan. Piste 45003 on taivasnäkömältään parhaimmassa paikassa, eli peitteisyyttä ei ole oikeastaan ollenkaan. Sen sijaan piste 45009 sijaitsee kahden korkean kerrostalon välissä, joten sen taivasnäkö on huomattavasta suppeampi. Piste 45008 on peitteisyydeltään näiden kahden pisteen välimaastossa, ja sen eteläpuolella on korkeahko kerrostalo, mutta pisteen pohjoispuoli on avoin.

3.2 Toteutus

Mittaukset suoritettiin 21.–22.9.2023 ja 26.9.2023. Mittaukset aloitettiin aamupäivällä kello 9 ja iltapäivällä kello 15. Pisteiden mittauksessa noudatettiin luvussa 4.1 esitetyn taulukon ohjeita. Molemmilla GNSS-vastaanottimilla käytettiin samaa kahden metrin mittasauvaa, joka oli tuettuna statiivilla. Pisteet

mitattiin aina samassa järjestyksessä: 45008, 45009 ja 45003. Mitatut pisteet nimettiin järjestyksen mukaan: havaintopiste 1, havaintopiste 2 ja havaintopiste 3.

Jokainen piste mitattiin päivässä yhteensä 20 kertaa. Kymmenen mittauksista tehtiin aamupäivällä ja toiset kymmenen iltpäivällä. GNSS-vastaanotin pystytettiin pisteen päälle ja mitattiin viisi kertaa kummallakin tukiasemaverkolla. Jokaiselle mittaukselle tehtiin oma alustus. Kuvassa 8 on Trimblen vastaanotin ensimmäisen mittauspäivän aamuna pisteellä 45008.



Kuva 8. Havaintopisteen 1 eteläpuolella on korkeahko kerrostalo.

JHS184-ohjeiden mukaan noudatettiin kahden minuutin alustusaikaa. Ensimmäisenä aamupäivänä, pisteellä 45009, Trimblen vastaanotin ei alustanut

kummallakaan tukiasemaverkolla viiden yrityksen jälkeen, joten kyseiseltä aamulta ei ole tulosta. Sama kävi toisena aamupäivänä, jolloin Trimblen laite ei alustanut ollenkaan SmartNetilla. Tämä johtui pisteen 45009 suppeasta taivasnäkömängstä. Kummallakin laitteella ja tukiasemaverkoilla tuli vaihdellen tilanteita, jolloin yksi tai useampi viidestä mittauskerrasta ei alustanut. Kuvassa 9 GNSS-vastaanotin on pisteen 45009 päällä.



Kuva 9. Piste 45009 länsipuolella on korkea kerrostalo. Myös itäpuolella on rakennettua ympäristöä.

Mittaukset ja tukiasemaverkkojen vaihdot sujuivat pääasiassa hyvin. Pisteet 45008 ja 45003 olivat GNSS-sopivuudeltaan niin hyvissä paikoissa, että kahden minuutin alustusajaksi riitti niille. Piste 45009 oli hyvin kaupunkimaisissa olosuhteissa, eivätkä GNSS-laitteet aina alustaneet. Kahden minuutin alustusajan riittämättömyys korostui varsinkin aamupäivisin.

Viimeisenä iltapäivänä havaintopistettä 3 mitattaessa Trimblen GNSS-vastaanottimesta loppui akku siinä vaiheessa, kun toisella tukiasemaverkolla olisi pitänyt vielä mitata. Mukana ei ollut vara-akkuja, joten havaintopisteeltä 3 puuttuvat yhden iltapäivän mittaukset. Tällä ei kuitenkaan ollut suurta vaikutusta lopputulokseen pisteen hyvän GNSS-sopivuuden takia.

3.3 Tulokset

Alun perin oli suunniteltu, että mitattujen pisteiden z-koordinaattia verrattaisiin myös kiintopisteisten z-koordinaattiin. Keravan kaupungilla ei ollut tiedossa kiintopisteille z-koordinaatteja, joten z-koordinaatin vertailu jää laitteiden ja tukiasemaverkkojen väliseksi. Taulukossa 2 on esitetty valittujen kiintopisteiden koordinaatit.

Taulukko 2. Valittujen kiintopisteiden koordinaatit.

Piste	X	Y
45008	6699090.055	25505343.098
45009	6699103.215	25505534.218
45003	6699312.561	25505641.813

JHS184-suositusten mukaan lopullisten koordinaattien laskenta tehdään laske-
malla mittausten keskiarvo. Jokaisen kolmen mittauspäivän aamu- ja iltapäivän
mittauksista on laskettu keskiarvo. Niistä keskiarvoista on vielä laskettu keskiar-
vot, joista on saatu havaintopisteiden lopulliset koordinaatit. Kummallakin lait-
teella mitattiin kahdessa eri tukiasemaverkossa, eli pisteelle tulee yhdeltä lait-
teelta kaksi keskiarvoa. Eromitat laskettiin kiintopisteiden ja lopullisten koordi-
naattien erotuksena. Kaikki testihavainnot on lueteltu liitteessä 2.

4.3.1 Havaintopiste 1

Havaintopiste 1 mitattiin pisteellä 45008. Piste 45008 oli GNSS-sopivuudeltaan
suhteellisen hyvässä paikassa, ja mittaaminen onnistui ongelmitta. Taulukossa

3 on esitetty Trimblen ja Leican vastaanottimilla saatujen mittausten keskiarvo eri tukiasemaverkoissa.

Taulukko 3. Havaintopiste 1 lopulliset koordinaatit.

Laite	Trimble R10		Leica GS18	
Tukiasemaverkko	Trimnet	SmartNet	Trimnet	SmartNet
X	6699090.052	6699090.059	6699090.055	6699090.058
Y	25505343.097	25505343.093	25505343.101	25505343.100
Z	47.453	47.458	47.470	47.450

Taulukossa 4 on havaintopiste 1 eromitat kiintopisteeseen 45008. Taulukosta nähdään, että tasosijainniltaan eromitat ovat pieniä eli enimmillään alle 5 millimetriä. Laitteiden ja tukiasemaverkkojen väliset erot tasosijainneissa ovat vain muutamia millimetrejä. Korkovaihtelu tukiasemaverkkojen välillä pysyy noin kahdessa senttimetrissä.

Taulukko 4. Havaintopisteen 1 keskiarvojen eromitat.

Laite	Trimble R10		Leica GS18	
tukiasemaverkko	Trimnet	SmartNet	Trimnet	SmartNet
dX	0.00300	-0.00367	-0.000167	-0.00283
dY	-0.00150	0.00433	-0.00283	-0.00233
dZ (keskinäinen)	-0.00483		0.0205	

4.3.2 Havaintopiste 2

Havaintopiste 2 mitattiin pisteellä 45009. Piste 45009 oli kaupunkimaisissa olosuhteissa, sitä ympäröi korkeita kerrostaloja itä- ja eteläpuolelta, joten pisteen näkyvyys taivaalle oli rajallinen.

Ensimmäisen mittauspäivän aamuna pisteellä mitattiin ensin Leican laitteella Trimnetilla. Kun tukiasemaverkko vaihdettiin SmartNetiin, saatiin viidestä mittauksesta vain yksi mittaus tehtyä. Seuraavaksi vaihdettiin Trimblen laitteeseen, eikä se alustanut kummallakaan tukiasemaverkolla kertaakaan. Sen sijaan samana iltapäivänä kaikki mittaukset saatiin tehtyä, lukuun ottamatta Trimblella SmartNetissa toista ja neljättä mittausta.

Toisen mittauspäivän aamuna aloitettiin taas Leican laitteella ja Trimnetilla. Kun tukiasemaverkko vaihdettiin SmartNetiin, viidestä mittauksesta saatiin kaksi mitausta tehtyä. Seuraavaksi mitattiin Trimblella Trimnetissa ja saatiin kaksi mitausta tehtyä. Yhtäkään mittauksista ei saatu alustettua SmartNetissa. Iltapäivällä puolestaan kaikki mittaukset saatiin suoritettua, paitsi viimeisessä tukiasemaverkon vaihdossa. Silloin Trimblen laitteella SmartNetissa saatiin vain ensimmäinen mittaus viidestä tehtyä.

Kolmantena ja viimeisenä mittausaamuna mittaukset toistettiin samalla tavalla kuin edellisenä päivinä. Kaikki mittaukset saatiin suoritettua molemmissa tukiasemaverkoissa Leican laitteella. Kun vaihdettiin Trimbleen, molemmilla tukiasemaverkoilla saatiin yksi mittaus tehtyä. Sama tapahtui iltapäivän mittauksissa. Kaikki mittaukset saatiin tehtyä, paitsi viimeisessä mittauksessa Trimble Smartnetin verkossa saatiin kaksi viidestä mittauksesta suoritettua.

Keskiarvoja laskettaessa taulukoista oli havaittavissa kaksi karkeaa virhettä. Ensimmäinen virhe oli Leican laitteella SmartNetin verkossa, ensimmäisen aamupäivänä. Tuona mittauskertana vain yksi viidestä mittauskerrasta onnistui. Mittaus olisi tehnyt tukiasemaverkkojen välisen korkeusvertailun eroksi 14,7 senttimetriä, kun ilman sitä ero on 0,3 senttiä.

Toinen karkea virhe oli Trimblen laitteella SmartNetin verkossa ensimmäisen mittauspäivän iltapäivänä tehtyjen mittausten keskiarvo. Silloin kolme viidestä mittauksesta onnistui. Eromittoihin tämä keskiarvo olisi aiheuttanut 11,9 senttimetrin eron x-koordinaatissa, kun ilman sitä ero on vain 1,5 senttimetriä. Havaintopisteen 3 lopulliset koordinaatit on esitetyt taulukossa 5. Edellä mainittuja

karkeita virheitä sisältäneitä mittauksia ei otettu mukaan lopullisten koordinaattien laskentaan.

Taulukko 5. Havaintopisteen 2 lopulliset koordinaatit.

Laite	Trimble R10		Leica GS18	
	Trimnet	SmartNet	Trimnet	SmartNet
Tukiasemaverkko				
X	6699103.224	6699103.230	6699103.224	6699103.234
Y	25505534.208	25505534.219	25505534.211	25505534.206
Z	45.108	45.079	45.109	45.105

Havaintopisteellä 2 moni mittaus ei onnistunut, koska kahden minuutin alustus-aika ei riittänyt. Mittaukset suoritettiin aina samassa järjestyksessä laitteiden ja tukiasemaverkkojen osalta. Niissä toistui samankaltaisuus: toisinaan kahden minuutin alustus-aika riitti ja toisiaan ei. Päähuomiona voidaan kuitenkin todeta, että kun toinen laite ei alustanut, laitteen tai tukiasemaverkon vaihdosta ei ollut apua. Taulukossa 6 on havaintopisteen 2 eromitat.

Taulukko 6. Havaintopisteen 2 keskiarvojen eromitat pisteeseen 45009.

Laite	Trimble R10		Leica GS18	
	Trimnet	SmartNet	Trimnet	SmartNet
Tukiasemaverkko				
dX	-0.00920	-0.0153	-0.00917	-0.0194
dY	0.0100	-0.00100	0.00750	0.0120
dZ (keskinäinen)	0.0292		0.003	

Kun karkeita virheitä ei otettu huomioon mittausten keskiarvoissa, erot ovat tämän pisteen kohdalla pieniä. Tasosijainnissa eromitat ovat korkeimmillaan noin 1,9 senttimetriä. Laitteiden ja tukiasemaverkkojen keskinäiset erot tasossa ovat

enimmillään noin 3,1 senttiä. Tukiasemaverkkojen väliset korkoerot ovat Trimblen kohdalla alle kolme senttiä ja Leican kohdalla vain 0,3 senttiä.

4.3.3 Havaintopiste 3

Havaintopiste 3 mitattiin pisteellä 45003, joka sijaitsi GNSS-sopivuudeltaan parhaimmassa paikassa. Sen ansiosta mittaaminen sujui jouhevasti. Taulukossa 7 on esitetty havaintopiste 3 lopulliset koordinaatit.

Taulukko 7. Havaintopisteen 3 lopulliset koordinaatit.

Laite	Trimble R10		Leica GS18	
	Trimnet	SmartNet	Trimnet	SmartNet
X	6699312.568	6699312.570	6699312.566	6699312.569
Y	25505641.810	25505641.813	25505641.812	25505641.809
Z	43.755	43.760	43.730	43.743

Hyvän GNSS-sopivuuden vuoksi taulukossa 8 esitetyt eromitat pisteeseen 45003 verrattuna ovat pieniä. Tasosijanneissa eroavuutta on noin sentti ja sama pätee tukiasemaverkkojen välisiin korkeuseroihin. Laitteiden ja tukiasemaverkkojen keskinäiset erot tasossa ovat alle puolitoista senttiä.

Taulukko 8. Havaintopisteen 3 eromitat pisteeseen 45003.

Laite	Trimble R10		Leica GS18	
	Trimnet	SmartNet	Trimnet	SmartNet
dX	-0.00660	-0.00900	-0.00480	-0.00760
dY	0.00280	-0.000200	0.00140	0.00360
dZ (keskinäinen)	-0.00520		-0.01340	

4.3.4. GNSS-laitteilla mitattujen pisteiden väliset korkeuserot

Koska valituilla kiintopisteillä ei ollut tiedossa z-koordinaattia, korkeuserojen tarkastelu jää tukiasemaverkkojen ja GNSS-laitteiden väliseksi. Taulukoissa 4, 6 ja 8. on esitetty tukiasemaverkkojen keskinäiset korkeuserot. Taulukossa 9, 10 ja 11. on puolestaan esitetty vastaanottimien väliset korkeuserot havaintopisteillä. Jokaiselta havaintopisteeltä tulee kaksi korkeuseroa, kun tarkastellaan laitteita kummassakin tukiasemaverkossa.

Taulukko 9. GNSS-laitteiden korkeuserot havaintopisteellä 1.

Tukiasema- verkko	Trimnet		SmartNet		
	Laite	Trimble R10	Leica GS18	Trimble R10	Leica GS18
z-koordinaatti	47.436	47.470	47.433	47.451	
dZ	0.00341		0.0180		

Taulukko 10. GNSS-laitteiden korkeuserot havaintopisteellä 2.

Tukiasema- verkko	Trimnet		SmartNet		
	Laite	Trimble R10	Leica GS18	Trimble R10	Leica GS18
z-koordinaatti	45.1082	45.1083	45.079	45.105	
dZ	0.0001		0.0264		

Taulukko 11. GNSS-laitteiden väliset korkeuserot havaintopisteellä 3.

Tukiasema- verkko	Trimnet		SmartNet		
	Laite	Trimble R10	Leica GS18	Trimble R10	Leica GS18
z-koordinaatti	43.754	43.781	43.760	43.774	
dZ	0.0268		0.0142		

Taulukoista käy ilmi, että myös korkeuden suhteen erot ovat pieniä. Isoimmat erot ovat havaintopisteellä 2. SmartNetin verkossa ja havaintopisteellä 3. Trimnetin verkossa. Molemmissa tapauksissa laitteiden välinen korkeusero on noin 2,6 senttimetriä. Muutoin erot ovat alle kaksi senttimetriä, parhaimmillaan vain 1–3 millimetriä. Kaikissa tapauksissa Trimblen laite on mitannut ilmoitettua korkeuseroa Leican laitetta korkeammalla.

3.4 Yhteenveto

Insinööriyössä toteutettu tutkimus on melko suppea, eikä siitä ole mahdollista tehdä perusteellisia johtopäätöksiä. Koska mittausten tekijöitä oli vain yksi ja koska samalla pisteellä ei voi mitata yhdellä laitteella samaa aikaan kahdessa eri tukiasemaverkossa, havaintoaikaan aiheutuu ero, minkä vuoksi tulokset ole täysin vertailukelpoisia.

Tutkimukseen toi haasteita kiintopisteiden valinta, sillä niiden haluttiin olevan erilaisissa ympäristöissä mutta ei liian kaukana toisistaan. Insinööriyössä tehtyjen mittausten jälkeen kävi ilmi, että mitatuilla kiintopisteillä ei ole tiedossa z-koordinaattia, minkä takia korkeuden vertailu jäi laitteiden ja tukiasemaverkkojen väliseksi. Jatkotutkimuksena kiintopisteet tulisi vaaita. Lisäksi valitut kiintopisteet ovat E5-luokkaan kuuluvia, mitattuja pisteitä, joten nekään eivät ole täysin virheettömiä.

Alkuoletuksena oli, että havaintopisteillä 1 ja 3 ei ole suuria eroavaisuuksia niiden hyvien GNSS-olosuhteiden vuoksi. Sen sijaan havaintopisteen 2 oletettiin tuottavan huomattavampia eroja, mutta näin ei kuitenkaan käynyt. Olennainen huomio on se, että jos GNSS-laite ei alustanut itseään, tukiasemaverkon tai laitteen vaihdosta ei ollut apua.

Tämän tutkimuksen tasosijainnin vertailun lopputuloksena voidaan todeta, että Trimblen ja Leican GNSS-laitteet sekä Trimnetin ja SmartNetin tukiasemaverkot toimivat valituilla pisteillä samoissa olosuhteissa lähes samalla tarkkuudella, eli

selvää eroa niiden välillä ei voida havaita. Sama pätee korkeussijaintiin, jossa erot olivat enimmillään noin 2,6 senttimetriä.

4 Käytettävyys

4.1 Tausta

Insinööriyössä keskityttiin pääasiassa satelliittipaikannukseen ja GNSS-vastaanottimiin. Koska vastaanottimien käytettävyyden arviointi pelkästään GNSS-mittausten perusteella ei olisi antanut riittävästi tietoa, käytettävyyden vertailuun otettiin mukaan myös takymetrimittaukset. Ramboll Finland Oy:n kenttätutkimushenkilöstö tekee GNSS-mittausten lisäksi takymetrimittauksia, joten käytettävyyden tutkimisessa on otettu huomioon molemmat mittaustavat.

Käytettävyyden vertailu suoritettiin haastattelemalla neljää kokenutta mittaajaa, jotka työskentelevät kolmessa eri yrityksessä: Mitta Oy:ssa, Ramboll Finland Oy:ssa ja Resolum Oy:ssa. Haastatteluissa selvitettiin ammattilaisten erilaisia näkemyksiä ja käyttökokemuksia Leican ja Trimblen GNSS-vastaanottimista ja takymetreista eri mittaustehtävissä. Haastateltaville esitetyt kysymykset heidän työtehtävistään ja mittalaitteistaan olivat tiivistettynä seuraavanlaisia:

- Mitkä ovat keskeisimmät työtehtäväsi?
- Kuinka kauan olet käyttänyt Leicaa? Entä Trimblea?
- Mikä on parempaa Trimblessa kuin Leicassa? Entä toisinpäin?
- Kummalla käyttöjärjestelmällä tekisit enemmän töitä?

Haastateltavien pääasiallisia työtehtäviä ovat merkintämittaukset, maastomallimittaukset, infra- ja talonrakennustyömaiden mittaustyöt, laserkeilaukset sekä määrä- ja urakkalaskennat. Vastaajat ovat käyttäneet Leican ja Trimblen laitteistoja muutamista vuosista kahteenkymmeneen vuoteen asti. Osalla haastateltavista on kokemusta näiden laitteiden eri malleista.

4.2 Trimblen vahvuudet

Vastaajien kokemusten perusteella Trimblen vahvuuksiin kuuluu mittausnopeus niin takymetria kuin GNSS-vastaanotinta käytettäessä. Takymetrilla on parempi

mittaussnopeus peitteettömässä maastossa, etenkin nopeaa mittausta käytettäessä. GNSS-mittauksissa vastaanottimen alustusnopeus koetaan nopeammaksi.

GNSS-vastaanottimen ja takymetrin lisäksi Trimblen uudet tallentimet on todettu nopeammiksi. Tunnustusta tuli myös tallentimien tehokkuudesta, joka vaikuttaa tallentimen käytön nopeuden lisäksi myös tiedostojen lukemiseen. Tiedot symbolit näkyvät tallentimen kartalla samalla tavoin kuin tietokoneella mittaussnopeuden käsittelyohjelmistossa, mikä koetaan selkeäksi.

Trimblen takymetriprisman seurantaominaisuutta pidetään paremmin toimivana kuin vastaavaa ominaisuutta Leican 360° prismassa. Takymetri pysyy paremmin lukittuna prismaan, ja se löytää prismaa paremmin peitteisemmässä maastossa.

Trimblen monipuoliset merkintä- ja kartoitusominaisuudet koetaan paremmiksi infrapuolella. Tallentimeen on helpompi viedä dwg- ja dxf-aineistoja, ja näitä aineistoja on helpompi käsitellä kuin Leican tallentimessa. Myös viety kuva mielletään helpommaksi käsitellä. Viedystä kuvasta voi valita esimerkiksi viivan ja aloittaa viivavertailulla mittaamaan vaivattomasti.

Vietyjen aineistojen käsittelystä kerrottiin esimerkki, jossa kilpailijan dxf-muotoinen aineisto täytyy tuoda tuonnin päälle. Lisäksi pistemäiset kohteet pitää tuoda gt-muodossa. Tämä vaikeuttaa esimerkiksi ympyrän tuontia, sillä sen kaari ja keskipiste on tuotava erikseen. Trimblella ympyrän tuonti onnistuu yhdellä kertaa.

4.3 Leican vahvuudet

Kaikki neljä haastateltavaa kertovat, että he ovat kokeneet Leican mittaustarkkuudeltaan laadukkaammaksi kuin Trimblen. Lisäksi Leican useat hyvät toiminnot ja ominaisuudet koetaan Trimblea paremmiksi rakennusmittauksissa.

Peitteisessä maastossa GNSS-mittauksissa tulee vähemmän karkeita korkovirheitä. Vaikka Trimblen vastaanotinta pidettiin nopeammin alustavana, Leican GNSS-vastaanottimen mittausnopeutta pidetään myös hyvänä, jos vastaanotin on alustanut. Lisäksi GNSS-vastaanottimen uusi alustus onnistuu helposti talentimen kautta.

Takymetrilla Leican 360°-prismaan mitattu korkeus on todettu erittäin tarkaksi. Lisäksi Leican takymetreilla tehdyt apupisteet on todettu tarkemmiksi, jolloin takymetriä orientoinneista tulee laadukkaampia.

Leican laserkeilaimet saavat tunnustusta niiden huomattavasti paremmasta tarkkuudesta ja nopeudesta. Leican lasermittaustekniikka on osoittautunut erinomaiseksi sisätiloissa suoritettavissa mittauksissa ja erityisesti prismattomassa mittauksessa.

Leica sai kehuja takymetriä jämäkkyuden lisäksi muista välineistään. Takymetreja pidetään vankkoina, ja niillä tähdätessä mittaustuntuma on parempi. Muut välineet, kuten kolmijalat, mittasauvat, prismat ja jatkopalat, ovat huomattavasti kevyempiä mutta silti erittäin laadukkaita. Keveyttä arvostetaan, sillä mittauskustannuksia saatetaan joutua kantamaan pitkiäkin matkoja.

4.4 Yhteenveto

Haastattelun lopuksi pyydettiin kertomaan, kumman valmistajan käyttöjärjestelmän haastateltava valitsisi, jos voisi tehdä töitä vain toisella. Kolme neljästä valitsisi Trimble Access -käyttöjärjestelmän.

Trimble Access -käyttöjärjestelmää pidetään käyttäjäystävällisempänä. Valikoiden selaamista todetaan olevan vähemmän, mikä tekee käyttöjärjestelmästä selkeämmän. Mittaamisen jälkeen tietojen muokkaaminen on mahdollista: esimerkiksi väärän prismavakion tai antennikorkeuden korjaaminen onnistuu. Toisaalta yksi vastaajista näkee tämän myös heikkoutena, kun raakadataa voi muokata vielä mittauksen jälkeenkin, toisin kuin Leican raakadataa.

Koska haastatteluissa esiin tulleet asiat ovat jokaisen haastateltavan omakohtaisia kokemuksia, niitä ei voida pitää ehdottomina totuuksina. Lisäksi haastateltavia oli vain neljä, ja heistä jokainen käyttää laitteita omalla tavallaan. Laitteiden eri mallien ominaisuudet ovat keskenään erilaisia. Jos haastateltavia olisi ollut enemmän, olisi voitu saada esiin enemmän näkökulmia tai tuoda jopa täysin vastakohtaisia kokemuksia. Tavoite oli kuitenkin löytää erilaisia kokemuksia ja koota ne yhteen. Lisäksi haluttiin saada selville, onko laitteissa erilaisten mittaustehtävien yhteydessä ilmennyt samoja tai samankaltaisia toimivia ominaisuuksia tai epäkohtia.

Yhteenvetona voidaan todeta, että haastateltavien näkemysten mukaan molemmilla laitteistoilla on omat vahvuutensa ja että niiden käytännön tehokkuus riippuu suuresti käyttöympäristöstä, mittaustehtävistä ja eri projektien vaatimuksista. Ylipäätään tärkeänä pidetään sitä, että mittauskalusto pysyy ajantasaisena, jolloin pystytään hyödyntämään uusimman tekniikan tuomat edut. Käyttäjän henkilökohtaiset mieltymykset ja työtehtävät vaikuttavat ratkaisevasti siihen, kumpi laitteisto sopii paremmin käyttäjän tarpeisiin.

5 Lopuksi

Tämä Ramboll Finland Oy:lle tehty insinööriyö keskittyi Leican ja Trimblen GNSS-vastaanottimien, tukiasemaverkkojen ja käytettävyyden vertailuun. Insinööriyön tarkoituksena oli tukea päätöksentekoa uusien mittalaitteiden hankinnassa.

Insinööriyön tavoitteena oli vertailla kahden eri GNSS-mittalaittevalmistajan eli Trimblen ja Leican, tarkkuutta kolmessa eri kiintopisteessä. Valitut kiintopisteet olivat E5-luokan pisteitä, ja niiden valinnassa otettiin huomioon erilaiset ympäristötekijät. Kolmen päivän aikana mitattiin kahdesti päivässä tasosijainti- ja korkeuserot eri laitteilla ja tukiasemaverkoissa. Mittauksissa käytettiin Trimblen Trimnet- ja Leican SmartNet -tukiasemaverkkoja molemmissa GNSS-vastaanotimissa.

Tulokset osoittivat, että valituilla pisteillä Trimblen ja Leican laitteet sekä Trimnetin ja SmartNetin tukiasemaverkot toimivat lähes samalla tarkkuudella tasosijainnissa. Eroja oli havaittavissa lähinnä muutamissa millimetreissä, ja tukiasemaverkkojen väliset erot olivat vielä pienempiä. Korkeuseroissa Trimblen laite oli enimmillään 2,6 senttimetriä korkeammalla kuin Leican laite kaikissa tapauksissa.

Tutkimuksen laajuutta rajoitti valittujen kiintopisteiden puutteellinen z-koordinaattitieto, mikä esti täsmällisen korkeuserojen vertailun kiintopisteisiin. Lisäksi tutkimuksen pieni otanta esti perusteellisten johtopäätösten tekemistä. Myös se, että tutkimuksen suoritti yksi tekijä, asetti omat haasteensa.

Haastatteluista kävi ilmi, että mittaajat pitävät Leicaa mittauslaitteena laadukkaampana, erityisesti rakennusmittauksissa. Käyttöjärjestelmien vertailussa kolme neljästä valitsi Trimble Accessin käyttäjäystävällisyyden vuoksi, vaikka huomautettiin myös mahdollisista heikkouksista raakadatan jälkikäsitteilyssä.

Kokonaisuudessa insinööriyö onnistui ilman suuria ongelmia. Mittausten suunnittelussa ja suorittamisessa saatiin apua kokeneilta ammattilaisilta.

Satelliittipaikannuksen ja etenkin verkko-RTK-mittauksen toimintaperiaatteisiin perehtyminen oli opettavaista.

Lähteet

- 1 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Verkkoaineisto. Rovaniemen ammattikorkeakoulu. <<http://www.ramk.fi/loader.aspx?id=7fe99c68-3849-4fa8-a563-9327cf51ea79>>. Luettu 5.6.2023.
- 2 Kaasalainen, Sanna; Mäkelä, Maija; Saajasto, Mika; Kirkko-Jaakkola, Martti & Kuusniemi, Heidi. 2021. Selvitys GNSS-palvelujen tarjonnasta ja toiminnasta. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/GNSS_selvitys_loppuraportti.pdf>. Luettu 5.6.2023.
- 3 VRS-palvelun vaiheita. 2023. Verkkoaineisto. Geotrim. <<https://geotrim.fi/vrs20v-vuosi/>>. Luettu 29.6.2023.
- 4 Trimnet VRS -palvelu. 2023. Verkkoaineisto. Geotrim. <https://geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs/?gclid=Cj0KCQjwtO-kBhDIA-RIsAL6Lorc7JS_moqw1Y_X8NorIErSuFKxMDtq_luiN-FuG8fzxfeXbRp8BjA-kaAs95EALw_wcB>. Luettu 29.6.2023.
- 5 Savolainen, Matti. 2023. Teknisen tuen esimies, surveying, Leica Geosystems Oy, Espoo. Keskustelu 4.8.2023.
- 6 Finland - Tukiaseman yleiskatsaus. 2023. Verkkoaineisto. HxGN SmartNet. <<https://fi-sbc.nrtk.eu/sbc/spider-business-center>>. Luettu 11.9.2023.
- 7 Miettinen, Samuli. 2006. GPS käsikirja. Helsinki: Genimap Oy.
- 8 Ilmakehän kerrokset. 2021. Verkkoaineisto. Ilmatieteen Laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-ja-saailmiot>>. 15.9.2021. Luettu 5.6.2023.
- 9 Poutanen, Markku. 2016. Satelliittipaikannus. Tallinna: AS Pajon kirjapaino.
- 10 Hiltunen, Jani & Koponen, Jukka. 2016. GNSS- ja takymetrimittauksen mittaustarkkuusvertailu kaupunkiolosuhteissa. Opinnäytetyö. Lapin AMK. Theseus-tietokanta.
- 11 Paikkatietoalan standardit ja suositukset. 2023. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/paikkatietojen-yhteentoimivuus/standardit-ja-suositukset>>. Luettu 17.9.2023.

- 12 JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. 2012. Verkkoaineisto. JUHTA. Luettu 9.10.2023.
- 13 3D-Win. Versio 6.7.2. 2021. Novatron Oy.

JHS184 taulukko 5.

Taulukko 5. Käyttökiintopisteiden (E5-E6) mittaaminen reaaliaikaisella GNSS-mittauksella.

Suunnittelussa	E5	E6
Lähtöpisteiden valinta		
Maksimietäisyys tukiasemaan (koskee perinteistä RTK-mittausta sekä verkko-RTK:ta, jos mitataan verkon ulkopuolella)	10 km	15 km
Tukiasemat, vähintään luokkaa	E4	E5
Kontrollipisteiden valinta (mikäli mittausalueella on ko. luokan pisteitä)		
Kontrollipisteiden luokka	E5	E6
Kontrollipisteiden lukumäärä	Vähintään yksi piste / mittausalue	
Verkon rakenne		
Suosittelava pisteväli	100–500 m (huomattava, että alle 500 m:n etäisyydellä toisistaan olevia pisteitä ei saa mitata reaaliaikaisella GNSS-mittauksella)	
Vierekkäisten pisteiden välinen vektori mitattava suoraan	Kyllä, jos etäisyys alle 500 m ja suositeltavaa, jos pisteiden välillä näköyhteys. Tällöin mittaus muulla kuin reaaliaikaisella GNSS-menetelmällä.	
Maastossa		
Tukiaseman pystytys	Jalusta ja pakkokeskistysalusta tai pilaripiste.	
Tukiaseman keskistystarkkuus	1 mm	
Liikkuvan yksikön pystytys	Jalusta ja pakkokeskistysalusta tai korkeintaan 2 m:n sauva statiivilla tuettuna.	
Liikkuvan yksikön keskistystarkkuus	5 mm	
Korkeuskulmamaski:		
- tukiasemalla	5–10 astetta	
- liikkuvassa yksikössä	10–15 astetta	
PDOP enintään	5	
Satelliittien lukumäärä vähintään	6	
Havaintoväli	1 s	1 s
Havainnot (epookkeja) / mittaus	5–15	5
Mittauksia / sarja	5	
Sarjojen lukumäärä	2	1
Omat alustukset jokaiseen mittaukseen	Kyllä	
Alustus aika korkeintaan	2 min	
Aika sarjojen välissä vähintään	45 min	-
Sarjan mittausten (erillisten alustusten) max-min ero enintään/komponentti	N,E: 20 mm h: 40 mm	
Sarjojen (sarjakeskiarvojen) max-min ero komponentteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	-
Ero kontrollipisteiden koordinaatteihin komponentteittain	N,E: 40 mm h: 70 mm	
Alkuperäisten koordinaattien (XYZ tai ϕ, λ, h) tallennus	Kyllä	
Sauvan antennikorkeuden tarkistus ennen ja jälkeen mittauksen	Kyllä	
Havaintopisteen mittaus ennen ja jälkeen uusien pisteiden mittauksen	Kyllä	
Jälkikäsitelyssä		
Lopullisten koordinaattien laskenta	Sarjojen keskiarvo	Mittausten keskiarvo

Kaikki mitatut testihavainnot

21.9.2023 Aamupäivä: piste 45008, Trimble R10

Taulukko 12. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.068	25505343.109	47.434
45008	2	6699090.068	25505343.110	47.450
45008	3	6699090.065	25505343.108	47.447
45008	4	6699090.058	25505343.103	47.443
45008	5	6699090.060	25505343.102	47.451
Keskiarvo		6699090.064	25505343.106	47.445

Taulukko 13. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.064	25505343.099	47.484
45008	2	6699090.067	25505343.097	47.483
45008	3	6699090.066	25505343.106	47.476
45008	4	6699090.056	25505343.105	47.460
45008	5	6699090.056	25505343.109	47.443
Keskiarvo		6699090.062	25505343.103	47.469

21.9.2023 Aamupäivä: piste 45008, Leica GS18

Taulukko 14. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.067	25505343.107	47.474
45008	2	6699090.064	25505343.107	47.473
45008	3	6699090.070	25505343.105	47.480
45008	4	6699090.070	25505343.103	47.485
45008	5	6699090.070	25505343.101	47.483
Keskiarvo		6699090.068	25505343.105	47.479

Taulukko 15. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.064	25505343.100	47.446
45008	2	6699090.063	25505343.097	47.456
45008	3	6699090.058	25505343.097	47.450
45008	4	6699090.064	25505343.097	47.327
45008	5	6699090.067	25505343.096	47.454
Keskiarvo		6699090.063	25505343.097	47.427

21.9.2023 Aamupäivä: piste 45009, Leica GS18

Taulukko 16. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.241	25505534.213	45.099
45009	2	6699103.231	25505534.210	45.099
45009	3	6699103.227	25505534.214	45.111
45009	4	6699103.227	25505534.214	45.119
45009	5	6699103.222	25505534.215	45.110
Keskiarvo		6699103.230	25505534.213	45.108

Taulukko 17. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	-	-	-
45009	2	-	-	-
45009	3	-	-	-
45009	4	6699103.027	25505533.875	44.246
45009	5	-	-	-
Keskiarvo		6699103.027	25505533.875	44.246

21.9.2023 Aamupäivä: piste 45003, Trimble R10

Taulukko 18. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.572	25505641.799	43.757
45003	2	6699312.568	25505641.802	43.758
45003	3	6699312.568	25505641.805	43.762
45003	4	6699312.561	25505641.802	43.747
45003	5	6699312.558	25505641.801	43.753
Keskiarvo		6699312.565	25505641.802	43.755

Taulukko 19. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.564	25505641.812	43.735
45003	2	6699312.563	25505641.818	43.752
45003	3	6699312.561	25505641.813	43.752
45003	4	6699312.564	25505641.806	43.759
45003	5	6699312.567	25505641.815	43.760
Keskiarvo		6699312.564	25505641.813	43.751

21.9.2023 Aamupäivä: piste 45003, Leica GS18

Taulukko 20. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.567	25505641.808	43.769
45003	2	6699312.570	25505641.807	43.769
45003	3	6699312.566	25505641.808	43.767
45003	4	6699312.565	25505641.808	43.765
45003	5	6699312.564	25505641.808	43.764
Keskiarvo		6699312.566	25505641.808	43.767

Taulukko 21. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.570	25505641.810	43.743
45003	2	6699312.571	25505641.807	43.747
45003	3	6699312.571	25505641.808	43.748
45003	4	6699312.570	25505641.806	43.746
45003	5	6699312.567	25505641.806	43.749
Keskiarvo		6699312.570	25505641.807	43.747

21.9.2023 Iltapäivä: piste 45008, Trimble R10

Taulukko 22. Laite: Trimle R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.061	25505343.088	47.470
45008	2	6699090.060	25505343.087	47.471
45008	3	6699090.053	25505343.089	47.473
45008	4	6699090.051	25505343.093	47.450
45008	5	6699090.053	25505343.091	47.469
Keskiarvo		6699090.056	25505343.090	47.467

Taulukko 23. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.055	25505343.093	47.459
45008	2	6699090.063	25505343.088	47.456
45008	3	6699090.062	25505343.091	47.455
45008	4	6699090.079	25505343.089	47.449
45008	5	6699090.069	25505343.097	47.461
Keskiarvo		6699090.066	25505343.092	47.456

21.9.2023 Iltapäivä: piste 45008, Leica GS18

Taulukko 24. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.059	25505343.099	47.450
45008	2	6699090.061	25505343.099	47.453
45008	3	6699090.063	25505343.099	47.451
45008	4	6699090.060	25505343.098	47.454
45008	5	6699090.058	25505343.098	47.453
Keskiarvo		6699090.060	25505343.099	47.452

Taulukko 25. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.065	25505343.096	47.467
45008	2	6699090.065	25505343.096	47.473
45008	3	6699090.063	25505343.099	47.471
45008	4	6699090.063	25505343.094	47.461
45008	5	6699090.064	25505343.096	47.457
Keskiarvo		6699090.064	25505343.096	47.466

21.9.2023 Iltapäivä: piste 45009, Trimble R10

Taulukko 26. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.226	25505534.203	45.141
45009	2	6699103.228	25505534.204	45.140
45009	3	6699103.222	25505534.205	45.132
45009	4	6699103.239	25505534.215	45.137
45009	5	6699103.243	25505534.222	45.143
Keskiarvo		6699103.232	25505534.210	45.139

Taulukko 27. Laite Trimble R10 Tukiasemaverkko SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.196	25505534.231	45.143
45009	2	-	-	-
45009	3	6699103.204	25505534.216	45.150
45009	4	-	-	-
45009	5	6699101.674	25505534.230	45.553
Keskiarvo		6699102.691	25505534.226	45.282

21.9.2023 Iltapäivä: piste 45009, Leica GS18

Taulukko 28. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.231	25505534.205	45.095
45009	2	6699103.232	25505534.203	45.101
45009	3	6699103.231	25505534.203	45.096
45009	4	6699103.231	25505534.203	45.087
45009	5	6699103.228	25505534.206	45.077
Keskiarvo		6699103.231	25505534.204	45.091

Taulukko 29. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.258	25505534.198	45.089
45009	2	6699103.262	25505534.192	45.095
45009	3	6699103.250	25505534.189	45.103
45009	4	6699103.243	25505534.187	45.117
45009	5	6699103.239	25505534.194	45.106
Keskiarvo		6699103.250	25505534.192	45.102

21.9.2023 Iltapäivä: piste 45003, Trimble R10

Taulukko 30. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.572	25505641.802	43.758
45003	2	6699312.578	25505641.804	43.756
45003	3	6699312.584	25505641.807	43.747
45003	4	6699312.580	25505641.805	43.751
45003	5	6699312.580	25505641.807	43.744
Keskiarvo		6699312.579	25505641.805	43.751

Taulukko 31. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.566	25505641.807	43.824
45003	2	6699312.589	25505641.817	43.777
45003	3	6699312.582	25505641.817	43.748
45003	4	6699312.584	25505641.812	43.766
45003	5	6699312.584	25505641.813	43.778
Keskiarvo		6699312.581	25505641.813	43.779

21.9.2023 Iltapäivä: piste 45003, Leica GS18

Taulukko 32. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.572	25505641.803	43.768
45003	2	6699312.571	25505641.803	43.761
45003	3	6699312.569	25505641.803	43.761
45003	4	6699312.569	25505641.804	43.761
45003	5	6699312.566	25505641.804	43.754
Keskiarvo		6699312.569	25505641.803	43.761

Taulukko 33. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.573	25505641.808	43.732
45003	2	6699312.574	25505641.807	43.737
45003	3	6699312.579	25505641.806	43.742
45003	4	6699312.576	25505641.806	43.736
45003	5	6699312.576	25505641.809	43.740
Keskiarvo		6699312.576	25505641.807	43.737

22.9.2023 Aamupäivä: piste 45008, Trimble R10

Taulukko 34. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.066	25505343.095	47.441
45008	2	6699090.054	25505343.099	47.429
45008	3	6699090.055	25505343.100	47.432
45008	4	6699090.055	25505343.098	47.434
45008	5	6699090.059	25505343.097	47.435
Keskiarvo		6699090.058	25505343.098	47.434

Taulukko 35. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.065	25505343.104	47.444
45008	2	6699090.063	25505343.099	47.456
45008	3	6699090.051	25505343.094	47.463
45008	4	6699090.045	25505343.093	47.455
45008	5	6699090.043	25505343.096	47.465
Keskiarvo		6699090.053	25505343.097	47.457

22.9.2023 Aamupäivä: piste 45008, Leica GS18

Taulukko 36. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.054	25505343.102	47.461
45008	2	6699090.059	25505343.101	47.468
45008	3	6699090.061	25505343.099	47.474
45008	4	6699090.062	25505343.099	47.474
45008	5	6699090.059	25505343.098	47.469
Keskiarvo		6699090.059	25505343.100	47.469

Taulukko 37. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.063	25505343.107	47.450
45008	2	6699090.060	25505343.102	47.449
45008	3	6699090.062	25505343.102	47.444
45008	4	6699090.064	25505343.100	47.437
45008	5	6699090.061	25505343.100	47.439
Keskiarvo		6699090.062	25505343.102	47.444

22.9.2023 Aamupäivä: piste 45009, Trimble R10

Taulukko 38. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.230	25505534.207	45.112
45009	2	-	-	-
45009	3	6699103.247	25505534.203	45.055
45009	4	-	-	-
45009	5	-	-	-
Keskiarvo		6699103.239	25505534.205	45.084

22.9.2023 Aamupäivä: piste 45009, Leica GS18

Taulukko 39. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.200	25505534.226	45.117
45009	2	6699103.202	25505534.221	45.105
45009	3	6699103.205	25505534.219	45.085
45009	4	6699103.208	25505534.214	45.077
45009	5	6699103.226	25505534.203	45.051
Keskiarvo		6699103.208	25505534.217	45.087

Taulukko 40. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	-	-	-
45009	2	-	-	-
45009	3	6699103.219	25505534.205	45.056
45009	4	-	-	-
45009	5	6699103.233	25505534.210	45.104
Keskiarvo		6699103.226	25505534.208	45.080

22.9.2023 Aamupäivä: piste 45003, Trimble R10

Taulukko 41. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.559	25505641.825	43.745
45003	2	6699312.559	25505641.823	43.749
45003	3	6699312.555	25505641.823	43.742
45003	4	6699312.553	25505641.816	43.732
45003	5	6699312.560	25505641.814	43.748
Keskiarvo		6699312.557	25505641.820	43.743

Taulukko 42. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.564	25505641.819	43.742
45003	2	6699312.577	25505641.809	43.776
45003	3	6699312.572	25505641.812	43.749
45003	4	6699312.590	25505641.803	43.842
45003	5	6699312.583	25505641.814	43.783
Keskiarvo		6699312.577	25505641.810	43.778

22.9.2023 Aamupäivä: piste 45003, Leica GS18

Taulukko 43. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.562	25505641.815	43.742
45003	2	6699312.561	25505641.817	43.742
45003	3	6699312.565	25505641.813	43.738
45003	4	6699312.564	25505641.813	43.736
45003	5	6699312.567	25505641.814	43.737
Keskiarvo		6699312.564	25505641.814	43.739

Taulukko 44. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.572	25505641.812	43.748
45003	2	6699312.569	25505641.809	43.736
45003	3	6699312.571	25505641.811	43.738
45003	4	6699312.568	25505641.811	43.742
45003	5	6699312.570	25505641.814	43.740
Keskiarvo		6699312.570	25505641.811	43.741

22.9.2023 Iltapäivä: piste 45008, Trimble R10

Taulukko 45. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.040	25505343.097	47.459
45008	2	6699090.034	25505343.091	47.457
45008	3	6699090.048	25505343.084	47.461
45008	4	6699090.047	25505343.082	47.464
45008	5	6699090.046	25505343.084	47.461
Keskiarvo		6699090.043	25505343.088	47.460

Taulukko 46. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.057	25505343.086	47.475
45008	2	6699090.057	25505343.089	47.486
45008	3	6699090.057	25505343.088	47.482
45008	4	6699090.052	25505343.095	47.469
45008	5	6699090.051	25505343.089	47.450
Keskiarvo		6699090.055	25505343.089	47.472

22.9.2023 Iltapäivä: piste 45008, Leica GS18

Taulukko 47. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.055	25505343.094	47.473
45008	2	6699090.053	25505343.095	47.473
45008	3	6699090.052	25505343.095	47.469
45008	4	6699090.049	25505343.095	47.468
45008	5	6699090.047	25505343.095	47.467
Keskiarvo		6699090.051	25505343.095	47.470

Taulukko 48. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.046	25505343.103	47.448
45008	2	6699090.044	25505343.102	47.448
45008	3	6699090.043	25505343.103	47.447
45008	4	6699090.045	25505343.103	47.444
45008	5	6699090.046	25505343.101	47.452
Keskiarvo		6699090.045	25505343.102	47.448

22.9.2023 Iltapäivä: piste 45009, Trimble R10

Taulukko 49. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.214	25505534.210	45.089
45009	2	6699103.225	25505534.211	45.061
45009	3	6699103.229	25505534.216	45.048
45009	4	6699103.222	25505534.206	45.067
45009	5	6699103.216	25505534.211	45.070
Keskiarvo		6699103.221	25505534.211	45.067

Taulukko 50. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.263	25505534.221	45.032
45009	2	-	-	-
45009	3	-	-	-
45009	4	-	-	-
45009	5	-	-	-
Keskiarvo		6699103.263	25505534.221	45.032

22.9.2023 Iltapäivä: piste 45009, Leica GS18

Taulukko 51. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.235	25505534.199	45.098
45009	2	6699103.238	25505534.201	45.096
45009	3	6699103.239	25505534.203	45.109
45009	4	6699103.242	25505534.204	45.106
45009	5	6699103.242	25505534.204	45.097
Keskiarvo		6699103.239	25505534.202	45.101

Taulukko 52. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.260	25505534.203	45.114
45009	2	6699103.287	25505534.219	45.134
45009	3	6699103.250	25505534.200	45.106
45009	4	6699103.239	25505534.194	45.099
45009	5	6699103.264	25505534.196	45.107
Keskiarvo		6699103.260	25505534.202	45.112

22.9.2023 Iltapäivä: piste 45003, Trimble R10

Taulukko 53. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.577	25505641.819	43.759
45003	2	6699312.571	25505641.814	43.755
45003	3	6699312.571	25505641.808	43.754
45003	4	6699312.570	25505641.813	43.763
45003	5	6699312.571	25505641.815	43.771
Keskiarvo		6699312.572	25505641.814	43.760

Taulukko 54. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.567	25505641.818	43.769
45003	2	6699312.561	25505641.816	43.785
45003	3	6699312.556	25505641.813	43.739
45003	4	6699312.565	25505641.810	43.756
45003	5	6699312.577	25505641.801	43.765
Keskiarvo		6699312.565	25505641.812	43.763

22.9.2023 Iltapäivä: piste 45003, Leica GS18

Taulukko 55. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.581	25505641.816	43.760
45003	2	6699312.577	25505641.816	43.755
45003	3	6699312.579	25505641.817	43.752
45003	4	6699312.573	25505641.819	43.740
45003	5	6699312.576	25505641.819	43.749
Keskiarvo		6699312.577	25505641.817	43.751

Taulukko 56. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.578	25505641.814	43.758
45003	2	6699312.572	25505641.810	43.741
45003	3	6699312.566	25505641.812	43.742
45003	4	6699312.567	25505641.815	43.746
45003	5	6699312.573	25505641.818	43.749
Keskiarvo		6699312.571	25505641.814	43.747

26.9.2023 Aamupäivä: piste 45008, Trimble R10

Taulukko 57. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.048	25505343.102	47.458
45008	2	6699090.046	25505343.101	47.453
45008	3	6699090.047	25505343.102	47.448
45008	4	6699090.041	25505343.097	47.435
45008	5	6699090.043	25505343.100	47.443
Keskiarvo		6699090.045	25505343.100	47.447

Taulukko 58. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.046	25505343.100	47.447
45008	2	6699090.059	25505343.105	47.462
45008	3	6699090.044	25505343.106	47.438
45008	4	6699090.058	25505343.101	47.442
45008	5	6699090.045	25505343.094	47.449
Keskiarvo		6699090.050	25505343.101	47.448

26.9.2023 Aamupäivä: piste 45008, Leica GS18

Taulukko 59. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.039	25505343.110	47.467
45008	2	6699090.033	25505343.110	47.462
45008	3	6699090.043	25505343.102	47.466
45008	4	6699090.043	25505343.101	47.477
45008	5	6699090.036	25505343.109	47.489
Keskiarvo		6699090.039	25505343.106	47.472

Taulukko 60. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.049	25505343.110	47.439
45008	2	6699090.043	25505343.110	47.424
45008	3	6699090.037	25505343.112	47.424
45008	4	6699090.037	25505343.108	47.436
45008	5	6699090.045	25505343.109	47.433
Keskiarvo		6699090.042	25505343.110	47.431

26.9.2023 Aamupäivä: piste 45009, Trimble R10

Taulukko 61. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	-	-	-
45009	2	-	-	-
45009	3	-	-	-
45009	4	6699103.212	25505534.212	45.116
45009	5	-	-	-
Keskiarvo		6699103.212	25505534.205	45.116

Taulukko 62. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	-	-	-
45009	2	6699103.212	25505534.205	45.053
45009	3	-	-	-
45009	4	-	-	-
45009	5	-	-	-
Keskiarvo		6699103.212	25505534.205	45.053

26.9.2023 Aamupäivä: piste 45009, Leica GS18

Taulukko 63. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.220	25505534.222	45.133
45009	2	6699103.220	25505534.222	45.127
45009	3	6699103.225	25505534.219	45.125
45009	4	6699103.223	25505534.222	45.138
45009	5	6699103.214	25505534.223	45.145
Keskiarvo		6699103.220	25505534.222	45.134

Taulukko 64. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.225	25505534.236	45.144
45009	2	6699103.174	25505534.195	45.133
45009	3	6699103.204	25505534.203	45.151
45009	4	6699103.214	25505534.223	45.141
45009	5	6699103.240	25505534.230	45.109
Keskiarvo		6699103.211	25505534.217	45.136

26.9.2023 Aamupäivä: piste 45003, Trimble R10

Taulukko 65. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.570	25505641.803	43.767
45003	2	6699312.568	25505641.814	43.787
45003	3	6699312.568	25505641.809	43.756
45003	4	6699312.561	25505641.813	43.756
45003	5	6699312.559	25505641.813	43.763
Keskiarvo		6699312.565	25505641.810	43.766

Taulukko 66. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.562	25505641.812	43.730
45003	2	6699312.562	25505641.815	43.725
45003	3	6699312.561	25505641.817	43.737
45003	4	6699312.560	25505641.821	43.728
45003	5	6699312.568	25505641.825	43.730
Keskiarvo		6699312.563	25505641.818	43.730

26.9.2023 Aamupäivä, piste 45003, Leica GS18

Taulukko 67. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.546	25505641.822	43.779
45003	2	6699312.553	25505641.818	43.765
45003	3	6699312.563	25505641.815	43.748
45003	4	6699312.547	25505641.813	43.765
45003	5	6699312.555	25505641.813	43.761
Keskiarvo		6699312.553	25505641.816	43.764

Taulukko 68. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45003	1	6699312.552	25505641.809	43.732
45003	2	6699312.553	25505641.806	43.729
45003	3	6699312.568	25505641.806	43.714
45003	4	6699312.555	25505641.809	43.718
45003	5	6699312.554	25505641.808	43.726
Keskiarvo		6699312.556	25505641.808	43.724

26.9.2023 Iltapäivä: piste 45008, Trimble R10

Taulukko 69. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.040	25505343.099	47.465
45008	2	6699090.047	25505343.096	47.449
45008	3	6699090.048	25505343.099	47.459
45008	4	6699090.045	25505343.098	47.468
45008	5	6699090.050	25505343.094	47.458
Keskiarvo		6699090.046	25505343.097	47.460

Taulukko 70. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.068	25505343.088	47.463
45008	2	6699090.065	25505343.062	47.424
45008	3	6699090.051	25505343.092	47.442
45008	4	6699090.085	25505343.066	47.442
45008	5	6699090.060	25505343.093	47.448
Keskiarvo		6699090.066	25505343.080	47.444

26.9.2023 Iltapäivä: piste 45008, Leica GS18

Taulukko 71. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.063	25505343.100	47.474
45008	2	6699090.046	25505343.102	47.489
45008	3	6699090.070	25505343.093	47.470
45008	4	6699090.048	25505343.102	47.481
45008	5	6699090.044	25505343.102	47.484
Keskiarvo		6699090.054	25505343.100	47.480

Taulukko 72. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45008	1	6699090.060	25505343.101	47.461
45008	2	6699090.061	25505343.102	47.459
45008	3	6699090.071	25505343.094	47.459
45008	4	6699090.070	25505343.096	47.468
45008	5	6699090.092	25505343.082	47.464
Keskiarvo		6699090.071	25505343.095	47.462

26.9.2023 Iltapäivä: piste 45009, Trimble R10

Taulukko 73. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.225	25505534.226	45.178
45009	2	6699103.233	25505534.215	45.169
45009	3	6699103.213	25505534.194	45.083
45009	4	6699103.197	25505534.191	45.078
45009	5	6699103.218	25505534.220	45.167
Keskiarvo		6699103.217	25505534.209	45.135

Taulukko 74. Laite: Trimble R10 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	-	-	-
45009	2	6699103.191	25505534.218	45.134
45009	3	-	-	-
45009	4	6699103.241	25505534.244	45.170
45009	5	-	-	-
Keskiarvo		6699103.216	25505534.231	45.152

26.9.2023 Iltapäivä: piste 45009, Leica GS18

Taulukko 75. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: Trimnet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.214	25505534.208	45.125
45009	2	6699103.216	25505534.206	45.127
45009	3	6699103.217	25505534.206	45.124
45009	4	6699103.219	25505534.202	45.134
45009	5	6699103.220	25505534.205	45.136
Keskiarvo		6699103.217	25505534.205	45.129

Taulukko 76. Laite: Leica GS18 Tukiasemaverkko: SmartNet

Piste	Mittaus	X	Y	Z
45009	1	6699103.209	25505534.212	45.100
45009	2	6699103.225	25505534.213	45.093
45009	3	6699103.211	25505534.212	45.104
45009	4	6699103.222	25505534.208	45.082
45009	5	6699103.257	25505534.211	45.104
Keskiarvo		6699103.225	25505534.211	45.097