

# GNSS- JA TAKYMETRIMITTAUKSEN MITTAUSTARK- KUUSVERTAILU KAUPUNKIOLOSUHTEISSA

Koponen Jukka  
Hiltunen Jani

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Maanmittaustekniikan ko.  
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikan ja liikenteen ala  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Jani Hiltunen Jukka Koponen	<b>Vuosi</b>	2016
<b>Ohjaaja</b>	Timo Karppinen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Proacon Oy		
<b>Työn nimi</b>	GNSS- ja takymetrimittauksen mittaustarkkuusvertailu kaupunkiolosuhteissa		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	48 + 58		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia kaupunkiolosuhteiden vaikutusta GNSS- ja takymetrimittauksien mittatarkkuuksiin. Tutkimus toteutetaan vertailemalla työn aikana kerättyä, GNSS- ja takymetрилaitteistolla mitattua havaintoaineistoa toisiinsa. Vertailu kohdistuu mitattujen pisteryhmien välisten ja sisäisten hajontojen tarkastelemiseen. Tutkimukseen liittyen työssä perehdytään myös kaupunkiolosuhteissa yleisesti vaadittaviin mittaustarkkuuksiin, GNSS- ja takymetрилaitteiston toimintaperiaatteisiin, laitteiden mittaustarkkuuksiin sekä mittaustarkkuuksiin vaikuttaviin tekijöihin.

Tutkimuksessa käytettävä mittaussaineisto kerättiin Rovaniemen keskustan läheisyydessä sijaitsevassa työmaakohteessa. Mittauksia varten työalueelle perustettiin kolme apupistettä ja seitsemän havaintopistettä. Apupisteet sijoitettiin avoimille paikoille hyvien mittaolosuhteiden mallintamiseksi. Havaintopisteiden sijoittelussa kiinnitettiin huomiota rakennusten ja puuston peitteisiin.

GNSS-toistomittauksia suoritettiin neljän vuorokauden ajan aamulla kello 9 sekä iltapäivällä kello 15. Näin vuorokauden aikojen vaihtelu pyrittiin huomioimaan mittauksissa. Lisäksi GNSS-mittauksissa käytettiin kolmea eri havaintoaikaa, jotka olivat 1, 5 ja 30 sekuntia. Takymetrimittaukset suoritettiin yhden vuorokauden aikana. Takymetrimittauksen orientointipisteinä käytettiin GNSS-laitteistolla mitattuja apupisteitä.

Työn aikana kerätyn aineiston pohjalta todettiin, ettei GNSS-laitteistolla mitattujen havaintojen hajoamisessa ole suuria eroja aamu- ja iltapäivän mittausten välillä. Huomattavia eroja ei ollut nähtävissä myöskään eri havaintoajalla havaintopisteille mitattujen pisteryhmien välillä. Takymetrillä mitattujen havaintojen hajonta oli huomattavasti pienempää kuin GNSS-laitteistolla mitattujen pisteiden hajonta. Lisäksi takymetrillä mitattujen havaintojen hajonta suhteessa toisiinsa oli systemaattista. Työn johtopäätöksenä voidaan todeta kaupunkiolosuhteiden vaikuttavan GNSS-laitteistolla mitattujen havaintojen hajontaan huomattavasti takymetrihavaintoja enemmän.

Avainsanat GNSS, mittausslaitteet, mittaussmenetelmät, satelliittipainaus, takymetri

School of Technology,  
Communication and Transport  
Degree Programme of  
Land Surveying  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Jukka Koponen Jani Hiltunen	Year	2016
<b>Supervisor</b>	Timo Karppinen		
<b>Commissioned by</b>	Proacon Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Comparison of the GNSS and Tacheometer Measurement Accuracy in City Environment		
<b>Number of pages</b>	48 + 58		

---

The aim of this thesis was to study the measuring accuracy of the GNSS system and tacheometer in an urban environment. The thesis also focused on common measuring accuracy guidelines of urban environment. The operating principles of the GNSS system and tacheometer were discussed as well as their claimed accuracies and factors that affect them.

The study was carried out by comparing data measured during the thesis. The comparison concentrated on observing differences between measured point concentrations. The data was gathered with building site surveys. The GNSS surveys were dispersed on four-day period. The surveys were conducted twice a day to observe whether the time of the day affects the results. In addition, surveys were divided to three groups based on the time used in measuring. Tacheometer surveys were conducted on a single day.

The data gathered from measurements showed that there are no notable differences between the measurements done in the morning or in the afternoon. There also were no significant discrepancy in the measurements with different observation time. When comparing the tacheometer and the GNSS devices, the dispersion was noticeably less significant in the tacheometer surveys. As a conclusion, the urban environment affects the dispersion of the GNSS results significantly more than the corresponding results measured by the tacheometer.

**Keywords** GNSS, measuring instruments, measuring methods, satellite navigation, tacheometer

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	8
2	SATELLIITTIPAIKANNUS .....	10
2.1	Satelliittipaikannuksen peruseriaatteet.....	10
2.2	Satelliittimittauksen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät .....	12
2.2.1	Satelliittipaikantimien mittaustavat.....	12
2.2.2	Satelliitteihin sekä vastaanottimiin liittyvät virheet .....	14
2.2.3	Signaaleihin liittyvät virheet .....	16
2.3	Satelliittipaikantimien tarkkuudet.....	18
3	TAKYMETRIMITTAUS .....	21
3.1	Takymetrimittauksen peruseriaatteet .....	21
3.1.1	Elektro-optinen etäisyydenmittaus.....	21
3.1.2	Kulmamittaus .....	23
3.1.3	Takymetrin orientointi.....	24
3.2	Takymetriä tarkkuudet ja niihin vaikuttavat tekijät.....	26
4	VERTAILEVA MITTAUS KAUPUNKIOLOSUHTEISSA.....	28
4.1	Työn aloitusvaihe .....	28
4.1.1	Tavoitteet ja aikataulu .....	28
4.1.2	Työhön liittyviä muutoksia suunnitteluvaiheessa .....	29
4.2	Hypoteesi.....	30
4.3	Mittausten suorittaminen.....	30
4.4	Mittaustulosten analysointi.....	31
4.4.1	Apupiste 1 .....	31
4.4.2	Apupiste 2 .....	32
4.4.3	Apupiste 3 .....	32
4.4.4	Takymetrimittauksen asemapistet .....	33
4.4.5	Havaintopiste 1.....	33
4.4.6	Havaintopiste 2.....	35
4.4.7	Havaintopiste 3.....	36
4.4.8	Havaintopiste 4.....	37
4.4.9	Havaintopiste 5.....	38
4.4.10	Havaintopiste 6 .....	39
4.4.11	Havaintopiste 7 .....	40

4.5 Yhteenveto.....	41
5 POHDINTA.....	44
LÄHTEET.....	46
LIITTEET .....	48

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö toteutettiin Proacon Oy:n toimeksiannosta. Toimeksiantajan edustajana työn aikana toimi suunnittelupäällikkö Janne Alkki. Haluamme kiittää Proacon Oy:tä ja Janne Alkkia työn aiheesta sekä asiantuntija-avusta opinnäytetyön aikana. Lisäksi haluamme kiittää hyvien mittauskohteiden osoittamisesta, työmailla tarvittavan perehdytyksen järjestämisestä sekä nopeasta reagoinnista työn aikana kohdattujen ongelmien ratkaisemisessa.

Opinnäytetyön aikana toteutetut vertailevat mittaukset suoritettiin Lapin ammatti-  
korkeakoulun mittalaitteilla. Haluamme kiittää laitteiden joustavasta lainaamisesta. Lisäksi haluamme esittää kiitoksen työn ohjaavana opettajana toimineelle Timo Karppiselle sekä kielenohjauksesta vastanneelle Tuija Haapasalmelle kannustavasta tuesta työn aikana. Haluamme myös esittää erityiskiitoksen maanmittaustekniikan yliopettaja Pasi Laurilalle tätä työtä varten myönnetystä asiantuntijahaastattelusta.

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

DOP	Dilution Of Position, satelliittipaikannuksessa mittaustarkkuutta kuvaava luku (Laurila 2012, 308).
GNSS	Global Navigation Satellite System, maailmanlaajuinen satelliitteihin perustuva paikannusjärjestelmä (Poutanen 1998, 12).
RMS	RMS eli Root Mean Square, satelliittipaikantimen laskemien sijaintien hajonnan suuruutta kuvaava luku (Spatial-Ed 2016, 1–2).
RTK	Real Time Kinematic, suhteellisen mittauksessa käytetty mittausmenetelmä (Laurila 2012, 319).
RYL	Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset (Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset 2010, 13).

## 1 JOHDANTO

Elektroniikan kehitys on vaikuttanut maanmittaustekniikkaan huomattavasti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tässä ajassa eri mittalaitteiden tarkkuudet ja soveltamismahdollisuudet ovat kehittyneet paikoin huomattavasti. Satelliittipai-  
kantimesta ja takymetrasta on tullut jokapäiväisiä työkaluja maanmittausalan toi-  
mijalle kaupunkiolioissa suoritettavissa mittaustehtävissä.

Kaupunkiolosuhteissa tehtäviltä mittauksilta vaaditaan eri tarkkuuksia riippuen tehtävästä mittaustyöstä. Nämä tarkkuudet on yleensä mainittu työtä koskevissa yleisissä ohjeistuksissa. Kaupunkiolosuhteissa sovellettavia ohjeita ovat esimerkiksi julkisen hallinnon suositus 185, MaaRYL, InfraRYL sekä Asfalttinormit. Osassa ohjeista ei kuitenkaan ole mainintaa käytettävän mittalaitteiston vaadittavasta tarkkuudesta. Näissä ohjeissa mainitaan ainoastaan suurin sallittu rakenteen poikkeama suhteessa suunnitelma-asiakirjoihin. (Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset: Osa 1 Väylät ja alueet 2006, 9–10; Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset: Talonrakennuksen maatyöt 2010, 13–14; Asfalttinormit 2011, 7–8; JUHTA 2014, 4.)

Julkisen hallinnon suosituksessa asemakaavan pohjakartan laatimisesta määritellään rajamerkkien kartoitus- sekä merkintämittausten tasotarkkuudet. Tasotarkkuudet on jaettu ohjeessa kolmeen mittaussluokkaan. Mittaussluokassa 1 mitattavien kohteiden tulee olla vähintään 12 senttimerin sisällä mitattavan kohteen absoluuttisesta sijainnista, mittaussluokassa 2 vähintään 20 senttimerin sisällä mitattavan kohteen absoluuttisesta sijainnista ja mittaluokassa 3 vähintään 30 senttimetrin sisällä kohteen absoluuttisesta sijainnista. (JUHTA 2014, 4.)

Rakennustyömailla suoritettavien mittausten tarkkuuksia ja sallittuja tarkkuusvaihteluita suunnitelma-asiakirjoissa määritettyihin tarkkuuksiin käsitellään Rakennustietosäätiön laatimissa rakentamisen yleisissä laatuvaatimuksissa, yleisemmin RYL-ohjeissa. Kaupunkiolosuhteissa eniten sovellettavia RYL-ohjeita ovat MaaRYL ja InfraRYL. Ohjeissa on joitain mainintoja mittaustarkkuuksista, esimerkiksi InfraRYL osa 1 sisältää vaadittuja paalujen merkintätarkkuuksia,



mutta suurimmalta osin ohjeissa on kerrottu lopullisten sijaintien suurimmista sallituista poikkeamista. (Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset: Osa 1 Väylät ja alueet 2006, 170, 172, 179, 185.)

Teiden päällysteeseen liittyviä sallittuja vaihtelueroja käsitellään päällystealan neuvottelukunnan laatimissa Asfalttinormit-ohjeissa. Ohjeessa mainitaan sallitut poikkeamat suunnitelma-asiakirjan ja rakenteen todellisen sijainnin välillä, eikä siinä kerrota päällysteen mittaamiseen käytettävistä mittausten menetelmistä. (Asfalttinormit 2011, 88.)

Opinnäytetyön tilaaja on Proacon Oy, joka on mittaus- ja rakennuttamispalveluita tarjoava rovaniemeläinen asiantuntijayritys. Tässä työssä tilaaja on kiinnostunut satelliittipaikannusjärjestelmän sekä takymetrimittauksen välisistä tarkkuuseroista kaupunkiolosuhteissa. Tilaaja toivoo työn herättävän alan toimijoiden huomiota, jotta laitteiden soveltuvuus eri olosuhteisiin huomioitaisiin paremmin.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä GNSS- ja takymetrilaitteiston toimintaperiaatteisiin sekä suorittaa laitteilla vertailevia mittauksia kaupunkiolosuhteissa. Työn tarkoitus ei ollut vertailla eri laitteistoilla mitattujen havaintojen eroja mitattavan kohteen absoluuttiseen sijaintiin. Mittaustulosten analysoinnissa keskityttiin vertailemaan havaintojen välisiä koordinaattieroja ja analysoimaan mittaustuloksiin mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä. Analysoinnissa otettiin huomioon eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen mahdolliset erot.

Työhön liittyvä vertailtava mittausaineisto kerättiin työmaamittauksissa, jotka suoritettiin tilaajan osoittamalla työmaalla Rovaniemen keskustan läheisyydessä. Mittaukset suoritetaan Lapin ammattikorkeakoulun lainaamalla mittalaitteilla lokakuussa 2016.

## 2 SATELLIITTIPAIKANNUS

### 2.1 Satelliittipaikannuksen peruseriaatteet

Satelliittipaikannus perustuu maata kiertävien satelliittien lähettämän signaalin vastaanottamiseen sekä signaalin satelliitilta vastaanottimelle kuluvan ajan laskeamiseen. Signaalia vastaanottava satelliittipaikannin määrittää sijaintinsa vastaanotetun datan avulla. Vastaanotettavaan dataan kuuluu muun muassa satelliiteilta vastaanottimeen kulunut aika, satelliitin vastaanottimelle lähettämä kellokorjaustieto sekä tietoja ilmakehän vaikutuksesta signaalin kulkuun. (Laurila 2012, 286, 291.)

Satelliittipaikannus kehitettiin alun perin sotilaskäyttöön (Miettinen 2006, 23). Paikannusteknologian siviilikäyttö tuli mahdolliseksi vuonna 1984, kun Yhdysvaltojen presidentti myönsi luvan teknologian vapaalle käytölle (Miettinen 2006, 23, 25). Yhdysvaltojen puolustusvoimat kuitenkin häiritsivät satelliittien signaalia aina vuoteen 2000 asti. Häirinnällä haluttiin varmistaa, ettei kukaan voisi käyttää tarkkaa sijaintitietoa Yhdysvaltoja vastaan. Häirinnan poistuttua käytöstä paikannustarkkuus parani huomattavasti, noin sadan metrin tarkkuudesta kymmenen metrin tarkkuuteen. (Uren & Price 2010, 267–268.)

Häirinnanpoiston vuoksi parantunut paikannustarkkuus ja teknologian kehitys ovat johtaneet paikannusmenetelmän käytön räjähdysmäiseen kasvuun viimeisen viidentoista vuoden aikana (Poutanen 1998, 12). Kasvanut käyttö on luonut tarpeen paikannusmenetelmän tarkkuuden jatkuvalla kehittämiselle. Tarkkuutta on parannettu muun muassa maan pinnalla toimivan tukiasemaverkon lähettämän korjausdatan avulla. Nykyaikaiset ammattikäyttöön suunnitellut satelliittipaikantimet saavuttavat jopa muutamien senttien tarkkuuksia. (Uren & Price 2010, 253.)

Satelliittipaikannusjärjestelmä eli GNSS (Global Navigation Satellite System) koostuu Yhdysvaltojen GPS-satelliiteista, Venäjän Glonass-satelliiteista sekä lähitulevaisuudessa myös Euroopan Galileo-satelliittijärjestelmästä. Paikkatiedon tarpeen kasvu tekniikan kehityksen myötä on kannustanut myös muita kansainvälisiä toimijoita käynnistämään omia hankkeitaan satelliittien ampumiseksi avaruuteen. Kansainväliset toimijat haluavat vähentää riippuvuuttaan Yhdysvaltojen

ylläpitämästä satelliittijärjestelmästä. Esimerkiksi Kiina on kehittänyt omia uutta tekniikkaa käyttäviä satelliittejaan. (Poutanen 1998, 12; Laurila 2012, 294, 301; Ilmatieteen laitos 2016a; Korhonen 2016.)

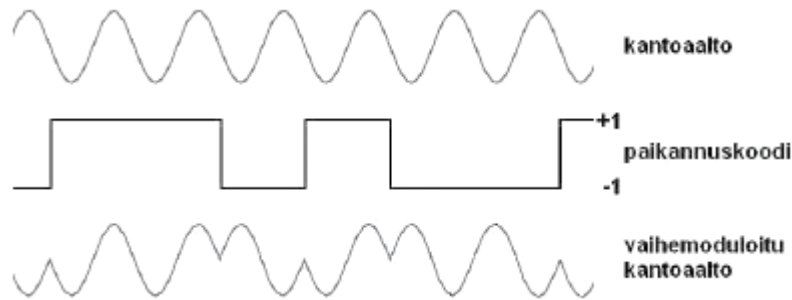
Satelliitit kiertävät maata noin 20 200 kilometrin korkeudessa. Yhden satelliitin maapallon kiertoaika on yksi tähtivuorokausi eli 11 tuntia ja 58 minuuttia. Niiden inkliinaatiokulma eli kaltevuuskulma on 55 astetta päiväntasaajaan nähden. Satelliitit kiertävät maata kuudessa ratatasossa, jossa jokaisella on useita satelliitteja. Ratatasot ja satelliitit sijoittuvat toisiinsa nähden niin, että paikannuslaskentaan tarvittava määrä satelliitteja pitäisi olla aina saatavilla. (Miettinen 2006, 33–34.)

Jokainen satelliitti lähettää maapalloa kohden signaalia millisekunnin välein. Signaali koostuu kantoaallostaa, valvontalohkon liittämästä navigointiviestistä ja paikannuskoodista. Kantoaallot ovat satelliittipaikannuksessa mikroaaltosäteilyä ja ne koostuvat kolmesta kantoaallostaa L1, L2 ja L5. Kantoaalto L1 toimii 1575.42 MHz:n, kantoaalto L2 1227.60 MHz:n ja kantoaalto L5 1176.45 MHz:n taajuudella. Kantoaalto L5 on uusi taajuus, jota kehitetään toimimaan kantoaallon L2 rinnalla. Tämä parantaa mittaustarkkuutta satelliittipaikantimissa, jotka pystyvät käsittelemään useampia kantoaaltoja kerrallaan. (Laurila 2012, 283, 287.)

Maan pinnalla sijaitsevat valvontalohkot lisäävät kantoaaltoihin navigointiviestin (Laurila 2012, 283). Valvontalohko on maailmanlaajuinen tukiasemien verkko, joka seuraa satelliitteja ja niiden lähettämää dataa. Tukiasemat lähettävät dataa maata kiertäville satelliiteille. Navigointiviestiin on määritelty tietoja satelliittien kiertoradoista, almanakasta, satelliittien häiriöilmoituksista, kellokorjauksesta sekä korjausdataa ilmakehässä tapahtuvista virheistä. (Uren & Price 2010, 252–253; Laurila 2012, 286; Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics 2016.)

Satelliitit lisäävät valvontalohkon lähettämään kantoaaltoon paikannuskoodin. Lisättävät paikannuskoodit eivät sisällä tietoa, vaan ne ovat pseudosatunnaisia sekvenssejä eli jaksoja. Paikannuskoodi koostuu kahdesta jaksosta, +1 ja -1. Pseudosatunnaisuus tuotetaan algoritmillä. Paikannuskoodien käyttötarkoitus perustuu sekvenssien moduloimiseen. Paikannuskoodi liitetään eli moduloidaan

kantoaaltoon pseudosatunnaisesti jaksoittain. Signaalin modulointi on havainnollistettu kuviossa 1. Moduloinnin ansiosta signaalin kulkema aika voidaan mitata vastaanottimissa. (Poutanen 1998, 11–12; Laurila 2012, 287.)



Kuvio 1. Kanta-aallon ja paikannuskoodin modulointi vaihemoduloituksi kanta-aaloksi. (Laurila 2012, 287.)

Satelliittipaikannuksessa käytettäviä paikannuskoodoja ovat P- ja C/A-koodi. P-koodi eli Precise-code on Yhdysvaltojen armeijan käytössä oleva salattu koodi. C/A- koodi eli Coarse/Acquisition- code on siviilikäyttäjille tarkoitettu avoin koodi, jota voidaan käyttää paikannukseen kaikissa paikannuslaitteissa. (Laurila 2012, 286–287.)

## 2.2 Satelliittimittauksen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät

### 2.2.1 Satelliittipaikantimien mittaustavat

Satelliittipaikannuksen mittaustapoja ovat absoluuttinen paikannus, differentiaalinen paikannus sekä suhteellinen paikannus. Mittaustavat eroavat toisistaan saavutettavien tarkkuuksien, havaintosuureiden sekä käytettävien paikannusmenetelmien osalta. (Laurila 2012, 293.)

Absoluuttinen paikannus on yleisimmin käytetty mittaustapa. Absoluuttisessa paikannuksessa satelliitit laskevat vastaanottimen sijainnin suhteessa maan keskipisteeseen. Mittaustapaa käytetään esimerkiksi autojen ja puhelimien navigaattoreissa. (Poutanen 1998, 13.)

Absoluuttisen mittauksen havaintosuure on avoin C/A-koodi. C/A-koodissa kantoaaltoon moduloitu tieto hyödynnetään sijainnin määrittämiseen. C/A-koodin kokonaispituus on noin 300 kilometriä. Signaalin kulkema aika määritellään signaalin viivytystekniikan avulla. Viivytystekniikassa vastaanotin viivyttää sisäistä C/A-koodin +1 ja -1 sekvenssiä. Viivytystekniikan periaatteena on satelliittien lähettämisen ja satelliittipaikantimen sisäisen sekvenssin yhdenaikaistaminen. Yhden sekvenssin ollessa kestoaltaan  $10^{-6}$  sekuntia, voidaan viivytettyjen jaksojen määrä muuttaa aikaeroksi. Etäisyys satelliitteihin saadaan laskettua algoritmin toistojen kokonaismäärästä, viivytystekniikalla saadusta sekvenssin osamatkasta ja C/A-koodin pituudesta. Absoluuttisen paikannuksen tarkkuus on noin kymmenen metriä, mutta sitä voidaan parantaa havaintoaikaa pidentämällä. (Laurila 2012, 292–293, 295–298.)

Differentiaalista paikanmäärittystä käytetään muun muassa merenkulussa ja kannettavissa GIS-paikantimissa (Poutanen 1998, 11–12). Differentiaalisen ja absoluuttisen paikanmäärittelyn peruseriaatteet ovat pitkälti samat. Molemmat käyttävät havaintosuurena avointa C/A-koodia ja laskevat sijaintinsa satelliittien viivytystekniikkaa hyödyntäen. Absoluuttisessa paikannuksessa vastaanotin laskee sijaintinsa satelliittien lähettämien signaalien perusteella. Differentiaalisessa paikannuksessa puolestaan käytetään kahta vastaanotinta, joista toinen on tunnetulla pisteellä oleva tukiasema. Vastaanottimen keräämää sijaintitietoa verrataan reaaliajassa tukiasemalla laskettuihin arvoihin ja tukiasema lähettää korjatun paikkatiedon radiolinkin välityksellä vastaanottimeen. Paikannin korjaa sijaintiaan tukiasemalta saamansa korjausdatan perusteella. Näillä korjausmetodeilla päästään parhaimmillaan puolen metrin tarkkuuteen. (Laurila 2012, 299–300.)

Suhteellinen paikannus on tarkkuutensa vuoksi paikkatietoalan ammattilaisten käytössä oleva mittaustapa. Suhteellisessa mittauksessa C/A- ja P-koodit suodatetaan satelliittien lähettämästä signaalista. Tämä poistaa paikannuskoodien mittaustarkkuuksiin liittyvät rajoitukset. Suhteellisessa mittauksessa paikannukseen käytetään vain kantoaaltoja L1, L2 ja L5. Kantoaaltojen aallonpituuksien määrä on harvoin tasaluku, joten paikannukseen joudutaan huomioimaan myös käytettävien kantoaaltojen osia. Tätä mittaustapaa kutsutaan vaihe-eromittaukseksi.

Mittauksen yksikkönä toimii kantoaallon aallonpituus. Etäisyydenmääritys suhteellisessa mittauksessa saadaan laskemalla aallonpituuksien määrä sekä yli menevän aallonpituuden osa. (Laurila 2012, 302.)

### 2.2.2 Satelliitteihin sekä vastaanottiin liittyvät virheet

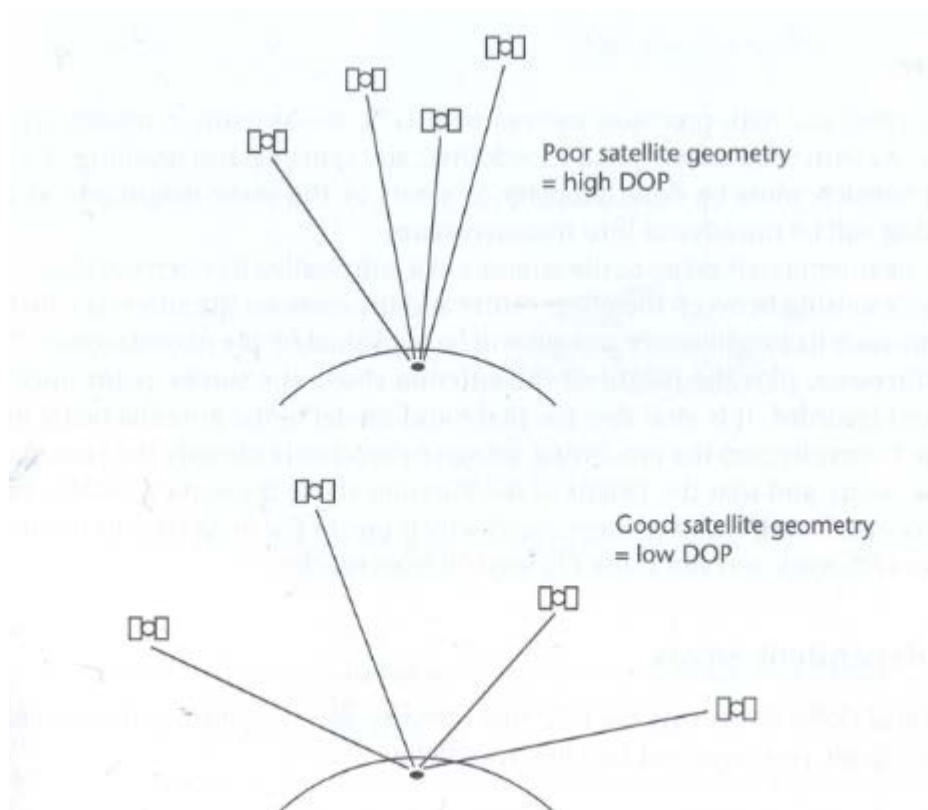
Satelliittipaikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat monet tekijät. Satelliittien osalta suurimmat ja yleisimmät virheiden aiheuttajat ovat heikko satelliittigeometria, satelliittien kellovirheet sekä satelliittien kiertoradoissa tapahtuvat odottamattomat muutokset. Vastaanottimen osalta yleisin virhe on signaalin kulkeman ajan mittauksessa käytettävän kellon virhe. (Laurila 2012, 305–306.)

Satelliittigeometrialla on suuri merkitys GNSS-mittauksien tarkkuudessa. Hyvässä satelliittigeometriassa satelliitteja on runsaasti ja ne ovat levittäytyneet tasaisesti mittaajan horisontin yläpuolelle. Satelliitit, jotka jäävät mittaajan horisontin tasolle jätetään pois laskennasta niiden lähettämän signaalin virhemahdollisuuden vuoksi. Tällaiset satelliittisignaalit kulkevat paljon pidemmän matkan ilmakehän läpi, jolloin ilmakehärakenteiden laskeminen vaikeutuu huomattavasti. Tästä syystä GNSS-laitteistoon määritellään kulma, jonka alapuolella olevia satelliitteja ei oteta mukaan laskentaan. (Uren & Price 2010, 265.)

Heikossa satelliittigeometriassa satelliitit ovat huonossa asemassa mittaajaan nähden, usein esteiden kuten rakennusten tai puiden takia. Heikko satelliittigeometria voi johtua myös satelliittien sijoittumisesta lähelle toisiaan, jolloin niiden välinen kulma jää pieneksi. Tämä heikentää paikannuksen tarkkuutta. Heikon satelliittigeometrian vuoksi GNSS-laitetta voi olla mahdotonta käyttää halutulla tarkkuudella. Haastavissa mittausolosuhteissa mitattaessa satelliittien signaalit eivät pääse esteiden läpi ilman häiriöitä. Esteet vaikuttavat satelliitin signaalin vastaanottamiseen ja näin ollen huonontavat oleellisesti mittaustarkkuutta. (Uren & Price 2010, 262–263.)

Nykyaikaiset satelliittipaikantimet tarkkailevat satelliittigeometriaa mittauksen aikana. Satelliittigeometrian vaihtelua voidaan havainnoida satelliittipaikantimen DOP-lukujen avulla. DOP-luku eli Dilution of Precision -luku havainnollistaa reaaliajassa satelliittigeometriaa ja sen muutoksia. Pieni DOP-luku merkitsee hyvää

mittaustarkkuutta (Kuvio 2). Mittaustarkkuus on suoraan verrannollinen DOP-lukemaan. (Laurila 2012, 308.)



Kuvio 2. Huonon ja hyvän satelliittigeometrian eroavaisuudet. (Uren & Price 2010, 263.)

Paikantimen ja satelliitin kellojen käydessä eri aikaa puhutaan kellovirheestä. Paikannukseen vaaditaan kellojen käyvän samaa aikaa, jotta satelliitin etäisyys paikantimesta voitaisiin laskea. Satelliittien kellovirheet korjataan absoluuttisessa ja differentiaalisessa paikannuksessa satelliitin signaaliin moduloidun kellokorjausdatan avulla. Kellovirhe korjataan vertailemalla paikantimen kelloa neljän satelliitin atomikelloihin. Suhteellisessa paikannuksessa kellovirhe mitätöidään yhdistämällä satelliitilta ja tukiasemalta vastaanotettu kellokorjausdata. (Uren & Price 2010, 273; Laurila 2012, 297–298.)

Satelliitin kiertoratavirhe johtuu kiertoradassa odottamattomasti tapahtuneesta muutoksesta. Tätä virhettä korjataan kiertoratakorjauksen avulla. Kiertoratakorjaus perustuu valvontalohkon keräämään tietoon satelliittien kiertoradoista ja niissä tapahtuvista muutoksista. Mittaustuloksen kiertoratakorjaus lasketaan re-

aaliajassa. Laskennassa valvontalohko moduloi satelliitille lähetettävään kanta-aaltoon tarvittavan kiertoratakorjausdatan. Satelliitti lähettää tämän korjausdatan edelleen vastaanottimelle, joka huomioi sen korjauslaskelmassaan. Tarvittaessa satelliittien kiertoratavirheet voidaan eliminoida täysin mittaustuloksista jälkilaskennan avulla. Jälkilaskentaa varten satelliittien ratatiedot ovat saatavissa internetistä. Jälkilaskentaa tehdään vain tarkimpiin mittauksiin, kuten kiintopistemittauksiin, sillä kiertoratavirhe ei vaikuta mittaustulokseen yhtä merkittävästi kuin esimerkiksi huono satelliittigeometria. (Uren & Price 2010, 262; Laurila 2012, 306.)

### 2.2.3 Signaaleihin liittyvät virheet

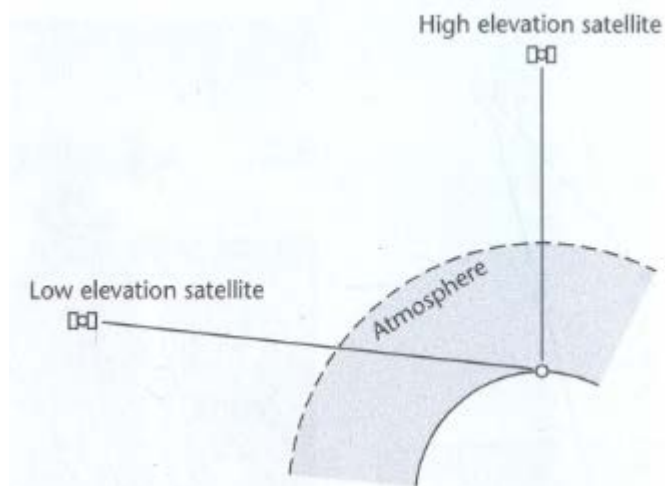
Satelliittipaikannus perustuu satelliittien lähettämän signaalin kulkuajan mittaamiseen. Tämän vuoksi signaaliin liittyvien virheiden huomiointi mittauksessa on ensiarvoisen tärkeää. Myös signaalin kulkumatka ilmakehässä vaikuttaa paikannuksen tarkkuuteen. Mitä pidemmän matkan signaali kulkee ilmakehässä, sitä vaikeammaksi virheenkorjauksen määrittäminen muodostuu (Kuvio 3). Tärkeimpiä signaalin kulkuun vaikuttavia tekijöitä ovat ilmakehässä tapahtuva signaalin hidastuminen, monitieheijastus sekä vaihekatko. (Uren & Price 2010, 265.)

Ilmakehä ja siinä tapahtuvat jatkuvat muutokset hidastavat satelliittisignaalien matkaa maan pinnalle (Uren & Price 2010, 264). Eniten muutoksia tapahtuu ilmakehän ylimmässä kerroksessa, ionosfäärissä, ja ilmakehän alimmassa kerroksessa, troposfäärissä. Ilmakehän aiheuttamien virheiden huomiointi mittauksissa on haastavaa niiden huonon ennustettavuuden ja monimutkaisten korjauslaskelmien vuoksi. (Laurila 2012, 306; Ilmatieteen laitos 2016a.)

Ionosfäärissä signaalin kulkuun ja nopeuteen vaikuttavat elektronipitoisuudessa tapahtuvat muutokset. Näitä muutoksia aiheuttavat muun muassa auringon UV-säteily ja ionosfäärin magneettiset sähkövirrat. Troposfäärissä signaalin kulkuun vaikuttavat paikalliset vesihöyrypitoisuuden vaihtelut. Vesihöyrypitoisuuden muutoksia aiheuttavat alailmakehässä tapahtuvat sääilmiöt. Ilmakehässä tapahtuvia virheitä pyritään korjaamaan vastaanottimesta riippuen joko navigointiviestiin li-

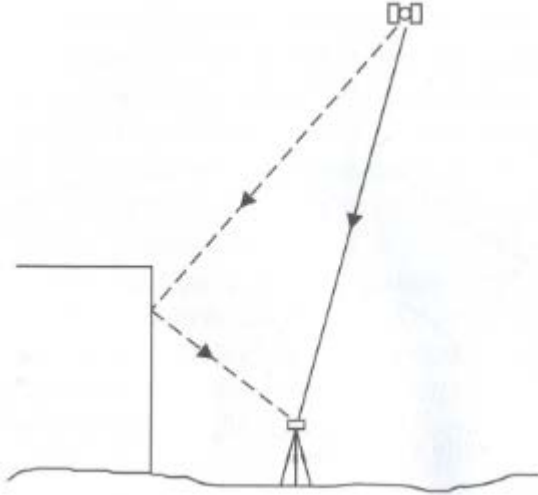


sätyillä ilmakehän korjausdatalla tai satelliitin lähettämien kantoaaltojen havaintopointeja vertailemalla. (Uren & Price 2010, 264; Laurila 2012, 306; Ilmatieteen laitos 2016a; Ilmatieteen laitos 2016b.)



Kuvio 3. Matalassa ja korkeassa kulmassa olevien satelliittien lähettämän signaalin kulkema matka ilmakehässä. (Uren & Price 2010, 265.)

Monitieheijastus tarkoittaa tilannetta, jossa osa satelliittien lähettämistä signaaleista ei saavu suoraan vastaanottimelle. Signaalit heijastuvat tuntemattomasta pinnasta, kuten vedestä tai rakennuksen seinäpinnasta aiheuttaen väärän signaalipituuden (Kuvio 4). Koska vastaanotin määrittää sijaintinsa signaalipituuden perusteella, tämä vaikuttaa paikannuksen tarkkuuteen. Vastaanotin ei osaa huomioida vääristynyttä signaalia sijainnin määrittämisessä. (Uren & Price 2010, 266.)



Kuvio 4. Monitieheijastuksen aiheuttama signaalipituuden virhe. (Uren & Price 2010, 266.)

Satelliittimittauksessa tapahtuva vaihekatko tarkoittaa tilannetta, jossa paikannin menettää yhteyden satelliitin lähettämään kantaaltoon. Tämän voi aiheuttaa ilmakehässä tapahtuva muutos, monitieheijastus tai mittauksen aikana huononeva satelliittigeometria. Vaihekatkon sattuessa mittauksen tarkkuuden voi yleisesti todeta huonontuvan. Useiden vaihekatkojen sattuessa mittaus tulee aloittaa uudelleen tarkkuuden varmistamiseksi. (Uren & Price 2010, 267; Laurila 2012, 302–303.)

### 2.3 Satelliittipaikantimien tarkkuudet

Nyky aikaisten ammattilaiskäyttöön suunniteltujen satelliittipaikantimien tarkkuus mahdollistaa paikannusmenetelmän käytön useissa mittaustehtävissä. Eri valmistajien kuten Trimblen tai Leican lupaamissa satelliittipaikantimien mittaustarkkuuksissa ei ole nähtävissä huomattavia eroja. Valmistajien antamien tarkkuustietojen perusteella satelliittipaikantimet kykenevät optimaalisissa mittaolosuhteissa, staattisella mittaumenetelmällä ja pitkällä havaintoajalla mittaamaan havaintoja muutamien millimetrien päähän mitattavan kohteen absoluuttisista taso- ja korkeussijainneista. Satelliittipaikantimella tehtävät kartoitus- ja merkintämittaukset tehdään yleensä hieman heikompa tarkkuutta käyttävällä reaaliaikai-

sella kinemaattisella mittausmenetelmällä. Tällä menetelmällä päästään optimaalisissa olosuhteissa noin sentin päähän absoluuttisesta tasotarkkuudesta ja noin kahden sentin päähän absoluuttisesta korkeustarkkuudesta. (Laurila 2012, 319; Leica 2016a, 1–2; Leica 2016b, 1–2; Trimble 2016a, 1–2; Trimble 2016b, 1–2.)

Tarkkuutensa vuoksi suhteellinen mittaustapa on maanmittausalan ammattilaisten suosima satelliittipaikannusmenetelmä. Suhteellista mittausta käytetään miltei kaikissa tarkkuutta vaativissa GNSS-mittauksissa. Suhteellinen mittaus voidaan jakaa staattiseen mittaukseen ja RTK-mittaukseen.

Staattinen mittaus perustuu satelliittien lähettämän signaalin havainnointiin pitkällä havaintoajalla. Havaintoajat voivat vaihdella mittauksesta riippuen kymmenestä minuutista vuorokauteen. Staattisessa mittauksessa satelliittipaikannin kerää tietoa satelliittien lähettämistä signaaleista. Mittauksen jälkeen kerätty tieto lähetetään laskentakeskukseen jälkilaskentaa varten. Jälkilaskentakeskus korjaa mittauksen aikana tapahtuneita virheitä kerätyn korjausdatan avulla. Korjausdatassa huomioidaan muun muassa ilmakehässä mittauksen aikana tapahtuneet häiriöt ja satelliittien kiertoradoissa tapahtuneet kiertoratavirheet. Staattisessa mittauksessa päästään jälkilaskennan avulla muutamien millimetrien taso- ja korkeustarkkuuteen. (Laurila 2012, 319; Häkli 2014, 18.)

RTK-mittaus eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus on toinen suhteellisessa mittauksessa käytettävä menetelmä. RTK-mittauksessa satelliittipaikannin seuraa satelliittien liikkeitä ja lähettää niistä tietoja maanlaajuiselle tukiasemaverkolle. Signaalin vastaanottavat tukiasemat lähettävät signaalin laskentakeskukseen, joka ratkaisee paikantimen sijainnin vertailemalla satelliittipaikantimen ja tukiasemien tekemien vaihe-erohavaintojen välisiä eroja. Ratkaistu tulos lähetetään takaisin paikantimelle. RTK-mittauksen tarkkuus heikkenee, mitä kauempana tukiasemat ovat paikantimesta. Mittauksen tarkkuuden varmistamiseksi tukiaseman ja paikantimen välinen matka ei saa ylittää kymmentä kilometriä. RTK-mittauksen tarkkuutta voidaan parantaa halutulla alueella perustamalla oma tukiasema tai käyttämällä laitevalmistajan VRS-verkkoa. VRS eli Virtual Reference

Station -verkko perustaa mittaajan läheisyyteen virtuaalisen tukiaseman, jolle las-  
kentakeskus laskee korjausdataa. Näin tukiasemien etäisyyden aiheuttama mit-  
tausvirhe saadaan eliminoitua. (Laurila 2012, 319–321.)

### 3 TAKYMETRIMITTAUS

#### 3.1 Takymetrimittauksen peruseriaatteen

Takymetrillä mittaamisen voidaan kokonaisuutena todeta perustuvan etäisyyksien ja kulmien mittaamiseen. Voidaan myös sanoa, ettei takymetrillä mittaaminen ole kannattavaa, jos sitä ei ole sidottu orientoimalla mittaustapaan koordinaatistoon. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi takymetrin etäisyyden- sekä kulmien mittaamiseen käyttämät menetelmät sekä takymetrin yleisimmät orientoitavat. (Laurila 2016.)

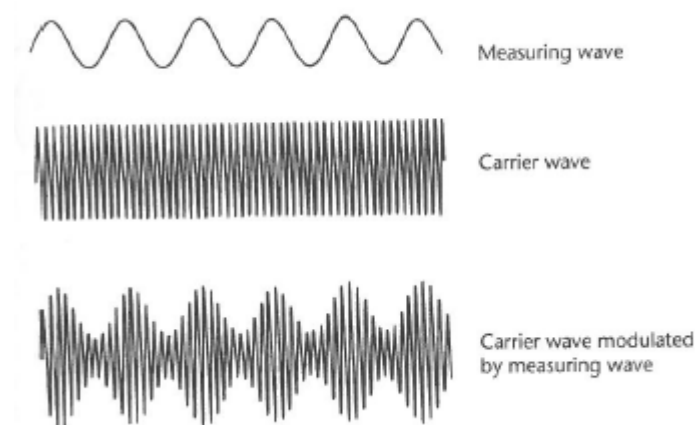
##### 3.1.1 Elektro-optinen etäisyydenmittaus

Takymetrin etäisyyden mittaus perustuu elektromagneettisen säteilyn havainnointiin. Tätä mittaustapaa kutsutaan elektro-optiseksi etäisyydenmittaukseksi. Etäisyyttä mitattaessa koje lähettää elektromagneettisen impulssin mitattavaan tähykseen tai pintaan ja havainnoi siitä takaisin heijastuvaa impulssia. Etäisyys mitattavaan kohteeseen voidaan määrittää kahteen erilaiseen impulssiin perustuvalla havaintotavalla: amplitudimoduloidun tai pulssimoduloidun mittaussignaalin avulla. (Uren & Price 2010, 127–134; Laurila 2012, 249–251.)

Amplitudimoduloituun mittaussignaaliin perustuva etäisyydenmittaus on yleisemmin käytössä oleva etäisyyden havaintotapa. Siinä lasketaan edestakaisin kulkevan signaalin aallonpituuksien määrä. Koska määrä on harvoin tasaluku, joudutaan laskutoimituksiin huomioimaan myös aallonpituuksien osia. Tämän vuoksi amplitudimoduloituun mittaussignaaliin perustuva etäisyydenmittausta kutsutaan vaihe-eromittaukseksi. (Uren & Price 2010, 127–133; Laurila 2012, 249–251.)

Mahdollisimman tarkan mittaustarkkuuden saavuttamiseksi lyhyellä aallonpituudella toimivaa kantaaltoa moduloidaan pitkällä aallonpituudella toimivalla mittausaallolla (Kuvio 5). Kantaaltona voidaan käyttää infrapunavaloa, jonka aallonpituus on 900 nanomillimetriä tai näkyvää valoa, jonka aallonpituus liikkuu 630 ja 550 nanomillimetrin välillä. Yleisesti käytettävät mittausaallon pituudet liikkuvat 6–20 metrin välillä. (Uren & Price 2010, 127–133; Laurila 2012, 249–251.)

Vaihe-eromittauksessa takymetri aloittaa mittauksen karkealla mittauksella. Karkeassa mittauksessa käytetään niin pitkää mittausaallon aallonpituuden puolikasta, yksikköjanaa, että se määrittää mitattavan etäisyyden yksikäsitteisesti. Takymetri pienentää aallonpituutta vaiheittain mitaten jatkuvasti tarkempia ja tarkempia tuloksia. Tarkin mahdollinen mittausta eli hienomittaus suoritetaan mahdollisimman lyhyellä yksikköjanalla. Kojeen antama mittaustulos on siis tuhansien eri mittausten keskiarvo. (Uren & Price 2010, 127–133; Laurila 2012, 249–250.)



Kuvio 5. Mittausaallon ja kanta-aallon (Carrier wave) modulointi vaihe-eromittauksessa käytettäväksi amplitudimoduloituksi mittausaalloksi (Carrier wave modulated by measuring wave). (Uren & Price 2010, 131.)

Pulssimoduloituun mittaussignaaliin perustuvaa etäisyydenmittausta hyödynnetään nykyaikaisten takymetriä tähyksettömissä mittauksissa, käsikäyttöisissä etäisyydenmittareissa sekä laserkeilaimissa. Tässä mittaustavassa mittauskoje lähettää kohteeseen lyhytkestoisen valoimpulssin. Koje mittaa säteilyn kokonais-kulkuajan tarkan kellolaitteen avulla ja laskee sen perusteella mitattavan kohteen sijainnin. (Uren & Price 2010, 133–134; Laurila 2012, 250–251.)

Pulssimoduloitun mittausten etu verrattuna vaihe-eromittaukseen on tekniikan yksinkertaisuus. Toisin kuin vaihe-eromittauksessa pulssimoduloitussa mittauksessa kojeen ei tarvitse lähettää eri aallonpituuksilla olevia mittaussignaaleita.

Tämä mahdollistaa tehokkaamman signaalin vastaanottajan asennuksen kojeseen, joka vuorostaan pidentää mahdollista mittausetäisyyttä huomattavasti. (Uren & Price 2010, 133–134; Laurila 2012, 250–251.)

### 3.1.2 Kulmamittaus

Takymetri on geodeettinen mittauskoje, jonka avulla mitataan vaaka- ja pystykulmia. Kulmamittauksessa yleisesti käytettäviä yksiköitä ovat esimerkiksi radiaani, aste, gooni tai piiru. Maanmittausalalla ja takymetrimittauksissa yleisesti käytetty kulmayksikkö on uusaste eli gooni. Täysi kulma on jaettu 400:ksi gooniksi. (Laurila 2012, 30–31.)

Takymetrillä tehtävät kulmahavainnot voidaan jakaa kahteen luokkaan: kojeen vaakakehältä luettaviin vaakakulmiin sekä kojeen pystykehältä luettaviin pystykulmiin. Vaakakehältä tehtäviä kulmahavainnoja kutsutaan yleisemmin tähyssuunniksi. Niitä hyödynnetään orientoinnin yhteydessä kojeen tasosijainnin ja pohjoissuunnan määrittämiseen. Vaakakehän 0-suunta määritetään orientointivaiheessa pohjoissuunnaksi. Kulmaluvut kasvavat 0-suunnasta myötöpäivään. Kojeen sijainnin määrittämisen jälkeen vaakakulmamittauksella mitataan tähysten välisiä suuntakulmia. Eri pisteiden tähyssuuntien erotuksista lasketaan mitattavien pisteiden välisiä muutoskulmia. (Laurila 2012, 247–259, 258.)

Takymetrin pystykulmaa havainnoidaan kojeen pystykehältä. Pystykulma tarkoittaa kulmaa painovoiman aiheuttaman luotiviivan ja takymetrin pysty akselin tähyssuunnan välillä. Pystykulmaa hyödynnetään kojeen korkeuden määrittämiseen vapaalle asemapisteelle orientoinnissa. Koje pystyy määrittämään korkeutensa mittaamalla pysty kulmat vähintään kahdelle pisteelle, joiden korkeuskoodinaatit ovat tiedossa. Kun takymetrin korkeus tunnetaan, pysty kulmaa voidaan hyödyntää mitattavien kohteiden etäisyyksien ja korkeuksien määrittämisessä. (Uren & Price 2010, 65–67; Laurila 2012, 59–61, 247–249.)

Vaaka- ja pysty kulmia voidaan tarkastella takymetrissä olevilta kulmakehiltä. Nykyaikaiset takymetrit tekevät kulmahavainnot sähköisesti luettavien kulmakehien

avulla. Tekniikan kehitys on mahdollistanut aiempaa tarkempien kulmaerotuskykyjen kehittämisen. Uudet takymetrit saavuttavat jopa 0.15 milligoonin kulmaerotustarkkuuksia. (Laurila 2012, 248; Leica 2016c, 1–2; Trimble 2016c, 1–4; Trimble 2016d, 1–4.)

Kulmakehät koostuvat yleensä tiheästä viivarasterista, joka jakaa kehän kymmeneen tuhansiin pieniin sektoreihin. Koje tunnistaa kulmakehien jakoviivoja usein eri keinoin. Jakoviivat voidaan esimerkiksi tehdä magneettisista juovista, ne voidaan tehdä saman levyisiksi tai ne voidaan tehdä vuorotellen valoa läpäiseväksi ja valoa läpäisemättömäksi. Jakoväleille määritetään yleensä kulmaluku. Takymetri laskee kulmia tarkkailemalla jakovälien lukumäärää kahdella tai useammalla anturilla. Näitä antureita sanotaan pulssilaskimiksi ja ne sijoitetaan vastakkaisille puolille jakokehää. Pulssilaskimet laskevat kuinka monta viivaa ohittaa lukemakohdan, ja koje muuttaa tuloksen kulmaksi. (Laurila 2012, 248.)

### 3.1.3 Takymetrin orientointi

Takymetrillä tehtäviä koordinaattimuotoisia mittauksia varten koje on orientoitava. Orientointi tarkoittaa takymetrin sijainnin ja korkeustason määrittämistä käytettävässä koordinaatistossa. Orientointiin tarvitaan aina vähintään kaksi tunnettua pistettä. Orientoinnissa kojeen paikkaa kutsutaan asemapisteksi ja tunnettuja pisteitä, joita käytetään tähyypisteinä liittospisteiksi. Orientointi voidaan suorittaa kahdella eri tavalla, asettamalla koje tunnetulle asemapisteelle tai vapaalle asemapisteelle. (Laurila 2012, 257–260.)

Orientointi tunnetulle asemapisteelle tarkoittaa takymetrin pystyttämistä pisteelle, jonka koordinaatit ovat tiedossa. Toista tunnettua pistettä, liittospistettä, käytetään orientoinnissa kojeen pohjoissuunnan eli kojeen 0- suunnan määrittämiseen. Liittospisteelle mitattavaa suuntakulmaa kutsutaan liittosuunnaksi. Tunnetulle asemapisteelle orientoinnissa kojeen korkeus määritetään mittaamalla kojekorkeus käsin tai siirtämällä se tunnetulta korkeuspisteeltä. (Laurila 2012, 59–61, 257–258.)



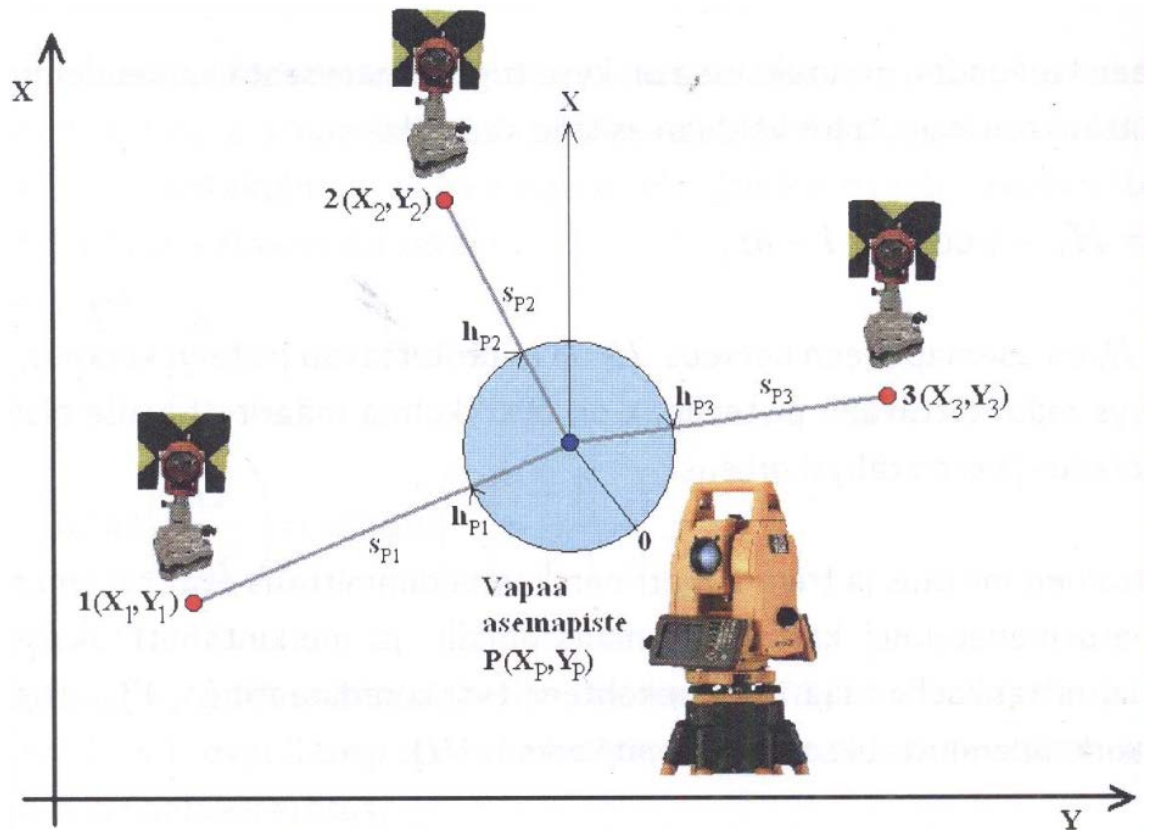
Orientointi vapaalle asemapisteelle tarkoittaa takymetrin pystyttämistä pisteelle, jonka koordinaatteja ei tiedetä. Orientointi vapaalle asemapisteelle perustuu takymetrin sijainnin ja korkeuden laskemiseen tunnettujen liitospisteiden avulla. Takymetrin sijainti määrittämisessä vapaalle asemapisteelle käytetään kahta geometristä perusmenetelmää, liitospisteiden välisten etäisyyksien mittausta sekä liitospisteiden välisten kulmien mittausta. Molemmat menetelmät perustuvat kolmioiden geodeettisiin leikkausmalleihin. (Laurila 2012, 259–260; Laurila 2016.)

Etäisyyksien mittausta hyödyntävää orientointia kutsutaan kaarileikkaukseksi. Kaarileikkauksessa määritetään perustettavan asemapisteen koordinaatit mittaamalla tunnettujen liitospisteiden väliset vaakaetäisyydet perustettavalta asemapisteeltä. Kaarileikkauksen suorittamiseksi tarvitaan vähintään kaksi liitospistettä. Kaarileikkaus perustuu yhteen geodeettiseen kolmiomalliin. (Laurila 2012, 65–67, 259–260.)

Tähyssuuntien mittausta hyödyntävää orientointia kutsutaan taaksepäinleikkaukseksi. Tällä menetelmällä perustettavan asemapisteen paikka määritetään mittaamalla tunnettujen liitospisteiden välisiä tähyssuuntia. Taaksepäinleikkauksen suorittamiseksi tarvitaan vähintään neljä tunnettua liitospistettä. Leikkaus perustuu kahteen toisiinsa yhteydessä olevaan geodeettiseen kolmiomalliin. Kun taaksepäinleikkauksessa käytetään useampaa kuin kolmea liitospistettä, ylimääräiset havainnot johtavat siihen, ettei asemapisteen sijaintia voida laskea geodeettisen kolmiomallin avulla. Tällöin vapaata asemapistettä voidaan kutsua ylimääritetyksi. Ylimääritetty asemapiste määritetään matemaattisesti Helmertin muunnoksella tai pienimmän neliösumman periaatteen mukaisella tasoitusmenetelmällä. (Laurila 2012, 68–69, 259–260.)

Nykyaikaiset takymetrit hyödyntävät edellä mainittuja orientoinnin perusmenetelmiä yhdessä mahdollisimman tarkan orientointituloksen saavuttamiseksi (Kuvio 6). Vapaalle asemapisteelle orientoinnin tarkkuuden varmistamiseksi orientoinnissa pyritään saavuttamaan pisteen ylimääritys. Uudenaikaiset takymetrit osavat laskea ja määrittää ylimääritetyn asemapisteen automatisoidusti joko käyttämällä Helmertin muunnosta, tai pienimmän neliösumman mukaista tasoitusmenetelmää. Tämän vuoksi vapaalle asemapisteelle orientoinnissa on perusteltua

käyttää vähimmäismäärää useampia liitospisteitä. (Laurila 2012, 68–69, 259–260; Laurila 2016.)



Kuvio 6. Kaarileikkauksen ja taaksepäinleikkauksen hyödyntäminen vapaan asemapisteen orientoinnissa. (Laurila 2012, 260; Laurila 2016.)

### 3.2 Takymetriä tarkkuudet ja niihin vaikuttavat tekijät

Takymetriä automaatiotasoa on kasvanut huomattavasti viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana. Kojet ovat kehittyneet kahden mittamiehen käytettävistä laitteista etäohjattaviksi yhden mittamiehen mittausvälineeksi. Nykyaikaista automaattista takymetriä voidaankin jo kutsua mittausrobotiksi. Uusissa takymetreissä on pitkälle automatisoituja ominaisuuksia kuten kokeen etäkäyttö, tähyksen automaattinen seuranta ja sijainnin jatkuva mittaus. Osa takymetreistä kykenee mittaamaan havaintoja kohteen pinnasta ilman varsinaista tähyä. Kojien kulmalukulaitteiden tekninen kehitys on mahdollistanut aiempaa tarkemman kulmamittauksen ja näin paremman mittaustarkkuuden. Nämä ominaisuudet lisäävät mittauksen tehoa ja mittaustarkkuutta. Osa niistä myös auttaa havainnoimaan ja hallitsemaan mittauksen aikana tapahtuvia virheitä. (Laurila 2012, 238, 248; Trimble 2016c, 1–4; Trimble 2016d, 1–4.)

Takymetrimittauksessa tärkein absoluuttiseen tarkkuuteen vaikuttava tekijä on kojeen mittauspaikan koordinaatistoon kiinnittämisen, orientoinnin, tarkkuus. Nykyaikaiset takymetrit laskevat orientoinnin yhteydessä orientointivirheen pohjois-, itä- ja korkeusarvoille. Orientoinnissa käytettävien liitospisteiden väliset virheet aiheuttavat virheitä kojeen asemapisteen sijainnin laskentaan. Virheet asemapisteen sijainnissa näkyvät systemaattisina kyseiseltä asemapisteeltä mitatuissa havainnoissa. Tämän vuoksi absoluuttista tarkkuutta vaativissa mittauksissa takymetrin lähtöpisteinä tulisi käyttää mahdollisimman tarkasti määritettyjä lähtöpisteitä. (Laurila 2016.)

Automatisoinnin avulla uudenaikaisiin takymetreihin on lisätty kojeiden mittaus-tarkkuutta parantavia ja virheitä kompensoivia ominaisuuksia. Näitä ovat esimerkiksi elektroninen tasain, tähyksen automaattinen seuraaminen sekä pitkillä mittausmatkoilla syntyvien virheiden mittaustuloksissa. Elektronisen tasaimen avulla takymetri varmistaa, ettei kojeen tasauksen heikentyminen mittausten aikana vaikuta mittauksen laatuun. Tasauksen heikentyessä koje ilmoittaa heikosta tasauksesta ja vaatii uudelleentasausta. Tähyksen automaattisen seuraamisen avulla koje varmistaa, ettei käsin tehdyssä tähtäyksessä prismaan synny mittaustarkkuuteen vaikuttavaa tähtäysvirhettä. Pitkän etäisyyden päähän tehtävissä mittauksissa uudenaikaiset takymetrit huomioivat mittauksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ennen mittausta syötettyjen tietojen, kuten ilmanpaineen ja reflaktiovakion kautta. Näiden tietojen perusteella kojeet laskevat ja korjaavat maanpinnan kaltevuuden sekä säätilan vaikutuksia mittaustuloksiin. (Laurila 2016; Leica 2016c, 1–2; Trimble 2016c, 1–4; Trimble 2016d, 1–4.)

## 4 VERTAILEVA MITTAUS KAUPUNKIOLOSUHEISSA

### 4.1 Työn aloitusvaihe

Tutkimuksen suunnittelu alkoi 9. elokuuta 2016, kun opinnäytetyön aiheen sisältänyt Proaconin edustajan, Janne Alkin, oppilaitokselle lähettämä sähköpostiviesti jaettiin Lapin ammattikorkeakoulun sähköpostissa maanmittausalan opiskelijoille. Aihe ”GNSS- ja takymetrimittauksen mittaustarkkuusvertailu kaupunkiolosuhteissa” vaikutti kiinnostavalta ja mielekkäältä tutkimusaiheelta. Tämän vuoksi otimme viestin saatuaamme yhteyden viestin jakaneeseen opettajaan, Pasi Laurilaan ja Janne Alkkiin. Aihe varattiin ja sen rajausta tarkennettiin seuraavan kuukauden aikana Pasi Laurilan ja Janne Alkin kanssa käydyissä keskusteluissa. Opinnäytetyön toimeksiantosopimus allekirjoitettiin 12.–13.9.2016. Työn tilaajan, Proacon Oy:n edustajana toimii Janne Alkki. Työn ohjaavana opettajana ja Lapin ammattikorkeakoulun yhdyshenkilönä toimii Timo Karppinen.

#### 4.1.1 Tavoitteet ja aikataulu

Mittaustyön tarkoituksena oli tehdä GNSS- ja takymetrimittauksen mittaustarkkuusvertailu kaupunkiolosuhteissa. Työn tavoite oli tarkastella GNSS-laitteistolla tehtyjen havaintojen mahdollista hajontaa ja verrata tuloksia takymetrillä mitattuihin havaintoihin. Mittauksia ei voitu verrata havaintopisteiden absoluuttiseen sijaintiin, koska mittauksia varten ei ollut käytettävissä tarpeeksi tiheää kiintopisteverkkoa. Sen sijaan havaintojen analysointiosiossa keskityttiin vertailemaan mitattujen pisteiden keskinäisiä sijainti- ja korkeuspoikkeamia. Työ perustui avoimille paikoille perustetuille apupisteille ja peitteisille paikoille perustetuille havaintopisteille mitattaviin havaintoihin. Mitattavien tutkimuspisteiden perustamisessa kiinnitettiin huomiota pisteiden paikallaan pysyvyyteen. Mittaustulosten analysoinnissa kiinnitettiin huomiota mahdollisten vaihtelujen aiheuttajiin.

Työssä käytetyt peitteiset havaintopisteet pyrittiin perustamaan satelliittipaikantimen signaalin esteettömän kulkemisen kannalta mahdollisimman haastaviin paikkoihin, esimerkiksi puuston tai rakennusten seinien lähetyville. Pisteiden si-

joittelussa pyrittiin myös huomioimaan rakennusten ja puuston aiheuttamien peittojen ilmansuunta. Havaintopisteet pyrittiin sijoittamaan peitealueisiin niin, että jokaisen pääilmansuunnan peiton vaikutus tuli huomioitua mittauksissa. Havain-toja mitattiin kahtena eri vuorokaudenaikana, aamulla kello 9 sekä iltapäivällä kello 15. Näiden aikojen suunniteltiin kuvaavan mahdollisimman hyvin mahdollisia vaihteluita yleisen työpäivän aikana.

Mittaustyö suunniteltiin toteutettavaksi lokakuun 2016 aikana Rovaniemen keskustan läheisyydessä sijaitsevissa, Proacon Oy:n valvomissa työmaakohteissa. Kohteet sijaittivat Yliopistonkatu-Valtakadun risteystyömaalla ja Koskikatu-Lapinkävijäntien risteyksessä.

#### 4.1.2 Työhön liittyviä muutoksia suunnitteluvaiheessa

Mittausten suunnitteluvaiheessa Yliopistonkatu-Valtakatu työmaan tilanne muuttui huomattavasti, mikä vaikutti mittauksen suunnitteluun ja toteutukseen olennaisesti. Vertailevien mittauksen suorittamisesta työmaalla keskusteltiin Proacon Oy:n edustajan, Janne Alkin, kanssa opinnäytetyön toimeksiantosopimuksen allekirjoittamisen yhteydessä. Tuolloin mittaukset suunniteltiin toteutettavan kokonaisuudessaan Yliopistokadun-Valtakadun työmaalla. Työmaan etenemissuunnitelman mukaan kiinteitä ja pysyviä rakenteita kuten reunakiviä ja päällystettä piti asentaa työmaalle viimeistään lokakuun alkupuolella. Koska kiinteiden rakenteiden olemassaolo oli edellytys mittauksen suorittamiselle työmaaympäristössä, jossa omien kiinteiden pisteiden perustaminen olisi haastavaa, tarkan mittaussuunnitelman tekoa viivytettiin työmaan etenemistä odottaessa.

Suunnitelma kuitenkin muuttui, kun työmaan pääurakoitsija asetettiin konkurssiin. Tämän vuoksi työmaan eteneminen pysähtyi ja kiinteiden rakenteiden valmistuminen työmaalle opinnäytetyön aikataulussa alkoi näyttää epätodennäköiseltä. Asiasta kuultuamme keskustelimme työmaan tilanteesta Janne Alkin kanssa. Keskustelun pohjalta päätimme toteuttaa mittaukset pääasiallisesti Koskikatu-Lapinkävijäntie työmaalla, joka oli valmis ja luovutettu Rovaniemen kaupungille. Päätimme hyödyntää Yliopistokatu-Valtakatu työmaata mahdollisuuksien ja tarpeen mukaan täydentävissä mittauksissa.

## 4.2 Hypoteesi

Työn hypoteesi asetettiin seuraavasti: Peitteettömillä apupisteellä GNSS-mittauksen taso- ja korkeushavaintojen välillä odotettiin esiintyvän noin kahden senttimetrin vaihteluita. Havaintopisteille mitattavien taso- ja korkeushavaintojen hajonnan odotettiin sijoittuvan viiden ja kymmenen senttimetrin välille havaintopisteen peitoista riippuen. Takymetrillä mitattujen pisteiden taso- ja korkeushavaintojen vaihteluiden odotettiin pysyvän kahden sentin sisällä. Pisteiden mittausajankohdan ei odotettu näkyvän mittaustuloksissa.

Laadittu hypoteesi perustui tämän työn aiemmissa luvuissa selostettuihin laitteistojen mittaustarkkuuksiin sekä niihin vaikuttaviin tekijöihin. Mittaustulosten eroiksi odotettiin GNSS-laitteiston osalta vähintään käytetyn laitteiston valmistajan ilmoittamaa  $8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$  -tasotarkkuutta sekä  $15 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$  -korkeus-tarkkuutta. Tämän tarkkuuden odotettiin heikkenevän huomattavasti rakennusten ja puuston läheisyydessä heikon satelliittigeometrian sekä mahdollisten monitieheijastusten vuoksi. Takymetrimittauksen osalta mittaustulosten välisiksi eroiksi odotettiin systemaattista alle kahden senttimetrin virhettä. Virheen odotettiin syntyvän takymetrin orientoinnissa käytettävien, GNSS-laitteistolla mitattavien, apupisteiden taso- ja korkeusvirheistä.

## 4.3 Mittausten suorittaminen

Työhön liittyvät vertailevat mittaukset suoritettiin suunnitelman mukaan viikoilla 42 ja 43 Koskikadun-Lapinkävijäntien työmaalla. Mittaukset etenivät suurilta osin odotetusti. GNSS-laitteiston toimivuus peitteisillä havaintopisteillä tuotti mittauksen aikana paikoin haasteita. Huonon satelliittigeometrian sekä heikon korjausdatasignaalin vuoksi GNSS-laitteistolla tehtäviin mittauksiin kului apupisteiden mittaukseen verrattuna huomattavasti enemmän aikaa. Lisäksi osa havaintopisteille mitatuista GNSS-havainnoista jouduttiin hylkäämään, koska laitteisto ei saanut muodostettua mittauksissa tarvittavaa korjausdatayhteyttä.

Mittausten aikana GNSS-havaintojen mittauskertojen määrää päätettiin nostaa, jotta aineiston otantaa saataisiin laajennettua. Mittauskertoja lisättiin neljästä ker-

rasta kahdeksaan kertaan. Pääasiallisella työmaalla saavutetun laajemman otannan vuoksi mittausten laajentamista Yliopistokatu-Valtakatu -työmaalle ei koettu mittausten kannalta tarpeelliseksi.

#### 4.4 Mittaustulosten analysointi

Mittaustuloksien analysointi keskittyi vertailemaan GNSS-laitteistolla eri havaintoajoilla mitattujen sekä GNSS- ja takymetrilaitteistolla mitattujen pisteiden välisiä vaihteluita. Lisäksi analysoinnissa kiinnitettiin huomiota eri vuorokauden aikaan mitattujen havaintoryhmien välisiin eroihin. Työn aineiston pohjalta ei ollut mahdollista verrata mitattuja apu- ja havaintopisteiden koordinaatteja pisteiden absoluuttisiin koordinaatteihin. Takymetrimittauksen lähtöpisteinä käytettiin GNSS-laitteistolla mitattuja apupisteitä, minkä vuoksi mitattujen pisteiden tarkkuus rajoittuu käytetyn GNSS-laitteiston tarkkuuteen.

Vertailevien mittausten tulosten analysointi toteutettiin pisteryhmittäin. Vertailussa käytetyt ryhmät olivat GNSS-mittauksella mitatut pikapisteet, kartoituspisteet ja kiintopisteet sekä takymetrillä mitatut pistehavainnot. Jokaisen apu- ja havaintopisteen kohdalla analysoitiin pisteiden hajontaa niin yksittäisten havaintoryhmien kuin GNSS- ja takymetrijhavaintojen välillä. Lisäksi eri vuorokaudenaikoina mitattuja havaintokeskittymiä vertailtiin keskenään. Huomiota kiinnitettiin myös muodostuvista havaintokeskittymistä useita metrejä eroaviin pisteisiin sekä niiden laatutietoihin. Analysoinnissa käytettäviä laatutietoja olivat mittausten aikaiset DOP-arvot. Nämä pisteet kuitenkin poistettiin lopullisesta piste-keskittymän erovertailusta tuloksen vääristymisen estämiseksi. Erojen havainnollistamisessa hyödynnettiin mittaustulosten perusteella tehtyjä kuvioita ja taulukoita.

##### 4.4.1 Apupiste 1

Apupiste 1 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksestä kaakkoon olevalla jalkakäytävällä (Liite 1, Kuvio 1). Apupisteen ympärillä ei ollut satelliittigeometriaa heikentäviä peitteitä. GNSS-havaintoja mitattaessa satelliittigeometria pysyi hyvänä

kaikilla havaintokerroilla, sekä aamu- että iltamittauksissa (Liite 2, Taulukko 1). Satelliittien, RMS-lukujen ja DOP-lukujen keskiarvoissa ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita aamu- ja iltahavaintojen välillä. Havaintojen x-, y- ja z-koordinaattien väliset erot olivat maltilliset (Liite 2, Taulukko 2). Pisteiden välinen keskijajonta oli x-koordinaatilla 8 mm, y-koordinaatilla 7 mm ja z-koordinaatilla 6 mm. Suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot olivat x-koordinaatilla 20 mm, y-koordinaatilla 19 mm ja z-koordinaatilla 17 mm. Pisteet sijoittuvat taso- ja korkeuskoordinaatistossa tiiviiseen keskittymään (Liite 2, Kuvio 1).

#### 4.4.2 Apupiste 2

Apupiste 2 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksestä lounaaseen olevalla jalkakäytävällä (Liite 1, Kuvio 1). Apupisteen ympärillä ei ollut satelliittigeometriaa heikentäviä peitteitä. GNSS-havaintoja mitattaessa satelliittigeometria pysyi hyvänä kaikilla havaintokerroilla, sekä aamu että iltamittauksissa (Liite 2, Taulukko 3). Satelliittien, RMS-lukujen ja DOP-lukujen keskiarvoissa ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita aamu- ja iltahavaintojen välillä. Havaintojen x-, y- ja z-koordinaattien väliset erot olivat maltilliset (Liite 2, Taulukko 4). Pisteiden välinen keskijajonta oli hieman pienempi kuin apupisteellä 1: x-koordinaatilla 6 mm, y-koordinaatilla 4 mm ja z-koordinaatilla 3 mm. Suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot olivat x-koordinaatilla 17 mm, y-koordinaatilla 14 mm ja z-koordinaatilla 11 mm. Pisteet sijoittuvat taso- ja korkeuskoordinaatistossa melko tiiviiseen keskittymään. Aamulla mitattu piste 10201 ja iltapäivällä mitattu piste 10101 erosivat hieman pistekeskittymästä (Liite 2, Kuvio 2). Pisteiden satelliittimäärä, RMS-luvut tai satelliittigeometriaa kuvaavat DOP-arvot eivät poikenneet muista havainnoista.

#### 4.4.3 Apupiste 3

Apupiste 3 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksestä koilliseen olevalla jalkakäytävällä (Liite 1, Kuvio 1). Apupisteen ympärillä ei ollut satelliittigeometriaa merkittävästi heikentäviä peitteitä. GNSS-havaintoja mitattaessa satelliittigeometria pysyi hyvänä kaikilla havaintokerroilla, sekä aamu- että iltamittauksissa (Liite 2, Taulukko 5). Satelliittien määrä aamumittauksissa oli keskimääräisesti hieman



parempi kuin iltapäivällä tehdyissä mittauksissa. RMS-lukujen ja DOP-lukujen keskiarvoissa ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita. Havaintojen x-, y- ja z-koordinaattien väliset erot olivat maltilliset (Liite 2, Taulukko 4). Pisteiden välinen keskihajonta oli hieman suurempi kuin apupisteellä 2: x-koordinaatilla 5 mm, y-koordinaatilla 6 mm ja z-koordinaatilla 7 mm. Suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot olivat x-koordinaatilla 14 mm, y-koordinaatilla 17mm ja z-koordinaatilla 23 mm. Pisteet sijoittuvat taso- ja korkeuskoordinaatistossa tiiviiseen keskittymään (Liite 2, Kuvio 3).

#### 4.4.4 Takymetrimittauksen asemapistet

Takymetrin asemapistet sijaitsivat Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksen koillispuolella olevalla jalkakäytävällä. Takymetri pyrittiin pystyttämään mittauskerroilla samaan paikkaan. Takymetria havainnot mitattiin kolmelta asemapisteeltä. Takymetrin orientoinnissa käytettiin GNSS-laitteistolla mitattuja apupisteitä. Käytettyjä apupisteitä olivat apupiste 1 ja apupiste 2. Asemapisteen orientoinnin pohjoisvirhe oli 9 mm, itävirhe 9 mm ja korkeusvirhe 0 mm. Toisen asemapisteen orientointi tehtiin kaikilla kolmella apupisteellä. Orientoinnin pohjoisvirhe oli 3 mm, itävirhe 2 mm ja korkeusvirhe 2 mm. Kolmas orientointi tehtiin tunnetulle asemapisteelle. Tunnettuna asemapisteenä käytettiin takymetrin toiselle asemapisteelle laskemia koordinaatteja. Kojetta ei poistettu kolmijaloilta toisen ja kolmannen mitauskerran välillä. Tunnetulle asemapisteelle orientoinnissa liitospisteenä käytettiin ensimmäistä apupistettä.

#### 4.4.5 Havaintopiste 1

Havaintopiste 1 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksen koillispuolella olevassa puistossa (Liite 1, Kuvio 2). Havaintopisteen ympärillä oli vaihtelevasti GNSS-signaalin kulkuun vaikuttavaa puustoa. Havaintojen mittaaminen pisteelle onnistui hyvin. Havaintojen esitarkastelussa ei ilmennyt pistekeskittymästä huomattavasti eroavia havaintoja.

GNSS-havaintoja mitatessa satelliittigeometria oli pääasiassa hyvä (Liite 2, Taulukko 8). Satelliittien määrät ja RMS-luvut olivat aamumittauksissa keskimäärin

hieman pienempiä kuin iltapäivän mittauksissa. Vastaavasti DOP-lukujen keskiarvot olivat aamulla tehdyissä mittauksissa hieman koholla verrattuna iltapäivällä tehtyihin mittauksiin. Iltapäivän pistehavainnot muodostivat hieman tiheämmän keskittymään niin taso- kuin korkeussijainnissaan verrattuna aamupisteisiin. (Liite 2, Taulukko 7 ja Kuvio 5) Tämä viittaa satelliittigeometrian olleen hieman parempi iltapäivän mittauksissa.

Havaintopisteille mitattujen pisteryhmien välillä ei ollut nähtävissä huomattavia eroja. GNSS-laitteistolla mitattujen pika-, kartoitus- ja kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnoissa ja sijoittumisessa koordinaatistoon ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita. Pika- ja kartoituspisteen välinen keskihajonta oli x- ja y-koordinaateilla noin 2 senttimetriä ja z-koordinaatilla noin 4 senttimetriä. Kiintopisteen x- ja y-koordinaatin keskihajonta oli noin 2 senttimetriä ja z-koordinaattien noin 6 senttimetriä. Tämän perusteella havaintoajan pituudella ei ollut tällä pisteellä parantavaa vaikutusta mittaustarkkuuteen (Liite 2, Taulukot 9, 10 ja 11).

Takymetrillä mitattujen havaintojen väliset koordinaattivaihtelut olivat pieniä verrattuna GNSS-laitteistolla mitattuihin pisteisiin (Liite 2, Taulukko 12). Pisteiden välinen keskihajonta oli tasosijainnissa alle sentin ja korkeussijainnissa muutamia millijä. Takymetrillä mitatut havaintopisteet sijoituivat GNSS-laitteistolla mitatun havaintokeskittymän eteläpuolelle (Liite 2, Kuvio 4).

#### 4.4.6 Havaintopiste 2

Havaintopiste 2 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksen koillispuolella olevassa puistossa (Liite 1, Kuvio 2). Pisteeseen ympärillä oleva puusto loi huomattavia peitteitä jokaiseen pääilmansuuntaan. Tämä vaikeutti GNSS-laitteistolla tehtyjä mittauksia. Korjausdatayhteyden muodostamista jouduttiin paikoin odottamaan useita minuutteja. Havaintojen esitarkastelussa ilmeni kaksi pistekeskittymästä huomattavasti eroavaa havaintoa, pikapiste 31 ja kartoituspiste 301. Nämä havainnot mitattiin samalla mittauskerralla. Näiden havaintojen ominaisuustiedot olivat pääasiassa hyvät. Satelliittien määrät ja DOP-arvot eivät poikenneet kaikkien havaintojen keskiarvoista. Eroavaisuutta näkyi vain RMS-arvoissa, jotka ovat huomattavasti koholla (Liite 2, Taulukko 14). Nämä pisteet jätettiin pois vertailtavasta datasta tuloksen vääristymisen estämiseksi.

GNSS-havaintoja mitatessa satelliittigeometria oli pääasiassa kohtuullinen (Liite 2, Taulukko 14). Aamu- ja iltapäivän mittauksien ominaisuustiedoissa ei ollut nähtävissä huomattavia eroja. Satelliittien määrä ja DOP-arvojen keskiarvot olivat kaikissa havaintoryhmissä miltei samat. Mitattujen GNSS-havaintojen RMS-arvot vaihtelivat huomattavasti eri mittauskerroilla. Tämä vaihtelu ei kuitenkaan ollut sidoksissa mittausajankohtaan, vaan virhettä tapahtui satunnaisesti.

Iltapäivän pistehavainnot muodostivat hieman tiheämmän keskittymään niin tasokuin korkeussijainnissaan verrattuna aamupisteisiin (Liite 2, Taulukko 13 ja Kuvio 7). Tämä viittaa satelliittigeometrian olleen hieman parempi iltapäivän mittauksissa.

GNSS-laitteistolla mitattujen pika-, kartoitus- ja kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnoissa ja sijoittumisessa koordinaatistoon ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita (Liite 2, Kuvio 6 ja Taulukot 15, 16 ja 17). Pisteiden välinen keskihajonta oli jokaisessa pisteryhmässä 1–3 senttimetriä. Tulosten mukaan havaintoajan pituudella ei ollut tällä pisteellä vaikutusta mittauksien hajontaan.

Takymetrillä mitattujen havaintojen väliset koordinaattivaihtelut olivat pieniä verrattuna GNSS-laitteistolla mitattuihin pisteisiin (Liite 2, Taulukko 18). Pisteiden

välinen keskihajonta oli tasosijainnissa alle sentin ja korkeussijainnissa muutamia millijä. Takymetrillä mitatut havaintopisteet sijoittuivat GNSS-laitteistolla mitatun havaintokeskittymään (Liite 2, Kuvio 6).

#### 4.4.7 Havaintopiste 3

Havaintopiste 3 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksestä katsottuna kaakon puolella korkean rakennuksen pohjoispäädyssä (Liite 1, Kuvio 2). Rakennuksen seinä koostui kiinteästä kivirakenteesta. Rakennuksen aiheuttama peitto vaikeutti GNSS-laitteistolla tehtyjä mittauksia. Korjausdatayhteyden muodostamista jouduttiin paikoin odottamaan useita minuutteja. Kolme havaintoa jouduttiin jättämään mittaamatta korjausdatan huonon saatavuuden vuoksi. Havaintojen esitarkastelussa ilmeni kolme pistekeskittymästä huomattavasti eroavaa havaintoa, pikapiste 32 ja kartoituspiste 302 ja kiintopiste 3002. Nämä havainnot mitattiin samalla mittauskerralla. Havaintojen ominaisuustiedot eivät poikenneet mitattujen havaintojen keskiarvoista. (Liite 2, Taulukko 20). Nämä pisteet jätettiin pois vertailtavasta datasta tuloksen vääristymisen estämiseksi.

GNSS-havaintoja mitatessa satelliittigeometria oli heikko (Liite 2, Taulukko 20). Aamu- ja iltapäivän mittausten ominaisuustiedoissa ei ollut nähtävissä huomattavia eroja. Satelliittien määrä oli kaikilla mittauskerroilla alhainen. Myös RMS-luvut ja DOP-arvot olivat huomattavasti korkeampia kuin aikaisemmilla pisteillä. Satelliittien määrä ja DOP-arvojen keskiarvot olivat kaikissa havaintoryhmissä miltei samat.

Aamu ja iltapäivän havaintojen välillä ei ollut nähtävissä suuria taso- ja korkeussijainnin vaihteluita. GNSS-mittausten havaintokeskittymä oli ryhmittäytynyt jono-muodostelmaksi itä-länsi suunnassa (Liite 2, Kuvio 9 ja Taulukko 19).

GNSS-laitteistolla mitattujen pika-, kartoitus- ja kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnoissa ja sijoittumisessa koordinaatistoon ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita (Liite 2, Kuvio 8 ja Taulukot 21, 22 ja 23). Kiintopisteiden keskihajonta oli hieman pienempi kuin pika- ja kartoituspisteiden keskihajonta. Kiintopisteiden välinen keskihajonta oli 2–3, kun pika- ja kartoituspisteiden osalta

hajonta oli 2–5 senttimetriä. Tämän perusteella pidempi havaintoaika pienensi hajontaa.

Takymetrillä mitattujen havaintojen väliset koordinaattivaihtelut olivat pieniä verrattuna GNSS-laitteistolla mitattuihin pisteisiin verrattuna (Liite 2, Taulukko 24). Pisteiden välinen keskihajonta oli tasosijainnissa alle sentin ja korkeussijainnissa muutamia millijä. Takymetrillä mitatut havaintopisteet sijoituivat GNSS-laitteistolla mitatun havaintokeskittymän ympärille (Liite 2, Kuvio 8).

#### 4.4.8 Havaintopiste 4

Havaintopiste 4 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksestä lounaaseen olevalla jalkakäytävällä korkeahkon rakennuksen itäseinustalla (Liite 1, Kuvio 2). Rakennuksen seinä koostui kiinteästä kivirakenteesta. Rakennuksen aiheuttama peitto vaikeutti GNSS-laitteistolla tehtyjä mittauksia. Korjausdatayhteyden muodostamista jouduttiin paikoin odottamaan useita minuutteja. Havaintojen esitarkastelussa ei ilmennyt pistekeskittymästä huomattavasti eroavia havaintoja.

GNSS-havaintoja mitattaessa satelliittigeometria oli heikko (Liite 2, Taulukko 26). Tätä korostivat korkeat DOP-arvot sekä satelliittien pieni määrä. RMS-arvot pysyivät mittausten aikana maltillisina, mikä kertoo pienestä hajonnasta lasketta-  
vissa sijainneissa. Aamulla ja iltapäivällä mitattujen havaintojen välillä ei ollut nähtävissä suuria tasosijainnin vaihteluita (Liite 2, Kuvio 11). Sen sijaan aamumittausten korkeussijainnin keskihajonta oli iltamittausten hajontaa hieman pienempi (Liite 2, Taulukko 25). Ominaisuustietojen keskiarvoissa ei ollut huomattavia eroavaisuuksia aamun ja iltapäivän mittausten välillä.

GNSS-laitteistolla mitattujen pika-, kartoitus- ja kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnoissa ja sijoittumisessa koordinaatistoon ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita (Liite 2, Kuvio 10 ja Taulukot 27, 28 ja 29). Pisteiden välinen keskihajonta oli jokaisessa pisteryhmässä x- ja y-koordinaattien välillä 2 senttimetriä ja z-koordinaattien välillä noin 5 senttimetriä. Tulosten mukaan havaintoaajan pituudella ei ollut tällä pisteellä vaikutusta mittaustulosten hajontaan.

Takymetrillä mitattujen havaintojen väliset koordinaattivaihtelut olivat pieniä verrattuna GNSS-laitteistolla mitattuihin pisteisiin (Liite 2, Taulukko 30). Pisteiden välinen keskihajonta oli tasosijainnissa alle sentin ja korkeussijainnissa muutamia millijä. Takymetrillä mitatut havaintopisteet sijoittuivat GNSS-laitteistolla mitatun havaintokeskittymän ympärille (Liite 2, Kuvio 10).

#### 4.4.9 Havaintopiste 5

Havaintopiste 5 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksestä lounaaseen olevalla jalkakäytävällä korkeahkon rakennuksen länsiseinustalla (Liite 1, Kuvio 3). Rakennuksen seinää hallitsi suurikokoinen näyteikkuna. Rakennuksen aiheuttama peitto vaikeutti jonkin verran GNSS-laitteistolla tehtyjä mittauksia. Korjausdatayhteyden muodostamista jouduttiin paikoin odottamaan useita minutteja. Neljä havaintopistettä jouduttiin jättämään mittaamatta korjausdatan huonon saatavuuden vuoksi. Havaintojen esitarkastelussa ei ilmennyt pistekeskittymästä huomattavasti eroavia havaintoja.

GNSS-havaintoja mitatessa satelliittigeometria oli heikko (Liite 2, Taulukko 32). Tätä korostivat korkeat DOP-luvut ja RMS-arvot sekä satelliittien pieni määrä. Aamu- ja iltapäivän mittausten satelliittimäärien ja RMS-arvojen keskiarvoissa ei ollut merkittäviä eroavaisuuksia. Sen sijaan iltapäivällä mitattujen havaintojen DOP-arvot olivat korkeampia kuin aamupäivällä mitattujen vastaavat keskiarvot.

Aamu ja iltapäivän havaintojen välillä ei ollut kokonaisuutena nähtävissä suuria taso- ja korkeussijainnin vaihteluita (Liite 2, Kuvio 13 ja Taulukko 31). Poikkeuksen muodosti iltapäivällä mitattu kartoituspiste 60104, jonka korkeus erosi iltapäivällä mitattujen pisteiden keskittymästä noin 40 senttimetriä.

GNSS-laitteistolla mitattujen pika-, kartoitus- ja kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnoissa ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita. (Liite 2, ja Taulukot 33, 34 ja 35). Pisteiden välinen keskihajonta oli jokaisessa pisteryhmässä x- ja y-koordinaattien välillä 2–4 senttimetriä ja z-koordinaattien välillä noin 4–6 senttimetriä. Tulosten mukaan havaintoajan pituudella ei ollut tällä pisteellä vaikutusta mittaustulosten hajontaan.

Takymetrillä mitattujen havaintojen väliset koordinaattivaihtelut olivat pieniä verrattuna GNSS-laitteistolla mitattuihin pisteisiin (Liite 2, Taulukko 36). Pisteiden välinen keskihajonta oli tasosijainnissa alle sentin ja korkeussijainnissa muutamia millijä. Takymetrillä mitatut havaintopisteet keskittyivät noin 5 senttimetriä GNSS-laitteistolla mitatun havaintokeskittymän itäpuolelle (Liite 2, Kuvio 12).

#### 4.4.10 Havaintopiste 6

Havaintopiste 6 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksen pohjoispuolella olevalla jalkakäytävällä, korkeahkon rakennuksen eteläpäässä (Liite 1, Kuvio 3). Rakennuksen seinää hallitsi suurikokoinen näyteikkuna. Havaintojen mittaaminen pisteelle onnistui hyvin. Havaintojen esitarkastelussa ei ilmennyt pistekeskittymästä huomattavasti eroavia havaintoja.

GNSS-havaintoja mitatessa satelliittigeometria oli pääasiassa hyvä (Liite 2, Taulukko 38). Satelliittien määrät ja RMS-luvut olivat iltapäivän mittauksissa keskimäärin hieman parempia kuin aamumittauksissa. DOP-lukujen keskiarvoissa ei ollut eroja aamun ja iltapäivän mittauksien välillä. Eri vuorokaudenaikana mitattujen pisteiden taso- ja korkeussijainnissa ei ollut huomattavia eroavaisuuksia (Liite 2, Taulukko 37 ja Kuvio 15).

GNSS-laitteistolla mitattujen pika-, kartoitus- ja kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnoissa ja sijoittumisessa koordinaatistoon ei ollut nähtävissä merkittäviä vaihteluita (Liite 2, Kuvio 14 ja Taulukko 37). Pisteiden välinen keskihajonta oli jokaisessa pisteryhmässä 1–2 senttimetriä. Tämän perusteella havaintoajan pituudella ei ollut tällä pisteellä vaikutusta mittaustulosten hajontaan (Liite 2, Taulukot 39, 40 ja 41).

Takymetrillä mitattujen havaintojen väliset koordinaattivaihtelut olivat pieniä verrattuna GNSS-laitteistolla mitattuihin pisteisiin (Liite 2, Taulukko 42). Pisteiden välinen keskihajonta oli tasosijainnissa alle sentin ja korkeussijainnissa muutamia millijä. Takymetrillä mitatut havaintopisteet sijoituivat GNSS-laitteistolla mitatun havaintokeskittymän länsipuolelle.

#### 4.4.11 Havaintopiste 7

Havaintopiste 7 sijaitsi Koskikatu-Lapinkävijäntie risteuksen pohjoispuolella kahden korkeahkon rakennuksen välissä (Liite 1, Kuvio 3). Rakennusten välissä kasvoi kaksi isokokoista koivua, jotka loivat paikalle lisäpeitettä. Rakennusten ja puuston aiheuttaman peiton vuoksi GNSS-laitteistolla tehtävät mittaukset olivat miltei mahdottomia. Haastavien olosuhteiden vuoksi korjausdatayhteyttä ei voitu useimmissa tapauksissa muodostaa. Tämän vuoksi 16 havaintoa 24 havainnosta jäi mittaamatta. Lisäksi havaintojen esitarkastelussa ilmeni kolme pistekeskittymästä huomattavasti eroavaa havaintoa, pikapiste 26 ja kartoituspiste 206 ja kiin-  
topiste 2006. Pisteet mitattiin samalla mittauskerralla. Näiden pisteiden ominaisuuksitiedot eivät eronneet huomattavasti muiden GNSS-havaintojen ominaisuustiedoista (Liite 2, Taulukko 44). Nämä pisteet jätettiin kuitenkin pois vertailtavasta datasta tuloksen vääristymisen estämiseksi.

GNSS-havaintojen ominaisuustietojen pohjalta ei pienen otannan vuoksi voitu vetää johtopäätöksiä eroavaisuuksista aamun ja iltapäivän tuloksien välillä (Liite 2, Taulukko 44). Havaintojen satelliittigeometrian voidaan todeta kokonaisuutena olleen heikko. Satelliittien määrät, RMS-arvot ja DOP-luvut vaihtelivat pisteiden välillä suuresti.

Pienen otannan vuoksi aamun ja iltapäivän havaintojen välillä ei voitu vertailla taso- ja korkeussijainnin vaihteluita (Liite 2, Kuvio 17 ja Taulukko 43). GNSS-mittausten havaintokeskittymä oli hajonnut laajalle alueelle. Havaintoajan vaikutuksia tulosten tarkkuuteen ei myöskään voitu otannan vuoksi arvioida (Liite 2, Taulukot 45 ja 46).

Takymetrillä mitattujen havaintojen väliset koordinaattivaihtelut olivat pieniä (Liite 2, Taulukko 47). Takymetrillä mitattujen pisteiden suurimmat koordinaattien väliset erot olivat tasokoordinaatistossa noin senttimetrin ja korkeudessa muutamia millijä. Takymetrillä mitatut havainnot muodostivat selkeän havaintokeskittymän toisin kuin GNSS-laitteistolla mitatut havainnot (Liite 2, Kuvio 16).



#### 4.5 Yhteenveto

Mittaustulosten perusteella vertailulle asetettu hypoteesi osoittautui pääosin oikeaksi. GNSS-laitteistolla mitatuille apu- ja havaintopisteille asetetut arviot tulosten hajonnasta toteutuivat pääosin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Takymetrillä mitattujen havaintojen taso- ja korkeushajonta pysyi arvioidun kahden senttimetrin sisällä.

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että peitealueet vaikuttavat huomattavasti GNSS-laitteistolla tehtäviin mittauksiin. Peitteettömille apupisteille mitattujen GNSS-havaintojen hajonta oli huomattavasti havaintopisteille mitattujen havaintojen hajontaa pienempi. Havainto- ja apupisteille mitattuja pistekeskittymiä ei kuitenkaan voida pitää täysin vertailukelpoisina, koska pisteiden mittauksessa käytettiin eri havaintoaikoja. Apupisteille mitatut havainnot edustavat RTK-mittauksella mitattujen pisteiden välistä hajontaa hyvissä mittausolosuhteissa, suhteellisen pitkällä havaintoajalla.

Havaintopisteille mitatut havainnot edustavat RTK-mittauksella mitattujen pisteiden välistä hajontaa haastavissa olosuhteissa. Korjausdatayhteyden muodostamisessa ilmenneet ongelmat hidastivat havaintojen mittaamista. Pieni osa havainnoista jouduttiin jättämään mittaamatta, koska korjausdatayhteyttä ei voitu muodostaa. Havaintoja jouduttiin myös esikäsittämään ennen vertailua, koska korjausdatayhteydestä huolimatta muutamat pisteet erosivat huomattavasti mitatuista pistekeskittymistä. Näiden pisteiden sijaintipoikkeamat voivat johtua mitaustarkkuutta heikentävistä tekijöistä kuten monitieheijastuksista ja mittauksen aikana tapahtuvista vaihekatkoista ja vastaanottimen sauvan tasauksen virheestä.

Takymetrillä mitattujen havaintojen perusteella voidaan todeta, etteivät ympäröivät mittausolosuhteet vaikuta tulosten hajontaan. Mittaustuloksien välinen hajonta oli kaikilla havaintopisteillä melko systemaattista, joka viittaa orientoinnissa syntyneeseen virheeseen. Orientoinnissa virhettä voi aiheuttaa GNSS-laitteistolla mitattujen apupisteiden käyttö. Apupisteiden sijainnit eivät mitaustavan

vuoksi ole absoluuttisia ja niiden välillä oleva virhe näkyy takymetrin orientoinnissa. Osa hajonnasta voi johtua prisma-auvan tasauksen virheestä.

Mittaustulosten perusteella eri ilmansuuntien aiheuttamat peitot eivät näkyneet yhtä poikkeusta lukuun ottamatta havaintokeskitymissä. Mainittavaa eroavaisuutta oli nähtävissä havaintopisteellä 3. Piste GNSS-havainnot muodostivat pitkänomaisen itä-länsi -suunnassa olevan pistekeskitymän. Tutkimuksessa käytössä olevan suhteellisen pienen otannan vuoksi tästä ei kuitenkaan voida vetää varmoja johtopäätöksiä.

GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen välillä ei ollut nähtävissä yhdenmukaista pisteiden ryhmittymistä. Ensimmäisen ja toisen havaintopisteen iltapäivän pistekeskitymän voidaan sanoa olevan aamupäivän keskitymää hieman tiheämpi. Tämä trendi ei kuitenkaan ulotu kaikkiin havaintopisteisiin.

Tutkimuksen aineiston perusteella GNSS-laitteistolla havaintopisteille mitattujen pisteryhmien hajonnoissa ei ollut kokonaisuutena nähtävissä suuria vaihteluita. Vain havaintopisteen 3 kohdalla pidempi havaintoaika pienensi pisteiden välistä hajontaa. Kokonaisuutena mittaustulosten perusteella voidaan arvioida, ettei GNSS-laitteiston havaintoaika olennaisesti paranna pisteiden mittaustarkkuutta haastavissa mittausolosuhteissa.

GNSS- ja takymetrihavainnot sijoittuivat samaan pistekeskitymään suurimmalla osalla havaintopisteistä. Poikkeuksen muodostivat havaintopisteet 5 ja 7. Havaintopisteellä 5 GNSS-havaintojen keskitymä sijoittui takymetrihavaintojen keskitymästä noin 5 senttiä itään päin. Virheen vaikutuksia oli haastavaa arvioida, koska mittauksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä oli runsaasti. GNSS-havaintojen ominaisuustietoja tarkastellessa heikot DOP-luvut herättivät arveluja huonosta satelliittigeometriasta. On myös mahdollista, että pisteen länsipuolella olevan rakennuksen näyteikkuna aiheutti mittausten aikana monitieheijastuksia.

Havaintopiste 7 GNSS- ja takymetrihavaintojen välisten erojen hajontaa oli hankala arvioida pisteelle mitatun pienen otannan vuoksi. Pisteiden havaintojen pohjalta GNSS-laitteiston toimivuus näyttää olevan haastavissa mittausolosuhteissa takymetriä heikompi.

Tutkimuksemme otanta oli liian rajallinen, jotta sen pohjalta voisi vetää selviä johtopäätöksiä yksittäisistä havaintokokonaisuuksista. Yhteenvetona aineiston pohjalta voidaan kuitenkin todeta GNSS-laitteistolla mitattujen pisteiden hajonnan kasvavan huomattavasti kaupungille tyypillisissä mittausolosuhteissa. Vastaavaa hajontaa ei ollut nähtävissä takymetrillä mitattujen havaintojen kohdalla. Tästä voidaan päätellä takymetrin soveltuvan GNSS-laitteistoa paremmin kaupunkiolosuhteissa suoritettaviin, tarkkuutta vaativiin mittauksiin.

## 5 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä vertailevia mittauksia GNSS- ja takymetrialaitteistojen mittaustarkkuuksien välillä kaupunkiolosuhteissa. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä kaupunkiolosuhteissa yleisesti vaadittaviin mittaustarkkuuksiin, GNSS- ja takymetrialaitteiston toimintaperiaatteisiin, laitteiden mittaustarkkuuksiin sekä mittaustarkkuuksiin vaikuttaviin tekijöihin.

GNSS- ja takymetrimittauksen mittaustarkkuusvertailun suorittaminen kaupunkiolosuhteissa osoittautui mielenkiintoiseksi ja haastavaksi opinnäytetyön aiheeksi. Mittausten käytännön suorittaminen kaupunkiolosuhteissa toi opinnäytetyön tekemiseen käytännön tehtäviä, jotka lisäsivät sen mielekkyyttä. Opinnäytetyön aikana kohdattiin useita haasteita. Työn alkuvaiheessa kävi ilmi, ettei valitulla mitaustyömaalla ollut saatavilla mittausten hyödyntämisen kannalta tarpeeksi tiheää kiintopisteverkkoa. Tämän vuoksi mittaustulosten vertailu päätettiin suorittaa hajontoihin perustuen. Suuremman otannan saavuttamiseksi GNSS-mittauksen havainnot päätettiin mitata kolmella eri havaintoajalla.

Mittausten suunnitteluvaiheessa haasteita tuottivat muutokset aineiston keräämiseen suunniteltujen työmaiden tilanteissa. Tämän vuoksi mittausten suunnittelu oli paikoin haasteellista. Tilannetta kuitenkin helpotti tilaajan joustavuus ja nopea reagointi muuttuviin tilanteisiin.

Vertailevan tutkimuksen otanta oli rajallinen, mikä rajoittaa huomattavasti mahdollisuuksia tulosten yleistämiseen sekä tarkkojen analyysien tekemiseen. Yleisellä tasolla havaintojen pohjalta voidaan kuitenkin tehdä muutamia toteamuksia.

GNSS-laitteistolla suoritetuista RTK-mittauksista voidaan sanoa, että peitteiset mittaussympäristöt saattavat vaikuttaa mitattavien pisteiden väliseen hajontaan huomattavasti. Havaintojen välinen hajonta kasvaa valmistajan lupaamasta taso- ja korkeustarkkuudesta useita senttejä. Peitteiset mittaolosuhteet myös pienentävät mittauksessa käytettävien satelliittien määrää sekä heikentävät satelliitigeometriaa.

Kaupunkiolosuhteiden ei voi todeta vaikuttavan mainittavasti takymetrillä suoritettaviin mittauksiin. Takymetrin orientoinnissa käytettyjen pisteiden mahdolliset sijaintiheitot vaikuttavat orientoinnin tarkkuuteen ja näkyvät mittaustuloksissa systemaattisena virheenä. Takymetrin orientoinnin jälkeen mittaustuloksien väliset taso- ja korkeushajonnat olivat tutkimuksemme mukaan muutamista millemistä vajaan senttimetriin. Lähtöpisteiden ollessa hyvät takymetri soveltuu tarkkoihin kaupunkimittauksiin GNSS-laitteistoa paremmin.

Kokonaisuutena opinnäytetyö onnistui tekijöiden mielestä hyvin sille asetetuissa tavoitteissa. Työn rajaus mahdollisti laajan kokonaiskäsityksen syntyminen käsiteltyjen asioiden riippuvuussuhteita. Mittaustarkkuusvertailun tekeminen syvensi tekijöiden ymmärrystä kaupunkiolosuhteiden vaikutuksista GNSS- ja takymetrimittausten tulosten hajontaan. Työn aikana tekijöille muodostui kuva yleisimmässä rakennus- ja mittausohjeistuksissa vaadituista mittaustarkkuuksista. Lisäksi työ lisäsi huomattavasti tekijöiden ymmärrystä GNSS- ja takymetrilaitteiston teknisistä toimintaperiaatteista, laitteiden saavuttamista tarkkuuksista sekä mittaustarkkuuksiin vaikuttavista tekijöistä.

## LÄHTEET

Asfalttinormit 2011. Asfalttinormitoimikunta. Vantaa: Päälystealan neuvottelukunta PANK ry.

Häkli, P. 2014. JHS-suositus 184: Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. Geodesian teemapäivä, 10.9.2014. Viitattu 15.11.2016 <http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/Geodesiapaiva/PasiHakli-JHS184KiintopistemittausEUREFFINkoordinaattijarjestelmassa.pdf>.

Ilmatieteen laitos 2016a. Avaruussään vaikutus satelliittipaikannukseen. Viitattu 14.11.2016 <http://ilmatieteenlaitos.fi/satelliittipaikannus>.

Ilmatieteen laitos 2016b. Ionosfääri. Viitattu 14.11.2016 <http://ilmatieteenlaitos.fi/ionosfaari>.

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset: Osa 1 Väylät ja alueet. 2006. InfraRYL. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.

JUHTA – Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta 2014. JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Viitattu 17.11.2016 <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185/JHS185.pdf>.

Korhonen, S. 2016. Kiina laukaisi suojatun satelliitin – USA pelkää. Tekniikka & talous 16.8.2016. Viitattu 14.11.16 <http://www.tekniikkatalous.fi/tiede/avaruus/kiina-laukaisi-hakkeroinnilta-suojatun-satelliitin-usa-pelkaa-6574048>.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. uudistettu painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3.

Laurila, P. 2016. Lapin AMK. Maanmittaustekniikan yliopettajan haastattelu 3.11.2016.

Leica 2016a. Leica Viva GS15: Data Sheet. Viitattu 4.10.2016 [http://www.leica-geosystems.fi/downloads123/zz/gpsgis/Viva%20GS15/brochures-datasheet/Leica\\_Viva\\_GS15\\_DS\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.fi/downloads123/zz/gpsgis/Viva%20GS15/brochures-datasheet/Leica_Viva_GS15_DS_en.pdf).

Leica 2016b. Leica Viva GS16: Data Sheet. Viitattu 4.10.2016 [http://www.leica-geosystems.fi/downloads123/zz/gpsgis/Viva\\_GS16/brochures-datasheet/Leica\\_Viva\\_GS16\\_DS\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.fi/downloads123/zz/gpsgis/Viva_GS16/brochures-datasheet/Leica_Viva_GS16_DS_en.pdf).

Leica 2016c. Leica Viva TS16: Data Sheet. Viitattu 4.10.2016 [http://www.leica-geosystems.fi/downloads123/zz/tps/viva\\_ts16/brochures-datasheet/Leica%20Viva%20TS16%20DS\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.fi/downloads123/zz/tps/viva_ts16/brochures-datasheet/Leica%20Viva%20TS16%20DS_en.pdf).

Miettinen, S. 2006. GPS Käsikirja. Helsinki: Genimap.

Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics 2016. Viitattu 14.11.2016 <http://www.gps.gov/systems/gps/control/>.

Poutanen, M. 1998. GPS-paikanmääritys. Ursan julkaisuja 63.

Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset: Talonrakennuksen maatyöt. 2010. MaaRYL. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.

Spatial-Ed 2016. Accuracy defined. Viitattu 14.11.2016  
<http://www.spatial-ed.com/gps/gps-basics/133-effect-gps-accuracy.html>.

Trimble 2016a. R8 GNSS-järjestelmä. Viitattu 4.10.2016 [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-608082/022543-079N-FIN\\_TrimbleR8GNSS\\_DS\\_1014\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-608082/022543-079N-FIN_TrimbleR8GNSS_DS_1014_LR.pdf).

Trimble 2016b. Trimble R10 GNSS-järjestelmä. Viitattu 4.10.2016 [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-636302/022543-544F-FIN\\_TrimbleR10\\_DS\\_A4\\_0715\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-636302/022543-544F-FIN_TrimbleR10_DS_A4_0715_LR.pdf).

Trimble 2016c. Trimble S6 Takymetri. Viitattu 4.10.2016. [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-608095/022543-098L-FIN\\_TrimbleS6\\_DS\\_0613\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-608095/022543-098L-FIN_TrimbleS6_DS_0613_LR.pdf).

Trimble 2016d. Trimble S9 Takymetri. Viitattu 4.10.2016 [http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-779877/022516-155B-FIN\\_TrimbleS9\\_S9HP\\_DS\\_A4\\_0715\\_LR.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-779877/022516-155B-FIN_TrimbleS9_S9HP_DS_A4_0715_LR.pdf).

Uren, J. & Price, B. 2010. Surveying for Engineers. 5. painos. Hampshire: Palgrave Macmillan.

## LIITTEET

Liite 1. Mittaussuunnitelma Koskikatu-Lapinkävijäntie -risteyksessä suoritettaville vertaileville mittauksille

Liite 2. Vertailevan mittauksen suodatetut havainnot sekä niiden mallinnus

Liite 3. Pasi Laurilan haastattelukysymykset



Liite 1.

Jukka Koponen, Jani Hiltunen  
R501M13S, R1200766

**Raportti** 1 (8)  
Opinnäytetyö

30.9.2016

### **Mittaussuunnitelma Koskikatu-Lapinkävijäntie risteyksessä suoritettaville vertaileville mittauksille**

Rovaniemen keskustan läheisyydessä Koskikatu-Lapinkävijäntie -risteyksessä suoritettavat vertailevat mittaukset ovat osa Lapin ammattikorkeakoulun maanmittaustekniikan opiskelijoiden, Jukka Koposen ja Jani Hiltusen, opinnäytetyötä. Työn aihe on GNSS- ja takymetrimittausten mittaustarkkuusvertailu kaupunkiolosuhteissa. Mittausten tarkoituksena on kerätä aineistoa opinnäytetyötä varten. Opinnäytetyön tilaajana toimii Proacon Oy, joka osoitti kyseisen kohteen mittauksia varten ja ilmoitti mittauksista Rovaniemen kaupungille.

Koskikatu-Lapinkävijäntie -risteyksen lähialueella suoritettavat mittaukset toteutetaan GNSS- ja takymetrilaitteistoilla. Mittaukset tullaan suorittamaan lokakuussa 2016, pääasiallisesti viikoilla 42 ja 43. Tarvittaessa täydennettäviä mittauksia suoritetaan viikolla 44. Mittausten tarkemman ajankohdan määrittää mittalaitteiden saatavuus. Työssä käytettävät laitteet lainataan Lapin ammattikorkeakoululta.

GNSS-mittaukset tehdään reaaliaikaisella kinemaattisella mittauksella. Mittaukset tehdään ETRS-TM35FIN- koordinaattijärjestelmässä, käytettävä geoidi on FIN2005N ja korkeusjärjestelmä N2000.

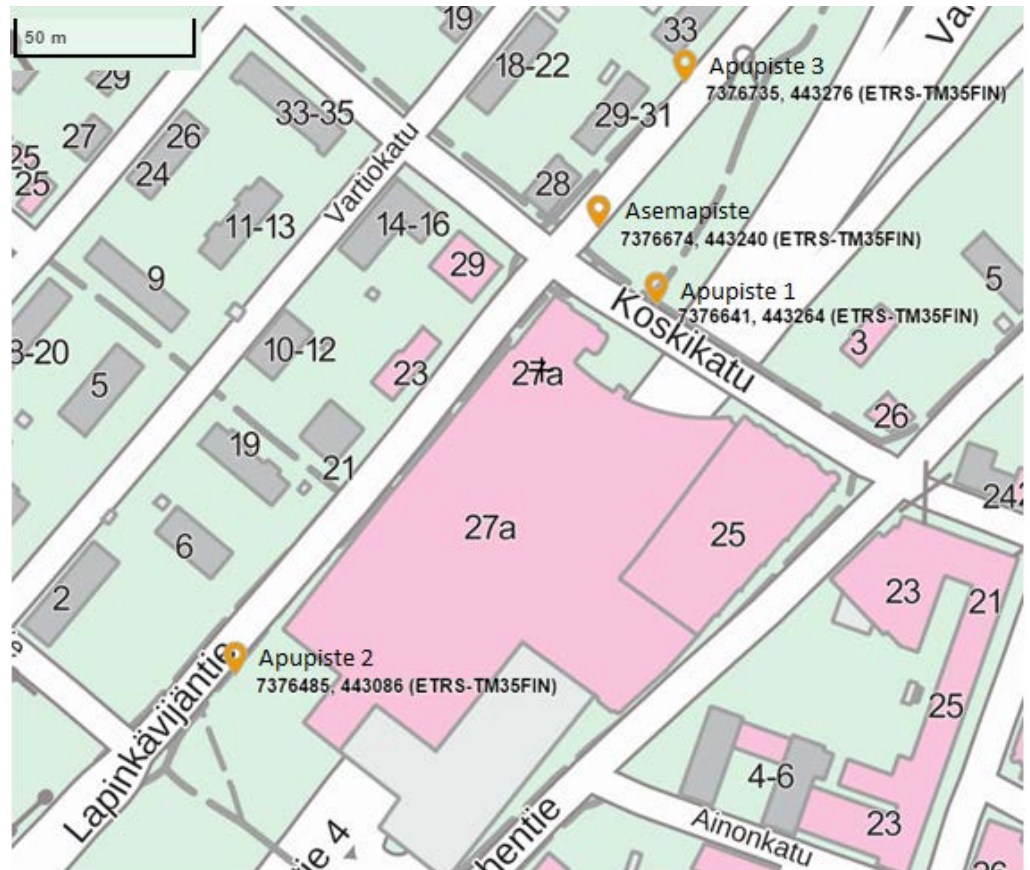
Työmaalle suoritettiin tutustumiskäynti mittausten suunnitteluvaiheessa. Käynnin perusteella alueelle suunniteltiin sijoitettavan kolme

avoimelle paikalle perustettavaa apupistettä (Kuvio 1) sekä seitsemän peitteiselle paikalle perustettavaa havaintopistettä (Kuvio 2 ja Kuvio 3).

Työn toteuttamista varten alueelle perustetaan kolme apupistettä sekä 7 havaintopistettä. Työssä käytettävät takymetrin orientointipisteet eli apupisteet mitataan GNSS-laitteistolla. Yhdelle apupisteelle mitataan peräkkäin kolme pistettä ja niistä lasketaan keskiarvo. Pisteyden mittauksissa käytetään 1 minuutin havaintoaikaa.

Apupisteiden sijainnin ensisijainen valintakriteeri on mahdollisimman peitteetön ja avoin mittauspaikka tarkimman mahdollisen GNSS-mittauksen varmistamiseksi (Kuvio 1). Apupiste 1 suunnitellaan sijoitettavan Valtatie 4 ylittävän sillan länsipäähän, apupiste 2 Koskikatu-Lapinkävijäntie- risteuksesta Lapinkävijäntietä etelään ja apupiste 3 Koskikatu-Lapinkävijäntie- risteuksen lounaispuolelle. Pisteyden perustamiseen käytetään asfalttiin hakattavia merkkinauloja

Apupisteiden sijoittelussa huomioitiin takymetrin tulevan asemapisteyden sijainti, joka suunniteltiin sijoitettavan Koskikatu-Lapinkävijäntie- risteuksen koiliskulmaan (Kuvio 1). Apupisteet sijoitettiin suunnitellun asemapisteyden ympärille siten, että tähtäysmatkat pisteille muodostuivat mahdollisimman pitkiksi mahdollisimman tarkkojen kulmahavaintojen saavuttamiseksi.



Kuvio 1. Mittausalueelle suunnitellut apupisteet sekä takymetrin suunniteltu asemapiste havainnollistettuna kartalla. (Maanmittauslaitos 2016)

Havaintopisteiden sijainnin valintakriteereinä toimivat mittausalueella peittoja luovat rakennukset sekä puusto. Havaintopisteet pyrittiin sijoittamaan peitteiltään mahdollisimman vaihteleviin paikkoihin. Näin saataisiin mahdollisimman monipuolista aineistoa GNSS-laitteiston toimivuudesta kaupunkiolosuhteissa. Havaintopisteiden perustamiseen suunnitellaan käytettävän asfalttiin hakattavia merkkinauloja siellä missä mahdollista. Kaksi havaintopisteistä, havaintopisteet 1 ja 2, sijoittuvat alueella olevalle puistoalueelle. Pisteiden perustamisessa pyritään minimoimaan puistoalueen kasvustolle ja visuaaliselle ilmeelle aiheutuvat haitat sekä pisteille mahdollisesti tehtävä ilkivalta. Pisteiden merkintään suunnitellaan käytettävän ohuita vähintään 20 senttiä pitkiä metallimerkkejä, joiden päässä on

paksumpi muoviosa. Merkit hakataan maanpinnan tasalle pysyvyyden varmistamiseksi. Pisteitä ei merkata erillisellä merkkitikulla, jotta ne eivät herätä huomiota.

Havaintopisteet 1 suunniteltiin sijoitettavan alueella olevaan puistoon (Kuvio 2). Suunniteltu paikka sijaitsee pienellä puuston ympäröimällä aukealla. Kolmen ja puolen metrin säteellä suunnitellusta paikasta ei kasva puustoa. Aukean ympärillä puusto ja sen myötä peittoalueet ovat vaihtelevia. Pohjois- ja eteläsuunnassa aukean puusto on harvahaikoa männikköä. Aukean länsipuolen puusto koostuu tiheähköstä mäntyrivistä, kun taas aukean itäpuolella on tiheähkö haapametsikkö. Mittaukseen vaikuttavan peittoalueiden voidaan tämän vuoksi sanoa keskittyvän pisteen itä- ja länsipuolelle.

Havaintopiste 2 suunniteltiin sijoitettavan tiheään haapametsikköön (Kuvio 2). Pisteeseen ympäröivä puusto luo huomattavia peittoalueita jokaiseen pääilmansuuntaan. Kolmen ja puolen metrin etäisyydellä suunnitellusta paikasta kasvaa 6 haapaa.

Havaintopiste 3 suunniteltiin sijoitettavan Koskikadun varrella sijaitsevan rakennuksen pohjoispäätyyn (Kuvio 2). Tämän vuoksi etelän suuntaan muodostuva peitealue on huomattava. Suunniteltu paikka on rakennuksen seinästä noin 80 senttimetriä.

Havaintopiste 4 suunniteltiin sijoitettavan Lapinkävijäntien varrella sijaitsevan rakennuksen länsisivustalle (Kuvio 2). Rakennus muodostaa huomattavan peitealueen idän suuntaan. Suunniteltu paikka sijaitsee noin 50 sentin päässä rakennuksen seinästä.

Havaintopiste 5 suunniteltiin sijoitettavan rakennuksen itäisivustalle (Kuvio 3). Rakennus muodostaa huomattavan peittoalueen lännen suuntaan. Suunniteltu paikka sijaitsee noin 40 senttimetrin päässä rakennuksen seinästä.

Havaintopiste 6 suunniteltiin sijoitettavan rakennuksen eteläpäättyyn (Kuvio 3). Rakennus muodostaa peitealueen pohjoisen suuntaan. Suunniteltu paikka sijaitsee noin 20 senttimetrin päässä rakennuksen seinästä.

Havaintopiste 7 suunniteltiin sijoitettavan kahden rakennuksen väliin (Kuvio 3). Rakennukset luovat huomattavia peittoja sekä pohjoisettä eteläsuunnissa. Lisäksi rakennusten välissä kasvaa kaksi isokoista koivua, jotka luovat vaihtelevia peitealueita idän ja lännen suuntiin. Suunniteltu paikka sijaitsee noin kolmen metrin päässä etelänpuoleisesta rakennuksesta. Pohjoispuolen rakennukseen etäisyyttä on noin 7 metriä.



Kuvio 2. Mittausalueelle suunnitellut havaintopisteet 1-4 kartalla havainnollistettuna. (Maanmittauslaitos 2016)

GNSS-laitteistolla tehdään toistomittauksia havaintopisteillä sekä apupisteillä kahden vuorokauden aikana, aamulla kello 9 sekä ilta-päivällä kello 15. Jokaisella havaintopisteellä GNSS-laitteistolla tal-lennetaan kolme havaintoa eri havaintoajoilla. Käytetyt havaintoajat ovat 1 sekunti, 5 sekuntia ja 30 sekuntia. Yhden sekunnin havaintoa kutsutaan työn aikana pikapisteeksi, viiden sekunnin pistettä kartoi-tuspisteeksi ja 30 sekunnin pistettä kiintopisteeksi. Mikäli mittausten aikana katsotaan tarpeelliseksi, mittauskertoja voidaan lisätä tar-peeksi laajan otannan varmistamiseksi.

Takymetrin orientoinnissa käytettävien pisteiden lisäksi apupisteille mitataan työn vertailussa käytettäviä havaintopisteitä. Nämä havain-topisteet ovat kolmen 1 minuutin havaintoajalla peräkkäin mitatun pisteen laskettuja keskiarvoja. Näitä havaintopisteitä hyödynnetään vertailtaessa pitkän havaintoajan ja optimaalisten olosuhteiden mit-tauksissa mahdollisesti näkyviä vaihteluita. Kaikissa GNSS-mittauk-sissa käytetään tarkkuuden varmistamiseksi kolmijalkaista satelliitti-paikantimen sauvan tukea, statiivia. Statiivin tehtävä on pitää sauva tasattuna mittausten ajan.

Takymetrimittausten osalta ei katsota tarpeelliseksi suorittaa eri vuo-rokauden aikoina tehtäviä toistomittauksia. Takymetrimittauksia teh-dään kolmessa eri havaintoryhmässä. Havaintoryhmät jaetaan orientointitapojen perusteella. Ensimmäisessä havaintoryhmässä ta-kymetri orientoidaan kahdelta apupisteeltä, apupisteiltä 1 ja 2. Toi-nessa havaintoryhmässä takymetri orientoidaan apupisteiltä 1,2 ja 3. Kolmannessa havaintoryhmässä takymetri orientoidaan tunnetulle pisteelle. Tunnettuna apupisteena käytetään kolmen apupisteiden ha-vaintojen perusteella laskettua asemapistettä. Tunnetulle pisteelle orientoinnissa liitospisteena käytetään apupistettä 1. Takymetriä ei liikuteta komijalkojen päältä toisen ja kolmannen havaintoryhmän vä-lillä mahdollisimman tarkan keskistymisen saavuttamiseksi.



Kuvio 3. Havaintopisteet 5-7 kartalla havainnollistettuna. (Maanmittauslaitos 2016)

Työn aikana käytettävänä mittalaitteina toimivat Trimble R8-satelliittipaikannin ja Trimble S6-takymetri. Valmistajan lupaa Trimble R8-satelliittipaikantimen tasotarkkuudeksi 8 mm+ 1ppm RMS ja korkeustarkkuudeksi 15 mm+ 1ppm RMS. Trimble S6-takymetrin tarkkuudeksi valmistaja lupaa etäisyysmittauksessa 2 mm+ 2ppm ja kulmamittauksessa 0.15 milligoonia. (Trimble 2016a, 1–2; Trimble 2016c, 1–4)

Muita mittauksessa tarvittavia välineitä ovat kaksi Trimble Computing Unit – maastotalleninta, Trimble 360 multitrack- prisma, Specra precision laser-etäisyydenmittari, kolmijalat, rullamitta, maastotallenintimen telineellä varustettu satelliittipaikantimen sauva, maastotal-

lentimen tiedonsiirtotelakka, statiivi, asfalttinauloja, vasara sekä laturi mittalaitteiden akuille.

Työmailla liikuttaessa työntekijät pitävät työturvallisuusmääräysten mukaisia CE-huomioasuja, turvakenkiä sekä suojalaseilla ja kuulosuojaimilla varustettua turvakypärää. Työn tekijöillä on työn vaatimat, voimassa olevat tie- ja työturvallisuuskortit. Kortit pidetään mukana työmailla liikuttaessa.

Lähteet:

Maanmittauslaitos 2016. Karttapaikka. Viitattu 27.10.2016  
<https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>.

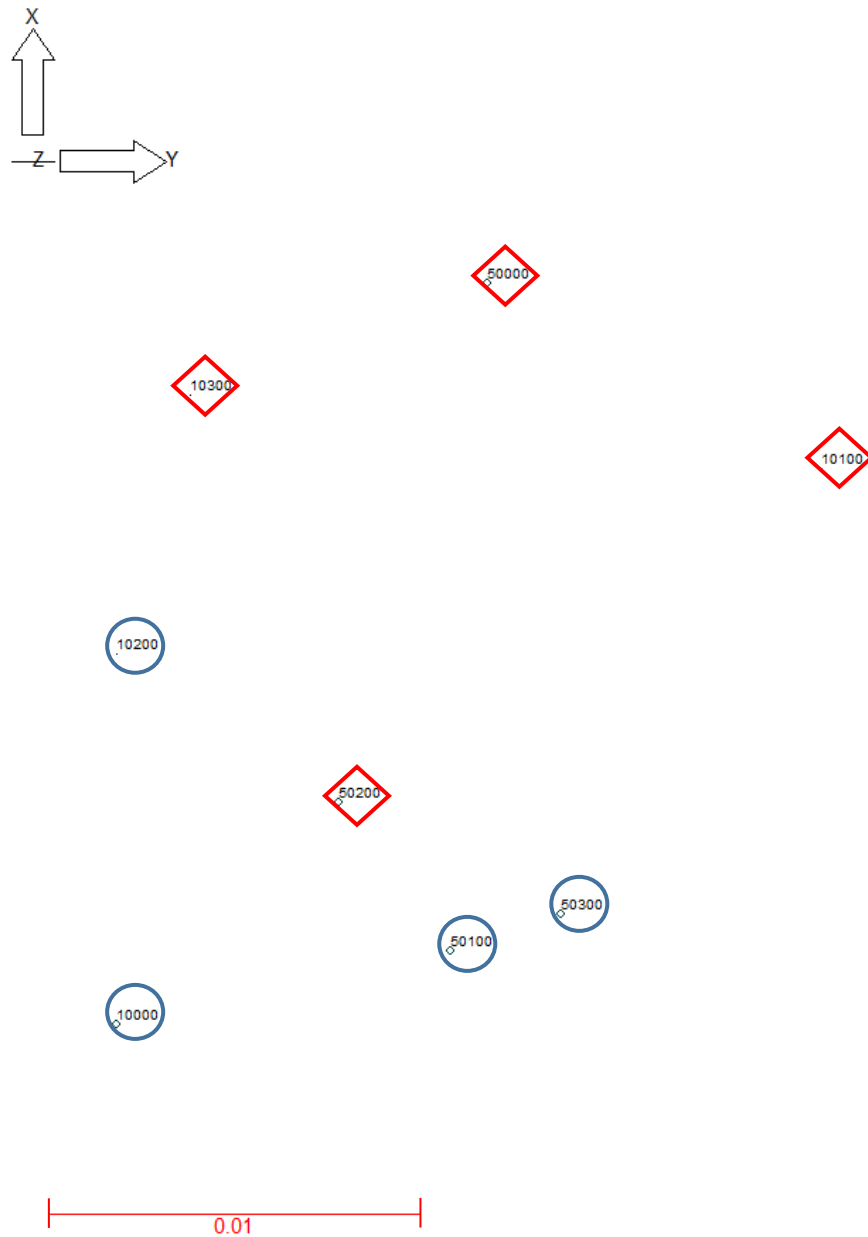
***Jukka Koponen***  
Jukka Koponen

***Jani Hiltunen***  
Jani Hiltunen



## Liite 2.

## Apupiste 1



Kuvio 1. Apupiste 1:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen tasosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ympyrät kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset neliöt kuvaavat kello 15 mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

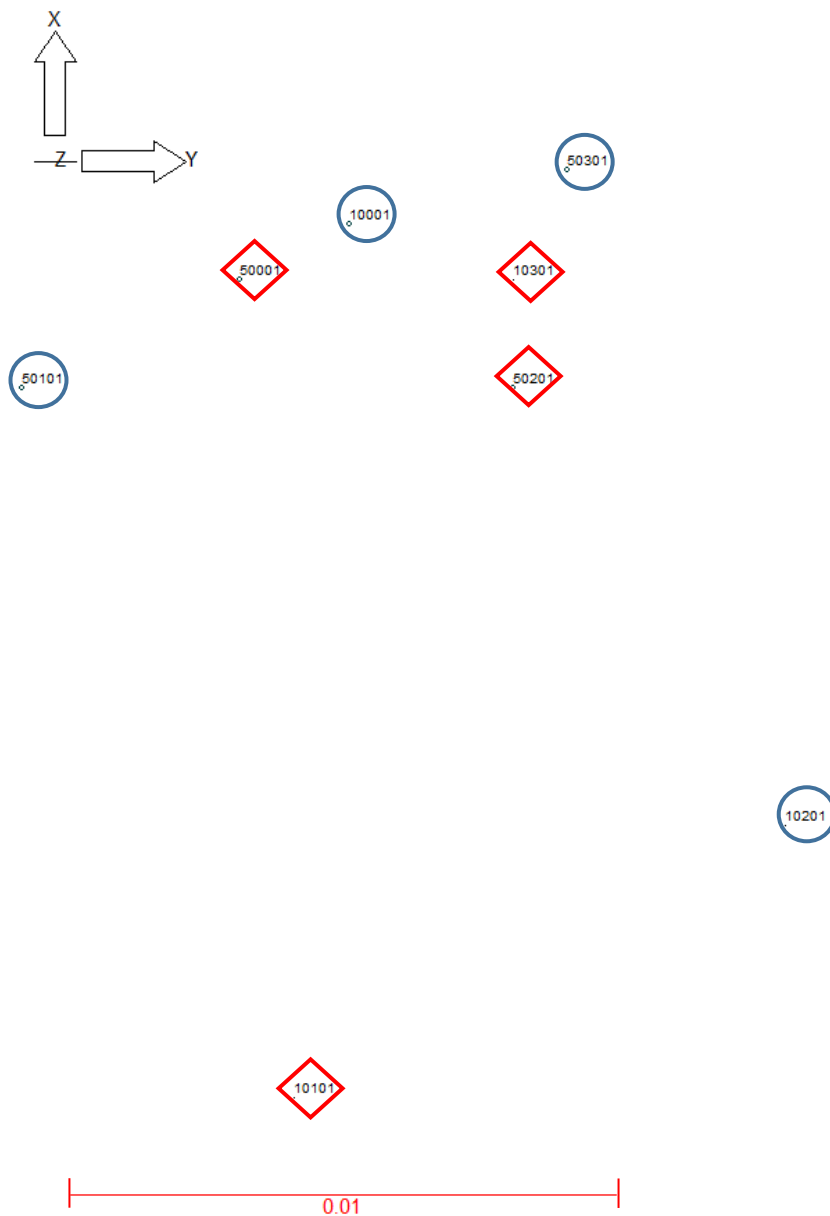
Taulukko 1. Apupisteelle 1 mitattujen pisteiden laskemisessa käytettyjen havaintojen ominaisuustiedot jaettuna mittausajankohdan mukaan. Molempien mittausajankohtien ominaisuustiedoille on laskettu keskiarvot.

Apupiste 1					
Havaintoaika klo 9					
Piste	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
10000	17	13,4	1,3	0,7	1,2
	15	16,3	1,5	0,7	1,3
	15	16,3	1,5	0,7	1,3
10200	19	39	1,2	0,6	1
	19	33,8	1,2	0,6	1
	19	25,2	1,2	0,6	1
50100	15	10	1,6	0,7	1,4
	15	11,2	1,6	0,7	1,4
	15	8	1,6	0,7	1,4
50300	16	18,6	1,4	0,7	1,2
	16	24,3	1,4	0,7	1,2
	16	23,7	1,4	0,7	1,2
<b>Keskiarvo</b>	<b>16</b>	<b>20,0</b>	<b>1,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,2</b>
Havaintoaika klo 15					
Piste	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
10100	16	14,5	1,8	0,9	1,5
	15	10,3	2,2	1	2
	17	11,4	1,4	0,7	1,2
10300	15	21,7	1,8	0,9	1,5
	15	21,8	1,8	0,9	1,5
	16	15,8	1,6	0,8	1,3
50000	17	19,4	1,3	0,7	1,1
	14	16,5	1,7	0,9	1,5
	13	23,8	1,8	0,9	1,5
50200	17	12,6	1,4	0,7	1,2
	17	9,9	1,5	0,8	1,3
	16	51,6	1,6	0,8	1,4
<b>Keskiarvo</b>	<b>16</b>	<b>19,1</b>	<b>1,7</b>	<b>0,8</b>	<b>1,4</b>

Taulukko 2. Apupiste 1:lle mitattujen havaintojen perusteella x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Apupiste 1			
	x	y	z
10000	7376641,481	443264,373	95,815
10100	7376641,496	443264,392	95,815
10200	7376641,491	443264,373	95,815
10300	7376641,498	443264,375	95,825
50000	7376641,501	443264,383	95,812
50100	7376641,483	443264,382	95,813
50200	7376641,487	443264,379	95,828
50300	7376641,484	443264,385	95,811
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,008	0,007	0,006
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,020	0,019	0,017

## Apupiste 2



Kuvio 2. Apupiste 2:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen tasosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ympyrät kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset neliöt kuvaavat kello 15 mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

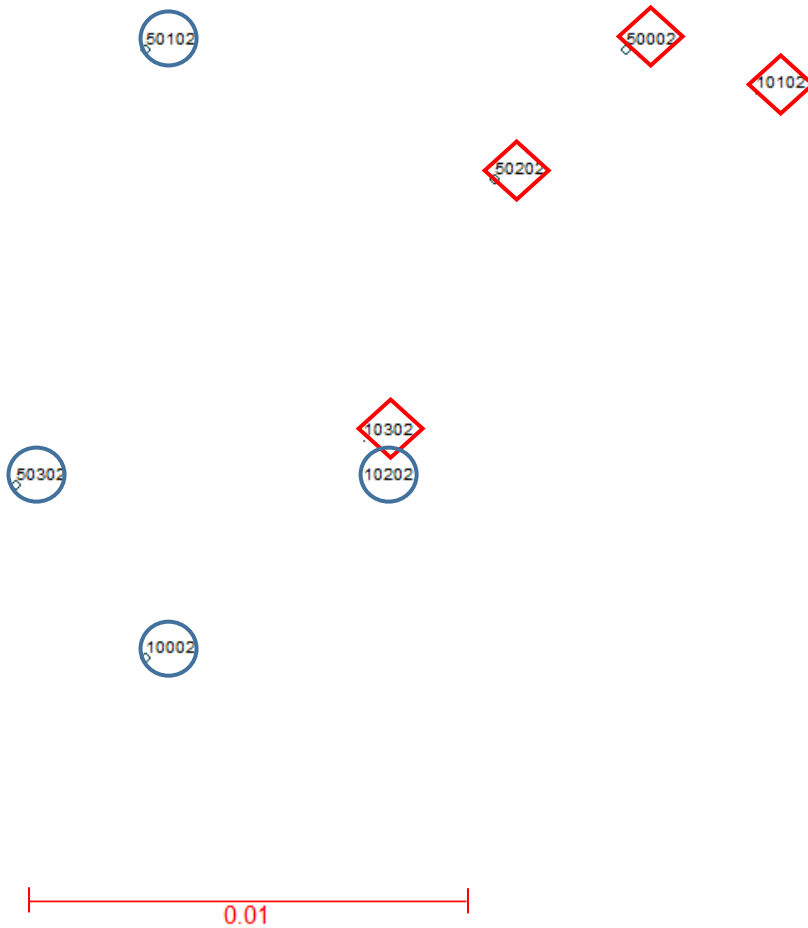
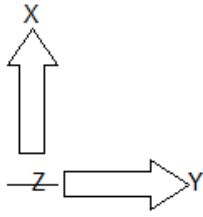
Taulukko 3. Apupisteelle 2 mitattujen pisteiden laskemisessa käytettyjen havaintojen ominaisuustiedot jaettuna mittausajankohdan mukaan. Molempien mittausajankohdienten ominaisuustiedoille on laskettu keskiarvot.

Apupiste 2					
Havaintoaika klo 9					
Piste	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
10001	16	10,2	1,4	0,7	1,2
	17	6,7	1,4	0,6	1,2
	16	11,4	1,4	0,7	1,3
10201	17	14,8	1,4	0,6	1,3
	18	12,8	1,3	0,6	1,1
	18	12,1	1,3	0,6	1,1
50101	18	14,8	1,4	0,6	1,2
	18	12,5	1,4	0,6	1,3
	18	8,4	1,4	0,6	1,3
50301	14	7,8	1,7	0,8	1,5
	15	9,6	1,5	0,7	1,3
	15	6,6	1,5	0,7	1,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>17</b>	<b>10,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,7</b>	<b>1,3</b>
Havaintoaika klo 15					
Piste	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
10101	18	11,3	1,3	0,6	1,1
	19	11,9	1,2	0,6	1
	19	7,1	1,2	0,6	1
10301	15	25,1	1,6	0,8	1,4
	16	14,7	1,5	0,7	1,3
	16	17,8	1,5	0,7	1,3
50001	18	10,5	1,4	0,7	1,2
	17	10,7	1,4	0,7	1,2
	17	14,2	1,4	0,7	1,2
50201	16	13,2	1,8	0,8	1,6
	16	11,4	1,8	0,8	1,6
	16	9,2	1,7	0,8	1,6
<b>Keskiarvo</b>	<b>17</b>	<b>13,1</b>	<b>1,5</b>	<b>0,7</b>	<b>1,3</b>

Taulukko 4. Apupiste 2:lle mitattujen havaintojen perusteella x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Apupiste 2			
	x	y	z
10001	7376485,483	443086,293	95,583
10101	7376485,467	443086,292	95,581
10201	7376485,472	443086,301	95,583
10301	7376485,482	443086,296	95,580
50001	7376485,482	443086,291	95,583
50101	7376485,480	443086,287	95,588
50201	7376485,480	443086,296	95,581
50301	7376485,484	443086,297	95,577
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,006	0,004	0,003
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,017	0,014	0,011

## Apupiste 3



Kuvio 3. Apupiste 3:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen tasosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ympyrät kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset neliöt kuvaavat kello 15 mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista

kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

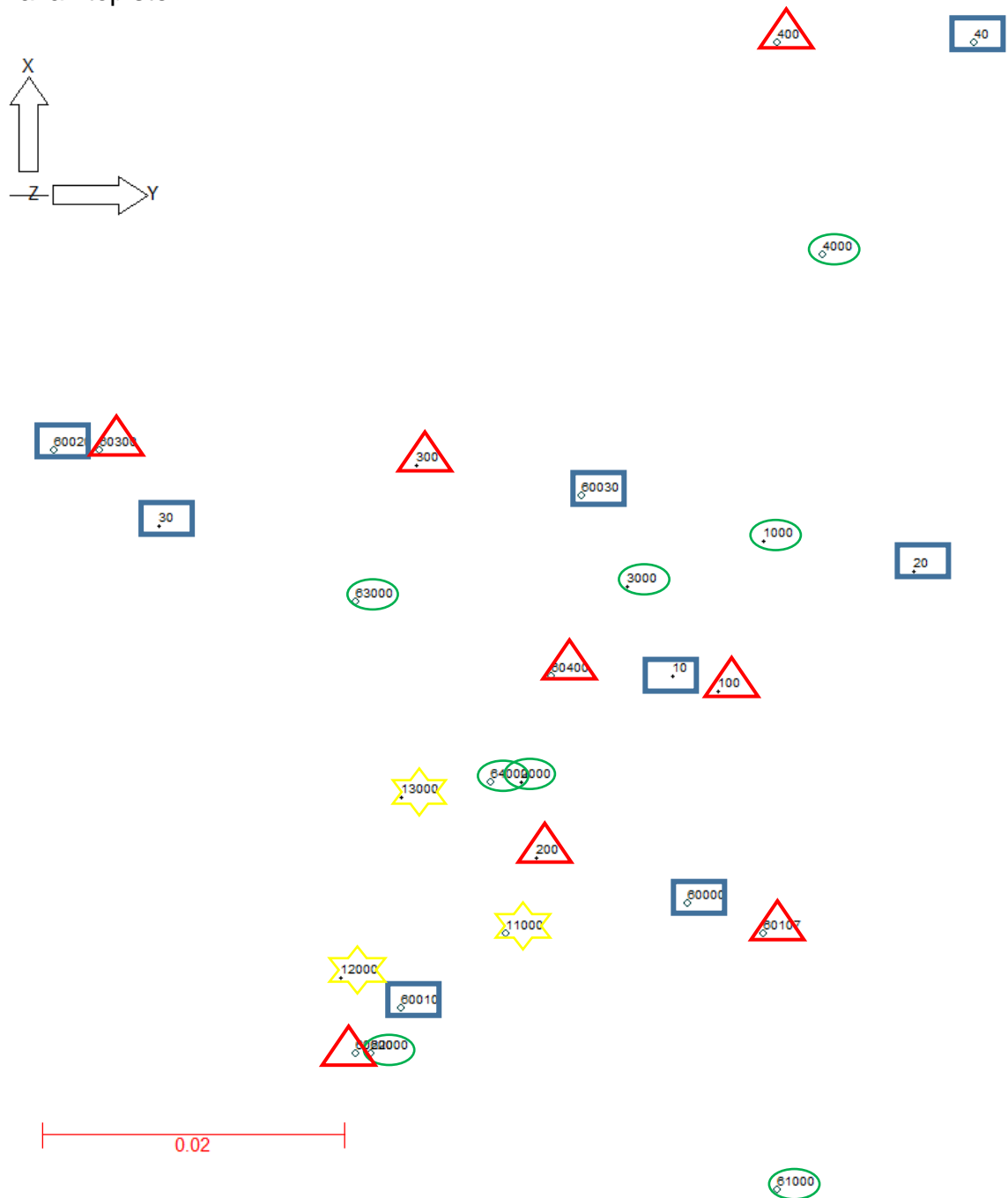
Taulukko 5. Apupisteelle 3 mitattujen pisteiden laskemisessa käytettyjen havaintojen ominaisuustiedot jaettuna mittausajankohdan mukaan. Molempien mittausajankohtien ominaisuustiedoille on laskettu keskiarvot.

Apupiste 3					
Havaintoaika klo 9					
Piste	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
10002	12	16	1,9	0,9	1,7
	11	12,1	2,1	1	1,9
	13	9,6	1,7	0,9	1,5
10202	16	29	1,3	0,7	1,1
	15	28,4	1,4	0,7	1,2
	15	22,8	1,4	0,7	1,2
50102	16	11,4	1,4	0,7	1,3
	16	6,6	1,4	0,7	1,2
	16	13,3	1,4	0,7	1,2
50302	15	36,7	1,4	0,7	1,2
	15	22,6	1,4	0,7	1,2
	15	22,6	1,5	0,8	1,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>15</b>	<b>19,3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>
Havaintoaika klo 15					
Piste	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
10202	16	29	1,3	0,7	1,1
	15	28,4	1,4	0,7	1,2
	15	22,8	1,4	0,7	1,2
10302	14	43,2	1,6	0,8	1,4
	14	19,9	1,8	0,8	1,6
	13	26,1	1,9	0,9	1,7
50002	13	20,7	1,9	1	1,6
	14	15,3	1,9	0,9	1,7
	12	14,9	2	1	1,7
50202	15	15,8	1,5	0,8	1,3
	16	7,2	1,4	0,7	1,2
	16	9,5	1,4	0,7	1,2
<b>Keskiarvo</b>	<b>14</b>	<b>21,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,8</b>	<b>1,4</b>

Taulukko 6. Apupiste 3:lle mitattujen havaintojen perusteella x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

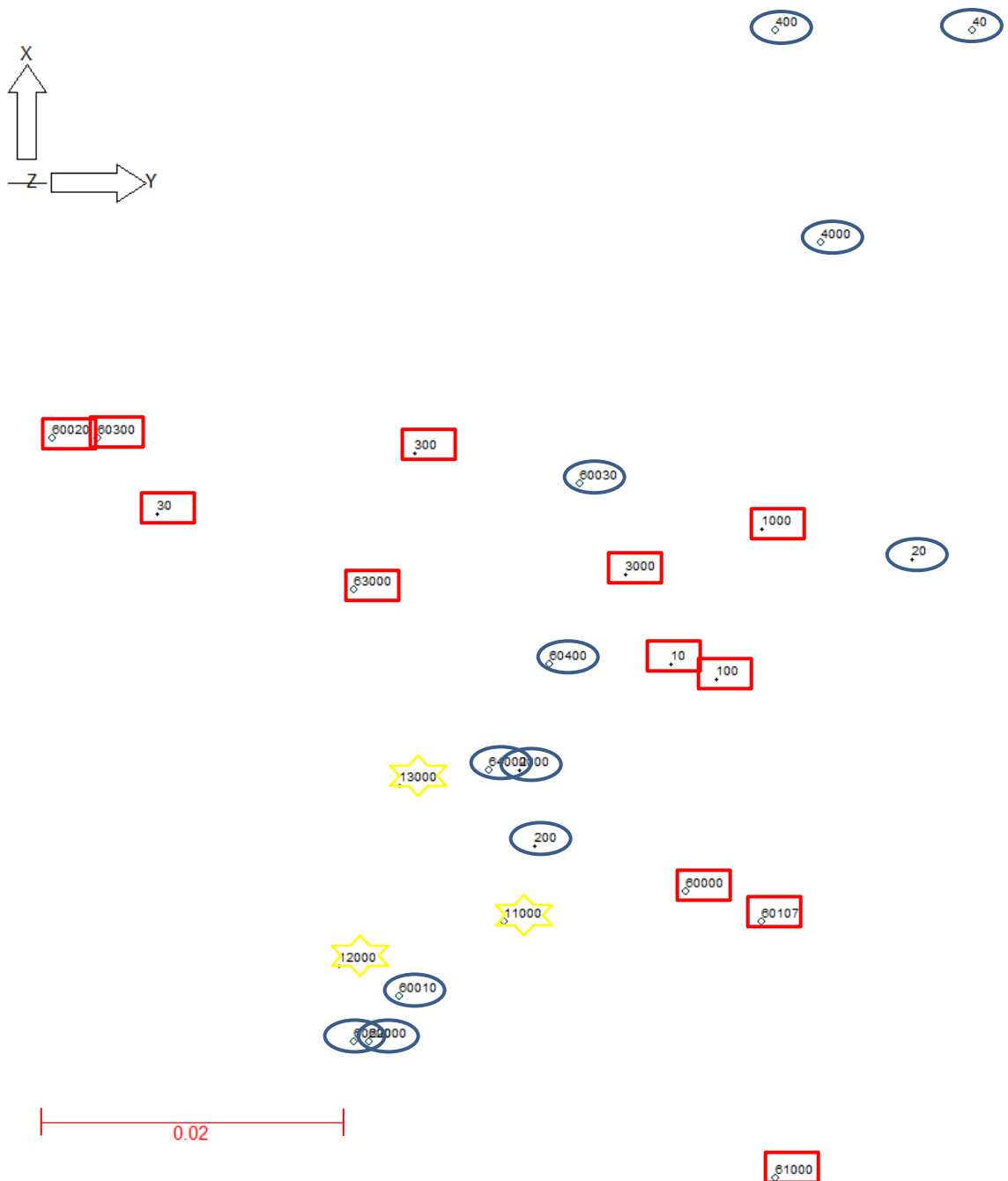
Apupiste 3			
	x	y	z
10002	7376735,317	443276,272	96,882
10102	7376735,33	443276,286	96,879
10202	7376735,321	443276,277	96,872
10302	7376735,322	443276,277	96,895
50002	7376735,331	443276,283	96,884
50102	7376735,331	443276,272	96,879
50202	7376735,328	443276,28	96,888
50302	7376735,321	443276,269	96,876
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,005	0,006	0,007
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,014	0,017	0,023

## Havaintopiste 1



Kuvio 4. Havaintopiste 1:lle mitatut havainnot kuvattuna havaintoryhmittäin. Sini-set neliöt, punaiset kolmiot ja vihreät ellipsit ovat GNSS-laitteistolla mitattuja havaintoja. Sininen neliö kuvaa 1 sekunnin havaintoajalla mitattua pikapisteitä, punainen kolmio kuvaa 5 sekunnin havaintoajalla mitattua kartoituspisteitä ja vihreä ellipsi kuvaa 30 sekunnin havaintoajalla mitattua kiintopisteitä. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntaa, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.





Kuvio 5. Havaintopiste 1:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen tasosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ellipsit kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset suorakulmiot kuvaavat kello 15 mitattuja havaintoja. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

Taulukko 7. Kaikkien GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot.

Havaintopiste 1			
Kello 9	x	y	z
20	7376697,512	443277,299	95,856
40	7376697,547	443277,303	95,872
60010	7376697,483	443277,265	95,854
60030	7376697,517	443277,277	95,787
200	7376697,493	443277,274	95,832
400	7376697,547	443277,290	95,850
60200	7376697,480	443277,262	95,876
60400	7376697,505	443277,275	95,791
2000	7376697,498	443277,273	95,861
4000	7376697,533	443277,293	95,830
62000	7376697,480	443277,263	95,911
64000	7376697,498	443277,271	95,806
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,024</b>	<b>0,014</b>	<b>0,037</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,067</b>	<b>0,041</b>	<b>0,124</b>
Kello 15			
10	7376697,505	443277,283	95,885
30	7376697,515	443277,249	95,829
60000	7376697,490	443277,284	95,780
60020	7376697,520	443277,242	95,864
100	7376697,504	443277,286	95,876
300	7376697,519	443277,266	95,855
60107	7376697,488	443277,289	95,781
60300	7376697,520	443277,245	95,861
1000	7376697,514	443277,289	95,890
3000	7376697,511	443277,280	95,853
61000	7376697,471	443277,290	95,722
63000	7376697,510	443277,262	95,832
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,015</b>	<b>0,018</b>	<b>0,051</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,049</b>	<b>0,048</b>	<b>0,168</b>

Taulukko 8. Havaintopisteelle 1 mitattujen havaintojen ominaisuustiedot jaoteltuna mittausajankohdan ja havaintoryhmän mukaan sekä ominaisuustiedoille lasketut keskiarvot. Listauksesta on poistettu havainnot, jotka on mitattu ilman korjausdataa.

Havaintopiste 1					
Pikapisteet	Satelliitit (min)	RMS	PDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
20	13	48,5	1,5	0,8	1,3
40	13	27,4	1,8	0,8	1,6
60010	13	26,3	2,1	1	1,8
60030	16	56,3	1,3	0,7	1,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>14</b>	<b>39,6</b>	<b>1,7</b>	<b>0,8</b>	<b>1,5</b>
Kello 15					
10	17	39,1	1,2	0,7	1
30	15	35,5	1,4	0,8	1,2
60000	14	61,3	1,5	0,8	1,3
60020	15	71,1	1,3	0,8	1,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>15</b>	<b>51,8</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>
Kartoituspisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
200	12	45	1,7	1	1,4
400	15	24,6	1,5	0,7	1,3
60200	14	38,1	2	0,9	1,7
60400	15	32,7	1,3	0,7	1,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>14</b>	<b>35,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,8</b>	<b>1,4</b>
Kello 15					
100	15	41,1	1,3	0,7	1,1
300	16	57,2	1,3	0,7	1,1
60107	15	44,7	1,4	0,7	1,2
60300	15	35,8	1,7	0,9	1,5
<b>Keskiarvo</b>	<b>15</b>	<b>44,7</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>
Kiintopisteet	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
2000	13	28,5	1,7	0,8	1,4
4000	13	27,4	1,5	0,8	1,3
62000	11	74,3	1,9	1,1	1,6
64000	15	36	1,3	0,7	1,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>13</b>	<b>41,55</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>1,4</b>
Kello 15					
1000	14	46,1	1,6	0,8	1,4
3000	15	38,2	1,5	0,8	1,2
61000	14	45,8	1,7	0,9	1,5
63000	16	21,5	1,3	0,7	1,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>15</b>	<b>37,9</b>	<b>1,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>

Taulukko 9. Havaintopisteelle 1 mitattujen pikapisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 1			
	x	y	z
10	7376697,505	443277,283	95,885
20	7376697,512	443277,299	95,856
30	7376697,515	443277,249	95,829
40	7376697,547	443277,303	95,872
60000	7376697,490	443277,284	95,780
60010	7376697,483	443277,265	95,854
60020	7376697,520	443277,242	95,864
60030	7376697,517	443277,277	95,787
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,020	0,022	0,039
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,064	0,061	0,105

Taulukko 10. Havaintopisteelle 1 mitattujen kartoituspisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 1			
	x	y	z
100	7376697,504	443277,286	95,876
200	7376697,493	443277,274	95,832
300	7376697,519	443277,266	95,855
400	7376697,547	443277,290	95,850
60107	7376697,488	443277,289	95,781
60200	7376697,480	443277,262	95,876
60300	7376697,520	443277,245	95,861
60400	7376697,505	443277,275	95,791
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,021	0,015	0,036
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,067	0,045	0,095

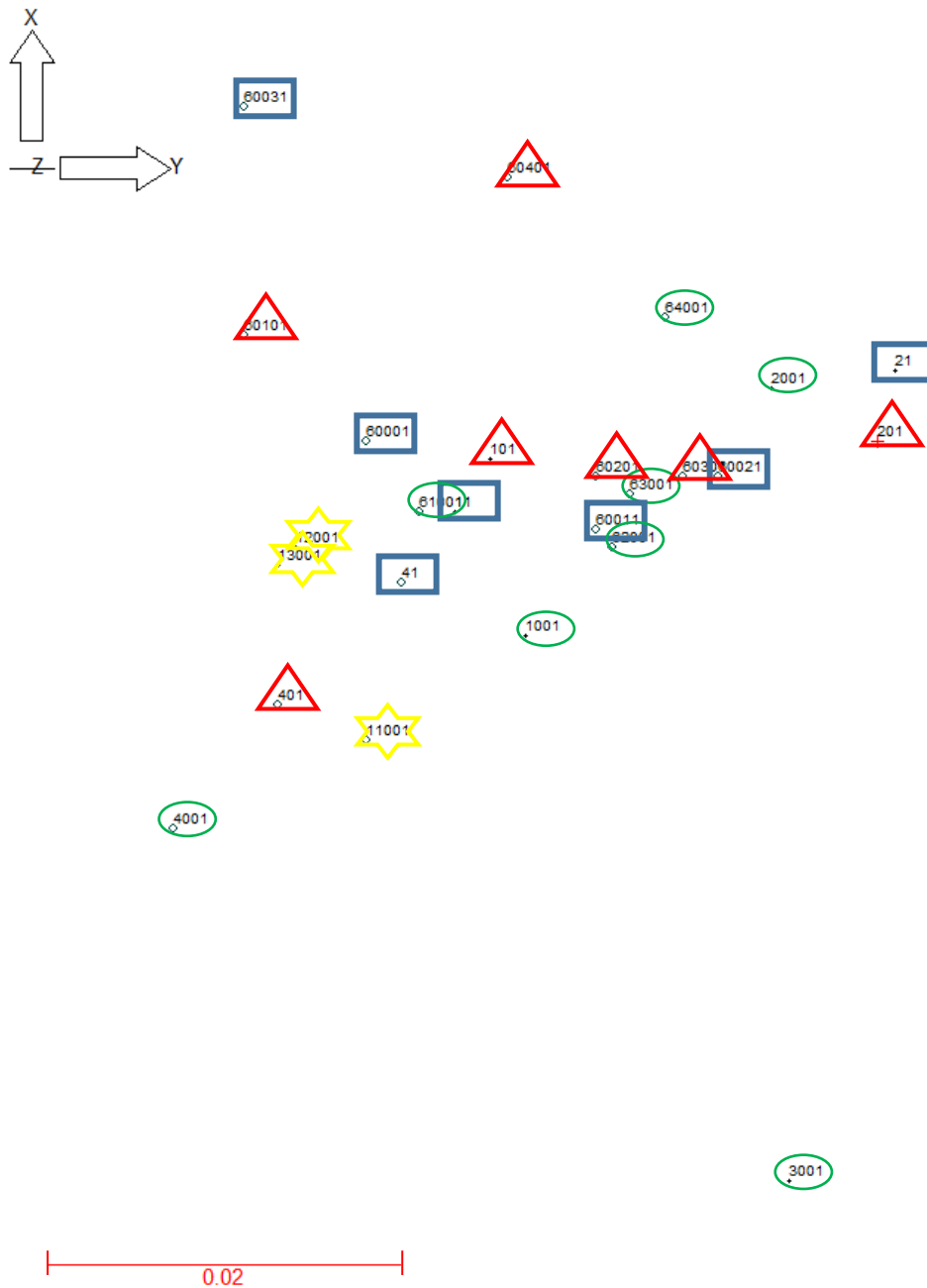
Taulukko 11. Havaintopisteelle 1 mitattujen kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 1			
	x	y	z
1000	7376697,514	443277,289	95,890
2000	7376697,498	443277,273	95,861
3000	7376697,511	443277,280	95,853
4000	7376697,533	443277,293	95,830
61000	7376697,471	443277,290	95,722
62000	7376697,480	443277,263	95,911
63000	7376697,510	443277,262	95,832
64000	7376697,498	443277,271	95,806
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,020	0,012	0,058
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,062	0,031	0,189

Taulukko 12. Havaintopisteelle 1 mitattujen takymetrihavaintojen x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

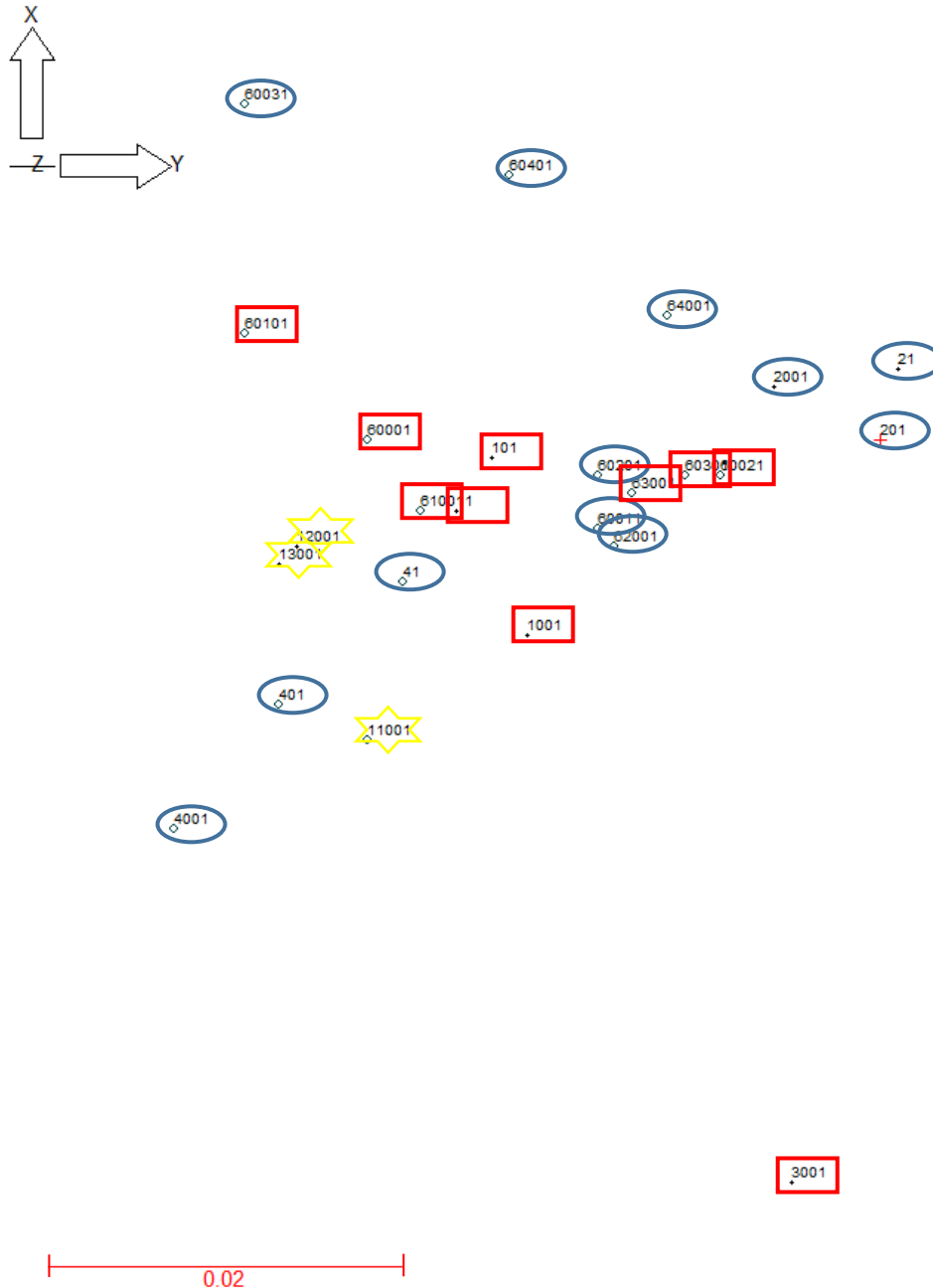
Havaintopiste 1			
	x	y	z
11 000	7376697,488	443277,272	95,838
12 000	7376697,485	443277,261	95,84
13 000	7376697,497	443277,265	95,841
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,006	0,006	0,002
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,012	0,011	0,003

## Havaintopiste 2



Kuvio 6. Havaintopiste 2:lle mitatut havainnot kuvattuna havaintoryhmittäin. Siniset neliöt, punaiset kolmiot ja vihreät ellipsit ovat GNSS-laitteistolla mitattuja havaintoja. Sininen neliö kuvaa 1 sekunnin havaintoajalla mitattua pikapisteitä, punainen kolmio kuvaa 5 sekunnin havaintoajalla mitattua kartoituspisteitä ja vihreä ellipsi kuvaa 30 sekunnin havaintoajalla mitattua kiintopisteitä. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkul-

massa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.



Kuvio 7. Havaintopiste 2:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen taso sijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ellipsit kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset suorakulmiot kuvaavat kello 15 mitattuja havaintoja. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion va-

semmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

Taulukko 13. Kaikkien GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot.

Havaintopiste 1			
Kello 9	x	y	z
21	7376675,196	443271,051	95,301
41	7376675,184	443271,023	95,290
60011	7376675,187	443271,034	95,276
60031	7376675,211	443271,014	95,233
201	7376675,192	443271,050	95,305
401	7376675,177	443271,016	95,277
60201	7376675,190	443271,034	95,286
60401	7376675,207	443271,029	95,269
2001	7376675,195	443271,044	95,312
4001	7376675,170	443271,010	95,253
62001	7376675,186	443271,035	95,273
64001	7376675,199	443271,038	95,291
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,012</b>	<b>0,014</b>	<b>0,022</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,041</b>	<b>0,041</b>	<b>0,079</b>
Kello 15			
11	7376675,188	443271,026	95,321
60001	7376675,192	443271,021	95,332
60021	7376675,190	443271,041	95,269
101	7376675,191	443271,028	95,321
60101	7376675,198	443271,014	95,326
60301	7376675,190	443271,039	95,270
1001	7376675,181	443271,030	95,333
3001	7376675,150	443271,045	95,277
61001	7376675,188	443271,024	95,337
63001	7376675,189	443271,036	95,268
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,013</b>	<b>0,010</b>	<b>0,030</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,048</b>	<b>0,031</b>	<b>0,069</b>



Taulukko 14. Havaintopisteelle 2 mitattujen havaintojen ominaisuustiedot jaoteltuna mittausajankohdan ja havaintoryhmän mukaan sekä ominaisuustiedoille lasketut keskiarvot. Listauksesta on poistettu havainnot, jotka on mitattu ilman korjausdataa.

Havaintopiste 2					
Pikapisteet	Satelliitit (min)	RMS	PDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
21	14	19,5	1,6	0,7	1,4
41	14	54	1,7	0,7	1,5
60011	14	33,8	1,9	0,9	1,7
60031	15	131	1,4	0,7	1,2
<b>Keskiarvo</b>	<b>14</b>	<b>59,6</b>	<b>1,7</b>	<b>0,8</b>	<b>1,5</b>
Kello 15					
11	14	33,9	1,6	0,8	1,3
31	14	90	1,4	0,8	1,2
60001	14	51,7	1,4	0,8	1,2
60021	16	39,8	1,3	0,7	1,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>15</b>	<b>53,9</b>	<b>1,4</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>
Kartoituspisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
201	14	23,6	1,6	0,7	1,4
401	13	52,3	1,9	0,8	1,7
60201	14	32,7	1,9	0,9	1,7
60401	14	97,2	2	0,9	1,8
<b>Keskiarvo</b>	<b>14</b>	<b>51,5</b>	<b>1,9</b>	<b>0,8</b>	<b>1,7</b>
Kello 15					
101	14	34,7	1,6	0,8	1,3
301	12	101,3	1,7	1	1,4
60101	11	46,9	1,9	1,1	1,5
60301	14	44,5	2	0,9	1,8
<b>Keskiarvo</b>	<b>13</b>	<b>56,9</b>	<b>1,8</b>	<b>1,0</b>	<b>1,5</b>
Kiintopisteet	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
2001	11	19,4	1,7	0,9	1,5
4001	10	45,6	2,7	1,1	2,5
62001	14	51,1	1,7	0,9	1,5
64001	14	42,2	2,1	0,9	1,8
<b>Keskiarvo</b>	<b>12</b>	<b>39,6</b>	<b>2,1</b>	<b>1,0</b>	<b>1,8</b>
Kello 15					
1001	15	33,9	1,5	0,8	1,3
3001	11	55,6	1,6	1	1,3
61001	14	62	1,4	0,8	1,2
63001	14	34,5	1,9	0,9	1,7
<b>Keskiarvo</b>	<b>14</b>	<b>46,5</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>1,4</b>

Taulukko 15. Havaintopisteelle 2 mitattujen pikapisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 2			
	x	y	z
11	7376675,188	443271,026	95,321
21	7376675,196	443271,051	95,301
41	7376675,184	443271,023	95,29
60001	7376675,192	443271,021	95,332
60011	7376675,187	443271,034	95,276
60021	7376675,190	443271,041	95,269
60031	7376675,211	443271,014	95,233
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,009	0,013	0,033
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,027	0,037	0,099

Taulukko 16. Havaintopisteelle 2 mitattujen kartoituspisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 2			
	x	y	z
101	7376675,191	443271,028	95,321
201	7376675,192	443271,050	95,305
401	7376675,177	443271,016	95,277
60101	7376675,198	443271,014	95,326
60201	7376675,190	443271,034	95,286
60301	7376675,190	443271,039	95,270
60401	7376675,207	443271,029	95,269
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,009	0,013	0,024
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,030	0,036	0,057

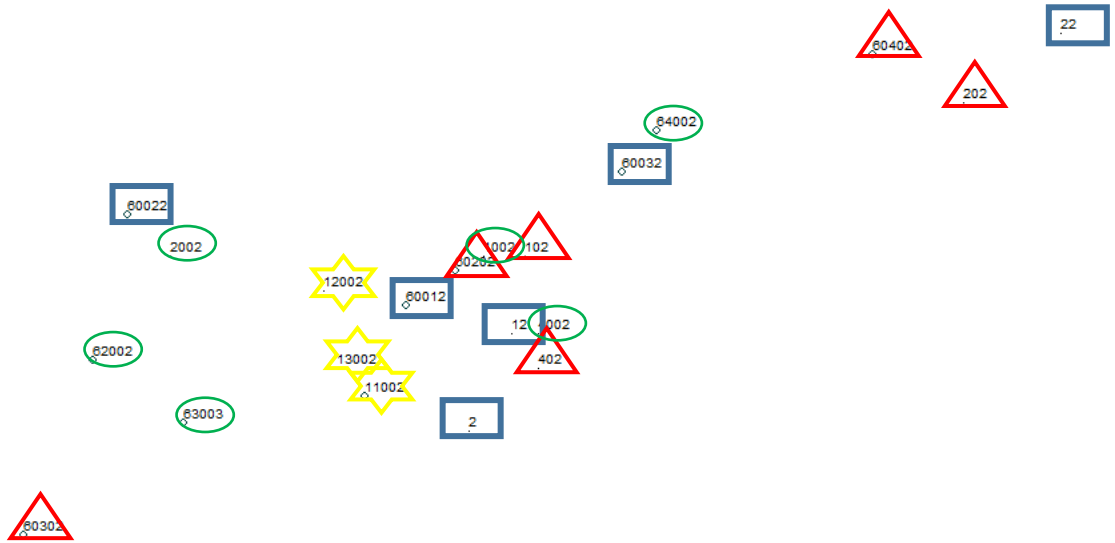
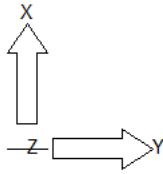
Taulukko 17. Havaintopisteelle 2 mitattujen kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 2			
	x	y	z
1001	7376675,181	443271,030	95,333
2001	7376675,195	443271,044	95,312
3001	7376675,150	443271,045	95,277
4001	7376675,170	443271,010	95,253
61001	7376675,188	443271,024	95,337
62001	7376675,186	443271,035	95,273
63001	7376675,189	443271,036	95,268
64001	7376675,199	443271,038	95,291
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,016	0,011	0,031
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,049	0,035	0,084

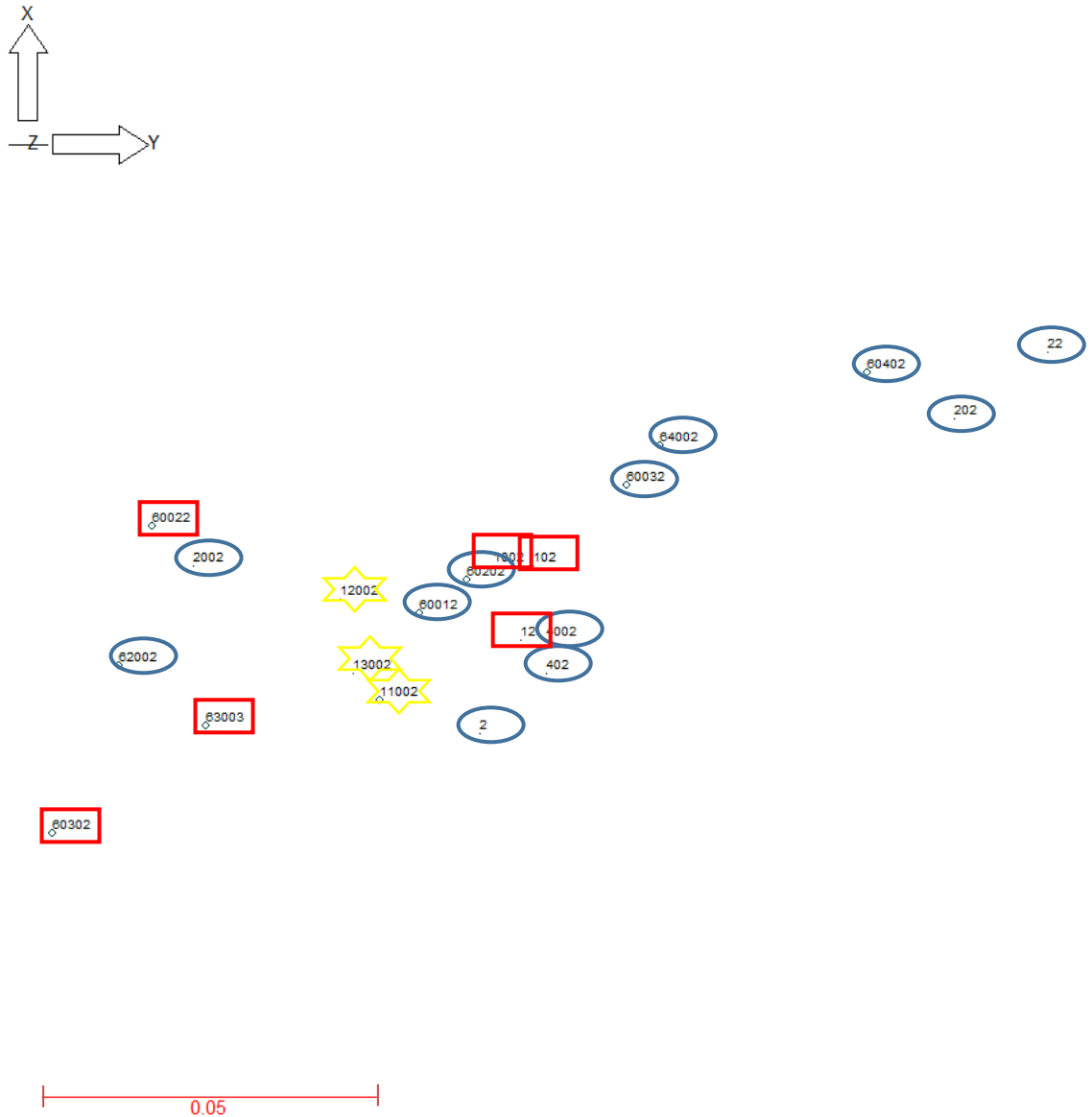
Taulukko 18. Havaintopisteelle 2 mitattujen takymetrihavaintojen x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 2			
	x	y	z
11001	7376675,175	443271,021	95,277
12001	7376675,186	443271,017	95,278
13001	7376675,185	443271,016	95,278
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,006	0,003	0,001
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,011	0,005	0,001

## Havaintopiste 3



Kuvio 8. Havaintopiste 3:lle mitatut havainnot kuvattuna havaintoryhmittäin. Siniset neliöt, punaiset kolmiot ja vihreät ellipsit ovat GNSS-laitteistolla mitattuja havaintoja. Sininen neliö kuvaa 1 sekunnin havaintoajalla mitattua pikapisteitä, punainen kolmio kuvaa 5 sekunnin havaintoajalla mitattua kartoituspisteitä ja vihreä ellipsi kuvaa 30 sekunnin havaintoajalla mitattua kiintopisteitä. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.



Kuvio 9. Havaintopiste 3:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen ta-sosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ellipsit kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset suorakulmiot kuvaavat kello 15 mitattuja ha-vaintoja. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion va-  
 semmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjai-  
 mella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa  
 etäisyyttä metreissä.

Taulukko 19. Kaikkien GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot.

Havaintopiste 3			
Kello 9	x	y	z
22	7376638,398	443234,487	95,972
2	7376638,341	443234,402	95,883
60032	7376638,378	443234,424	95,924
202	7376638,388	443234,473	95,919
402	7376638,350	443234,412	95,892
60202	7376638,364	443234,400	95,890
60402	7376638,395	443234,460	95,900
2002	7376638,366	443234,359	95,892
4002	7376638,355	443234,412	95,896
62002	7376638,351	443234,348	95,910
64002	7376638,384	443234,429	95,915
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,020</b>	<b>0,043</b>	<b>0,025</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,057</b>	<b>0,139</b>	<b>0,089</b>
Kello 15			
12	7376638,355	443234,408	95,921
60022	7376638,372	443234,353	95,989
102	7376638,366	443234,410	95,924
60302	7376638,326	443234,338	95,896
1002	7376638,366	443234,404	95,945
63003	7376638,342	443234,361	95,891
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,018</b>	<b>0,032</b>	<b>0,036</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,046</b>	<b>0,072</b>	<b>0,098</b>

Taulukko 20. Havaintopisteelle 3 mitattujen havaintojen ominaisuustiedot jaoteltuna mittausajankohdan ja havaintoryhmän mukaan sekä ominaisuustiedoille lasketut keskiarvot. Listauksesta on poistettu havainnot, jotka on mitattu ilman korjausdataa.

Havaintopiste 3					
Pikapisteet	Satelliitit (min)	RMS	PDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
22	11	99,6	2,1	1	1,9
2	11	18,3	3	1,9	2,3
60012	9	25,1	3	1,6	2,5
60032	10	35,5	2,4	1,3	2,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>10</b>	<b>44,6</b>	<b>2,6</b>	<b>1,5</b>	<b>2,2</b>
Kello 15					
12	9	50	2,7	1,7	2,1
32	9	43,1	2,9	1,8	2,3
60022	9	11,5	4,2	2,5	3,4
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>34,9</b>	<b>3,3</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>
Kartoituspisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
202	9	44,4	2,9	1,6	2,5
402	10	20,4	3	1,9	2,3
60202	9	21,3	3	1,6	2,5
60402	8	22,2	3,2	1,6	2,7
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>27,1</b>	<b>3,0</b>	<b>1,7</b>	<b>2,5</b>
Kello 15					
102	9	48,4	2,7	1,8	2,1
302	9	39,1	2,9	1,8	2,3
60302	10	14,3	4,1	2,3	3,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>33,9</b>	<b>3,2</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>
Kiintopisteet	Satelliitit (min)	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
2002	9	48,2	2,6	1,3	2,3
4002	10	15,1	2,9	1,8	2,3
62002	7	20,7	3,6	1,7	3,2
64002	8	19,3	3,2	1,6	2,8
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>25,8</b>	<b>3,1</b>	<b>1,6</b>	<b>2,7</b>
Kello 15					
1002	9	48,4	2,7	1,8	2,1
3002	9	40,5	2,9	1,8	2,3
63003	9	16,8	4,2	2,5	3,4
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>35,2</b>	<b>3,3</b>	<b>2,0</b>	<b>2,6</b>

Taulukko 21. Havaintopisteelle 3 mitattujen pikapisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 3			
	x	y	z
12	7376638,355	443234,408	95,921
22	7376638,398	443234,487	95,972
2	7376638,341	443234,402	95,883
60012	7376638,359	443234,393	95,888
60022	7376638,372	443234,353	95,989
60032	7376638,378	443234,424	95,924
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,020	0,044	0,043
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,057	0,134	0,106

Taulukko 22. Havaintopisteelle 3 mitattujen kartoituspisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 3			
	x	y	z
102	7376638,366	443234,410	95,924
202	7376638,388	443234,473	95,919
402	7376638,350	443234,412	95,892
60202	7376638,364	443234,400	95,890
60302	7376638,326	443234,338	95,896
60402	7376638,395	443234,460	95,900
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,025	0,048	0,014
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,069	0,135	0,034

Taulukko 23. Havaintopisteelle 3 mitattujen kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

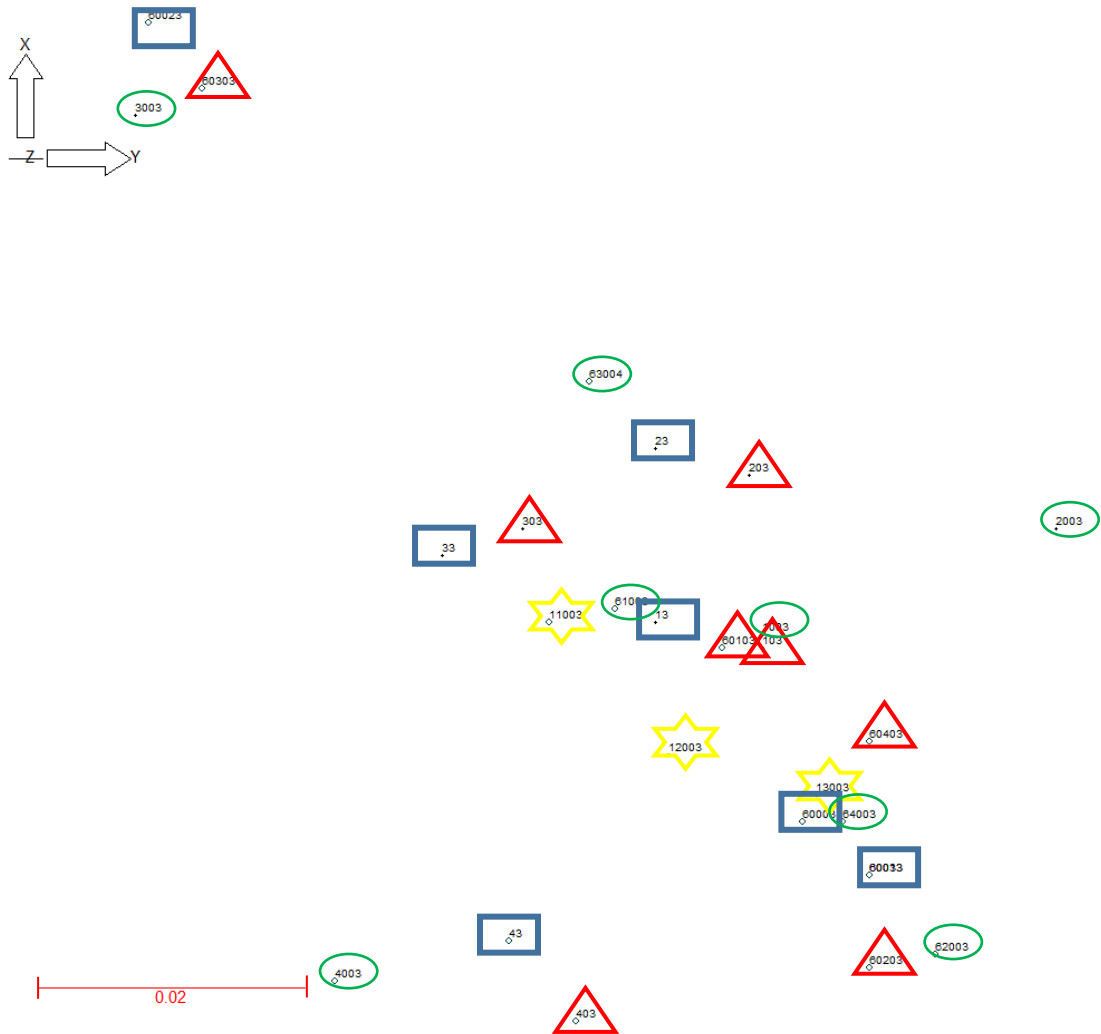


Havaintopiste 3			
	x	y	z
1002	7376638,366	443234,404	95,945
2002	7376638,366	443234,359	95,892
4002	7376638,355	443234,412	95,896
62002	7376638,351	443234,348	95,910
63003	7376638,342	443234,361	95,891
64002	7376638,384	443234,429	95,915
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,015	0,034	0,021
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,042	0,081	0,054

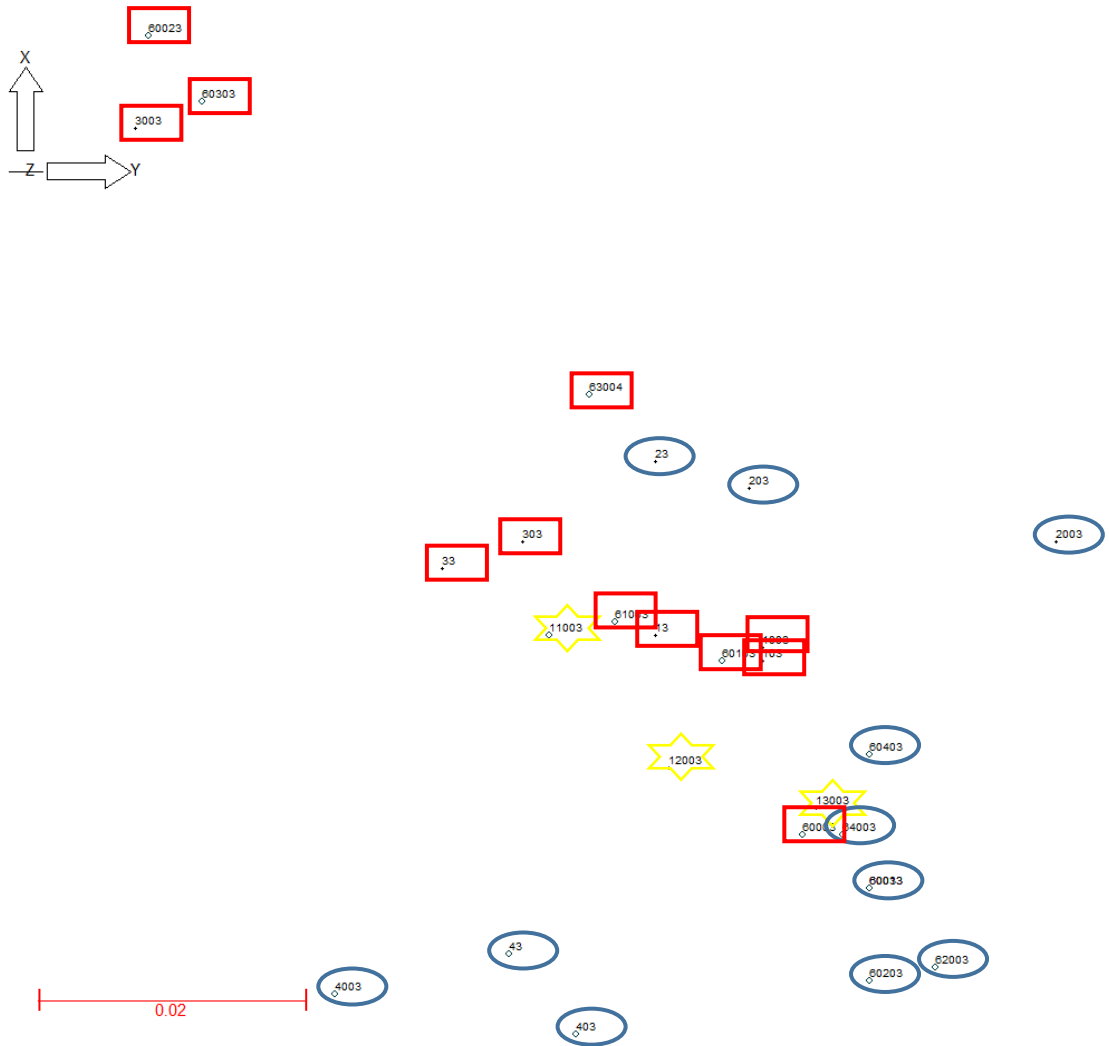
Taulukko 24. Havaintopisteelle 3 mitattujen takymetrihavaintojen x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 3			
	x	y	z
11002	7376638,346	443234,387	95,89
12002	7376638,361	443234,381	95,892
13002	7376638,350	443234,383	95,892
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,008	0,003	0,001
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,015	0,006	0,002

## Havaintopiste 4



Kuvio 10. Havaintopiste 4:lle mitatut havainnot kuvattuna havaintoryhmittäin. Siniset neliöt, punaiset kolmiot ja vihreät ellipsit ovat GNSS-laitteistolla mitattuja havaintoja. Sininen neliö kuvaa 1 sekunnin havaintoajalla mitattua pikapisteitä, punainen kolmio kuvaa 5 sekunnin havaintoajalla mitattua kartoituspisteitä ja vihreä ellipsi kuvaa 30 sekunnin havaintoajalla mitattua kiintopisteitä. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.



Kuvio 11. Havaintopiste 4:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen ta-sosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ellipsit kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset suorakulmiot kuvaavat kello 15 mitattuja ha-vaintoja. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion va-semmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjjai-mella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

Taulukko 25. Kaikkien GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot.

Havaintopiste 4			
Kello 9	x	y	z
23	7376575,659	443161,406	96,220
43	7376575,622	443161,395	96,155
60013	7376575,627	443161,422	96,159
60033	7376575,627	443161,422	96,147
203	7376575,657	443161,413	96,210
403	7376575,616	443161,400	96,143
60203	7376575,620	443161,422	96,154
60403	7376575,637	443161,422	96,168
2003	7376575,653	443161,436	96,205
4003	7376575,619	443161,382	96,143
62003	7376575,621	443161,427	96,155
64003	7376575,631	443161,420	96,158
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,016</b>	<b>0,015</b>	<b>0,027</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,043</b>	<b>0,054</b>	<b>0,077</b>
Kello 15			
13	7376575,646	443161,406	96,212
33	7376575,651	443161,390	96,175
60003	7376575,631	443161,417	96,164
60023	7376575,691	443161,368	96,307
103	7376575,644	443161,414	96,205
303	7376575,653	443161,396	96,177
60103	7376575,644	443161,411	96,163
60303	7376575,686	443161,372	96,296
1003	7376575,645	443161,414	96,207
3003	7376575,684	443161,367	96,251
61003	7376575,647	443161,403	96,168
63004	7376575,664	443161,401	96,256
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,020</b>	<b>0,018</b>	<b>0,051</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,060</b>	<b>0,050</b>	<b>0,144</b>

Taulukko 26. Havaintopisteelle 4 mitattujen havaintojen ominaisuustiedot jaoteltuna mittausajankohdan ja havaintoryhmän mukaan sekä ominaisuustiedoille lasketut keskiarvot. Listauksesta on poistettu havainnot, jotka on mitattu ilman korjausdataa.

Havaintopiste 4					
Pikapisteet	Satelliitit (min)	RMS	PDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
23	8	29,7	3,7	2,5	2,7
43	9	28,4	3,2	1,8	2,7
60013	8	36,4	2,9	1,5	2,5
60033	9	22,5	3,3	1,5	2,9
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>29,3</b>	<b>3,3</b>	<b>1,8</b>	<b>2,7</b>
Kello 15					
13	11	20,6	2	1,3	1,4
33	10	27,3	2,5	1,6	1,9
60003	10	17,4	2,3	1,6	1,7
60023	10	16,8	4	2,3	3,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>10</b>	<b>20,5</b>	<b>2,7</b>	<b>1,7</b>	<b>2,1</b>
Kartoituspisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
203	8	13,6	3,7	2,5	2,7
403	8	25,8	3,5	2,3	2,7
60203	8	36,4	2,9	1,5	2,5
60403	9	22,5	3,3	1,5	2,9
<b>Keskiarvo</b>	<b>8</b>	<b>24,6</b>	<b>3,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,7</b>
Kello 15					
103	11	23,2	2	1,4	1,4
303	10	28	2,5	1,6	1,9
60103	10	18,1	2,3	1,6	1,7
60303	10	16,8	4	2,3	3,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>10</b>	<b>21,5</b>	<b>2,7</b>	<b>1,7</b>	<b>2,1</b>
Kiintopisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
2003	8	15,3	3,7	2,5	2,7
4003	8	58,1	3,6	2,3	2,7
62003	8	39,5	2,9	1,5	2,5
64003	9	22,6	3,3	1,5	2,9
<b>Keskiarvo</b>	<b>8</b>	<b>33,9</b>	<b>3,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,7</b>
Kello 15					
1003	11	21,2	2	1,4	1,5
3003	10	20,8	3,1	2,1	2,4
61003	9	17,1	2,5	1,8	1,8
63004	10	16,8	4	2,3	3,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>10</b>	<b>19,0</b>	<b>2,9</b>	<b>1,9</b>	<b>2,3</b>

Taulukko 27. Havaintopisteelle 4 mitattujen pikapisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 4			
	x	y	z
13	7376575,646	443161,406	96,212
23	7376575,659	443161,406	96,220
33	7376575,651	443161,390	96,175
43	7376575,622	443161,395	96,155
60003	7376575,631	443161,417	96,164
60013	7376575,627	443161,422	96,159
60023	7376575,691	443161,368	96,307
60033	7376575,627	443161,422	96,147
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,023	0,018	0,053
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,069	0,054	0,160

Taulukko 28. Havaintopisteelle 4 mitattujen kartoituspisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 4			
	x	y	z
103	7376575,644	443161,414	96,205
203	7376575,657	443161,413	96,210
303	7376575,653	443161,396	96,177
403	7376575,616	443161,400	96,143
60103	7376575,644	443161,411	96,163
60203	7376575,620	443161,422	96,154
60303	7376575,686	443161,372	96,296
60403	7376575,637	443161,422	96,168
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,022	0,017	0,049
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,070	0,050	0,153

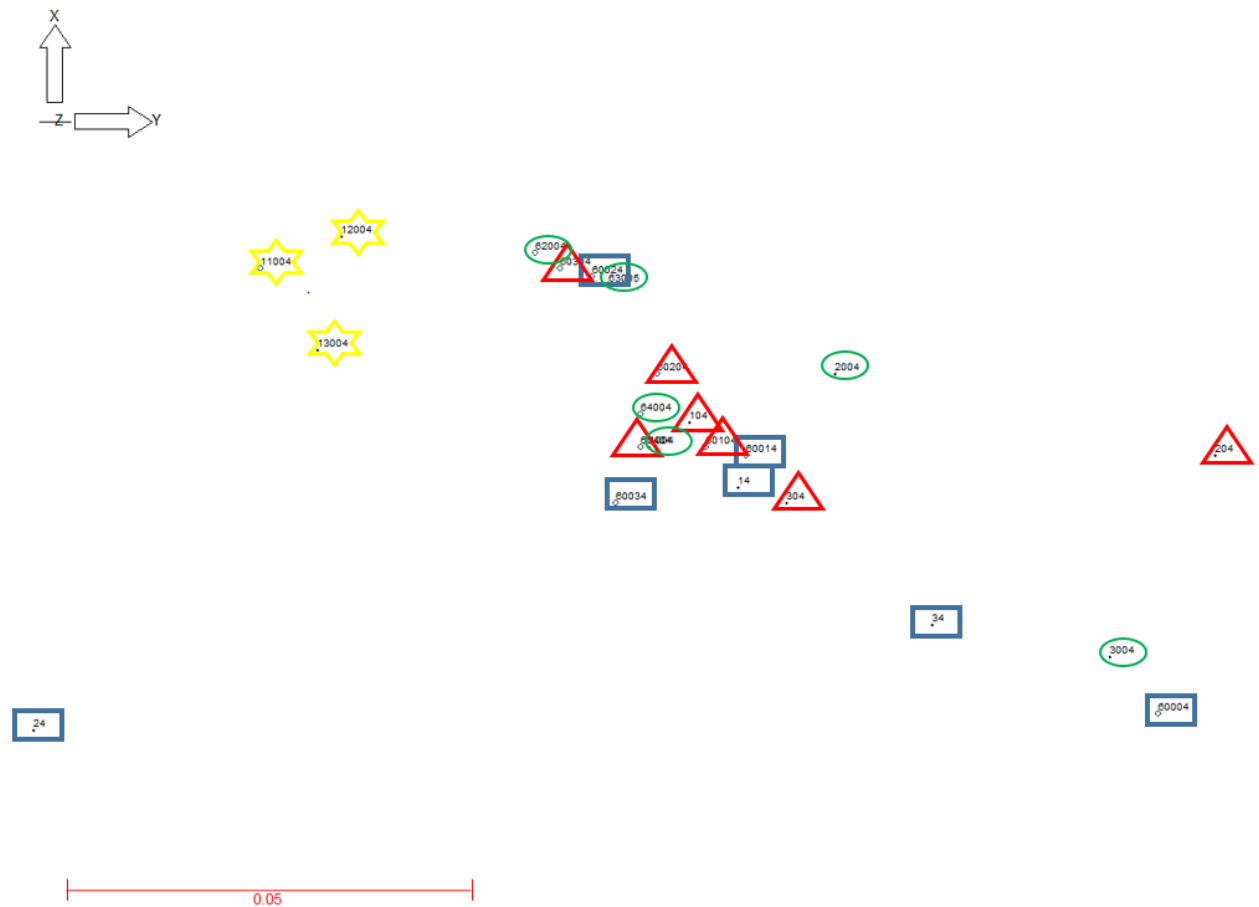
Taulukko 29. Havaintopisteelle 4 mitattujen kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 4			
	x	y	z
1003	7376575,645	443161,414	96,207
2003	7376575,653	443161,436	96,205
3003	7376575,684	443161,367	96,251
4003	7376575,619	443161,382	96,143
61003	7376575,647	443161,403	96,168
62003	7376575,621	443161,427	96,155
63004	7376575,664	443161,401	96,256
64003	7376575,631	443161,420	96,158
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,022	0,023	0,044
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,065	0,069	0,113

Taulukko 30. Havaintopisteelle 4 mitattujen takymetrihavaintojen x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

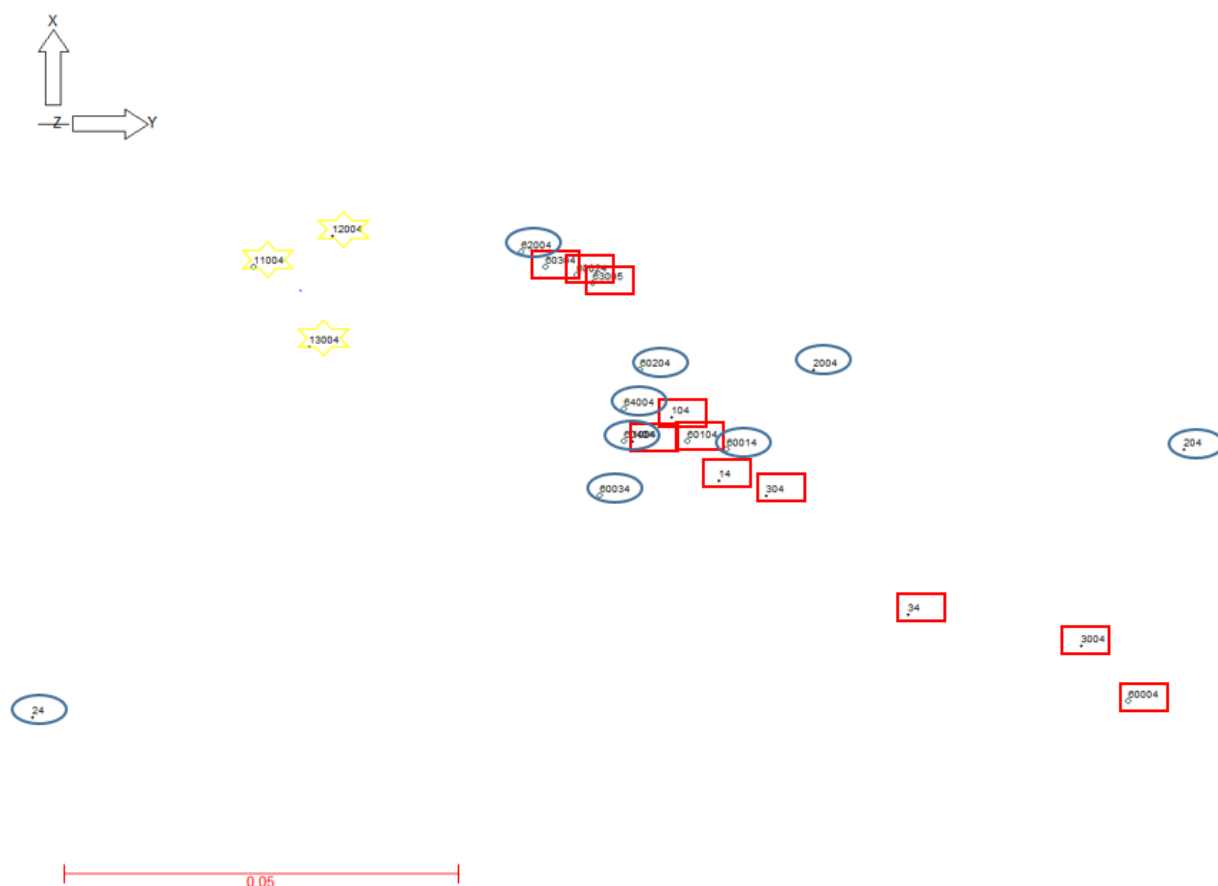
Havaintopiste 4			
	x	y	z
11003	7376575,646	443161,398	96,189
12003	7376575,636	443161,407	96,192
13003	7376575,633	443161,418	96,192
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,007	0,010	0,002
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,013	0,020	0,003

## Havaintopiste 5



Kuvio 12. Havaintopiste 5:lle mitatut havainnot kuvattuna havaintoryhmittäin. Siniset neliöt, punaiset kolmiot ja vihreät ellipsit ovat GNSS-laitteistolla mitattuja havaintoja. Sininen neliö kuvaa 1 sekunnin havaintoajalla mitattua pikapisteitä, punainen kolmio kuvaa 5 sekunnin havaintoajalla mitattua kartoituspisteitä ja vihreä ellipsi kuvaa 30 sekunnin havaintoajalla mitattua kiintopisteitä. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntaa, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.





Kuvio 13. Havaintopiste 5:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen tasosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ellipsit kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset suorakulmiot kuvaavat kello 15 mitattuja havaintoja. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

Taulukko 31. Kaikkien GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot.

Havaintopiste 5			
Kello 9	x	y	z
24	7376648,428	443190,709	96,220
60014	7376648,462	443190,797	96,237
60034	7376648,456	443190,781	96,251
204	7376648,462	443190,855	96,319
60204	7376648,472	443190,786	96,223
60404	7376648,463	443190,784	96,249
2004	7376648,472	443190,808	96,273
62004	7376648,487	443190,771	96,244
64004	7376648,467	443190,784	96,259
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,016</b>	<b>0,038</b>	<b>0,030</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,059</b>	<b>0,146</b>	<b>0,099</b>
Kello 15			
14	7376648,458	443190,796	96,187
34	7376648,441	443190,820	96,176
60004	7376648,430	443190,848	96,188
60024	7376648,484	443190,778	96,156
104	7376648,466	443190,790	96,196
304	7376648,456	443190,802	96,189
60104	7376648,463	443190,792	95,766
60304	7376648,485	443190,774	96,150
1004	7376648,463	443190,785	96,211
3004	7376648,437	443190,842	96,203
63005	7376648,483	443190,780	96,158
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,019</b>	<b>0,025</b>	<b>0,127</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,055</b>	<b>0,074</b>	<b>0,445</b>

Taulukko 32. Havaintopisteelle 5 mitattujen havaintojen ominaisuustiedot jaoteltuna mittausajankohdan ja havaintoryhmän mukaan sekä ominaisuustiedoille lasketut keskiarvot. Listauksesta on poistettu havainnot, jotka on mitattu ilman korjausdataa.

Havaintopiste 5					
Pikapisteet	Satelliitit (min)	RMS	PDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
24	7	22,7	5	3,4	3,7
60014	10	62,1	1,9	1,3	1,5
60034	7	5	6	4	4,4
<b>Keskiarvo</b>	<b>8</b>	<b>29,9</b>	<b>4,3</b>	<b>2,9</b>	<b>3,2</b>
Kello 15					
14	8	17,1	3,7	3,2	1,7
34	8	26,5	3,8	3,5	1,5
60004	8	33,8	3,7	3,3	1,6
60024	9	25,5	3,4	2,5	2,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>8</b>	<b>25,7</b>	<b>3,7</b>	<b>3,1</b>	<b>1,8</b>
Kartoituspisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
204	9	43,8	2,6	1,9	1,8
60204	10	62,3	1,9	1,3	1,5
60404	8	10,4	2,9	2	2,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>38,8</b>	<b>2,5</b>	<b>1,7</b>	<b>1,8</b>
Kello 15					
104	8	17,6	3,7	3,2	1,7
304	7	9,6	9,5	8,2	4,8
60104	9	81,9	3,2	2,8	1,5
60304	9	24,2	3,4	2,5	2,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>8</b>	<b>33,3</b>	<b>5,0</b>	<b>4,2</b>	<b>2,6</b>
Kiintopisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
2004	9	101,9	2,6	1,9	1,8
62004	9	63	2,6	1,9	1,8
64003	9	22,6	3,3	1,5	2,9
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>62,5</b>	<b>2,8</b>	<b>1,8</b>	<b>2,2</b>
Kello 15					
1004	8	15,7	3,7	3,2	1,7
3004	7	9,6	9,5	8,2	4,8
63005	8	22,8	3,6	2,7	2,4
<b>Keskiarvo</b>	<b>8</b>	<b>16,0</b>	<b>5,6</b>	<b>4,7</b>	<b>3,0</b>

Taulukko 33. Havaintopisteelle 5 mitattujen pikapisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 5			
	x	y	z
14	7376648,458	443190,796	96,187
24	7376648,428	443190,709	96,22
34	7376648,441	443190,82	96,176
60004	7376648,43	443190,848	96,188
60014	7376648,462	443190,797	96,237
60024	7376648,484	443190,778	96,156
60034	7376648,456	443190,781	96,251
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,020	0,043	0,035
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,056	0,139	0,095

Taulukko 34. Havaintopisteelle 5 mitattujen kartoituspisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 5			
	x	y	z
104	7376648,466	443190,790	96,196
204	7376648,462	443190,855	96,319
304	7376648,456	443190,802	96,189
60004	7376648,430	443190,848	96,188
60204	7376648,472	443190,786	96,223
60304	7376648,485	443190,774	96,150
60404	7376648,463	443190,784	96,249
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,017	0,033	0,055
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,029	0,081	0,169

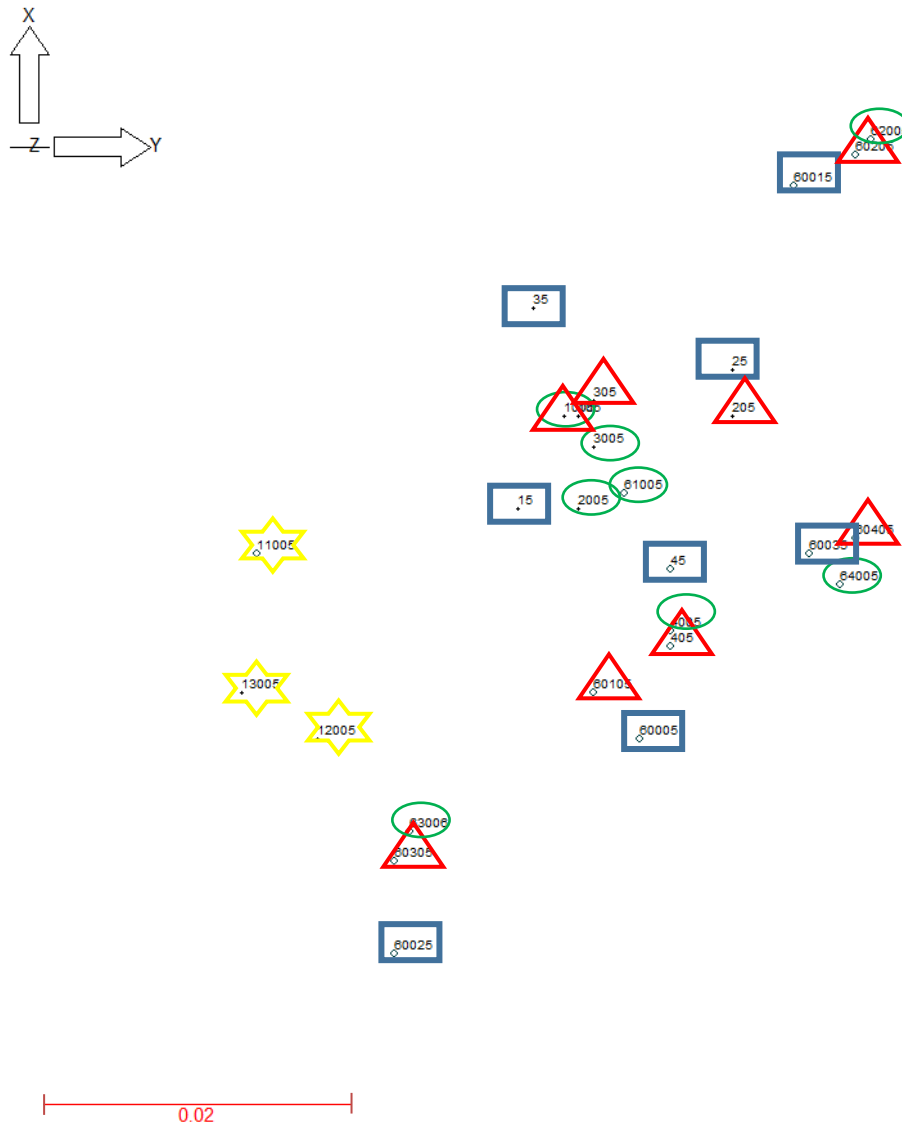
Taulukko 35. Havaintopisteelle 5 mitattujen kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 5			
	x	y	z
1004	7376648,463	443190,785	96,211
2004	7376648,472	443190,808	96,273
3004	7376648,437	443190,842	96,203
62004	7376648,487	443190,771	96,244
63005	7376648,483	443190,780	96,158
64004	7376648,467	443190,784	96,259
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,018	0,026	0,042
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,050	0,071	0,115

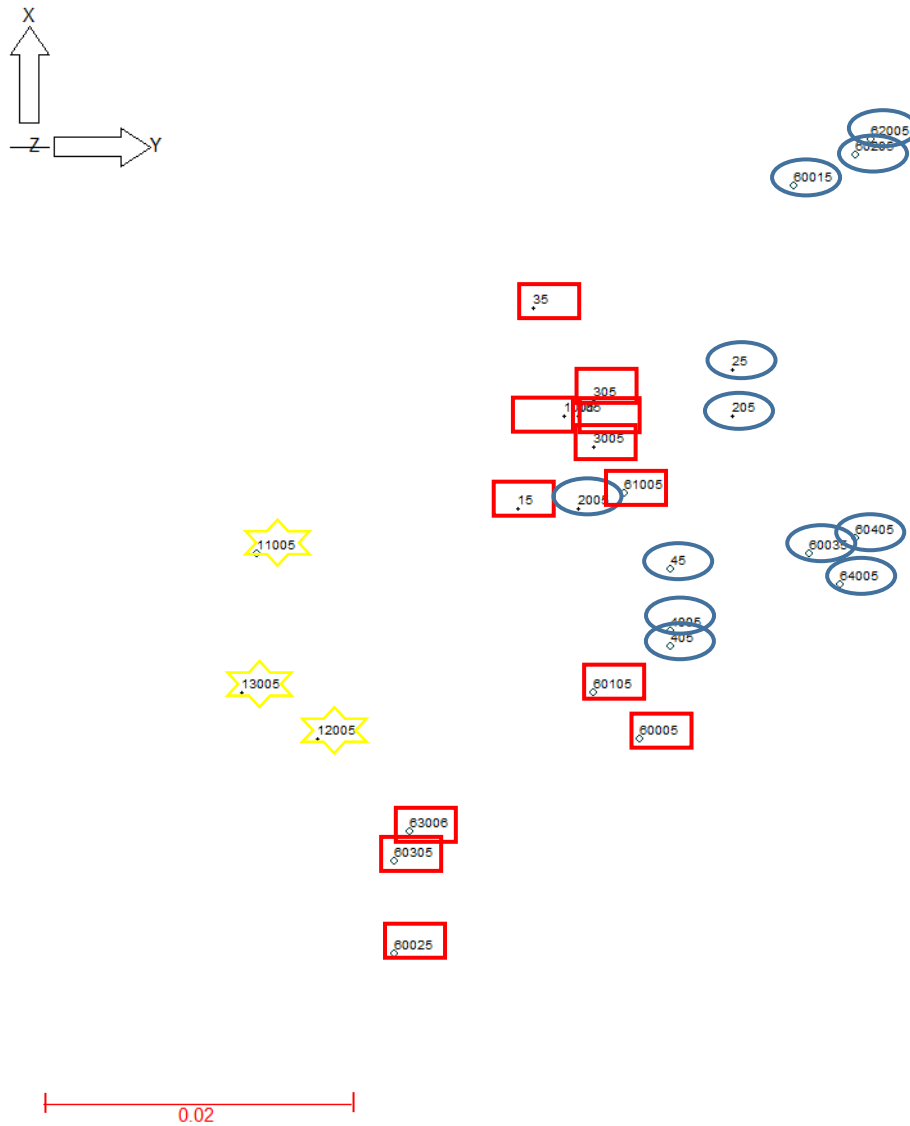
Taulukko 36. Havaintopisteelle 5 mitattujen takymetrihavaintojen x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 5			
	x	y	z
11004	7376648,485	443190,737	96,201
12004	7376648,489	443190,747	96,203
13004	7376648,475	443190,744	96,203
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,007	0,005	0,001
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,014	0,010	0,002

## Havaintopiste 6



Kuvio 14. Havaintopiste 6:lle mitatut havainnot kuvattuna havaintoryhmittäin. Siniset neliöt, punaiset kolmiot ja vihreät ellipsit ovat GNSS-laitteistolla mitattuja havaintoja. Sininen neliö kuvaa 1 sekunnin havaintoajalla mitattua pikapisteitä, punainen kolmio kuvaa 5 sekunnin havaintoajalla mitattua kartoituspisteitä ja vihreä ellipsi kuvaa 30 sekunnin havaintoajalla mitattua kiintopisteitä. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.



Kuvio 15. Havaintopiste 6:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen ta-sosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ellipsit kuvaavat kello 9 mitattuja havaintoja ja punaiset suorakulmiot kuvaavat kello 15 mitattuja ha-vaintoja. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion va-semmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjai-mella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

Taulukko 37. Kaikkien GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot.

Havaintopiste 6			
Kello 9	x	y	z
25	7376680,311	443218,221	96,056
45	7376680,298	443218,217	96,085
60015	7376680,323	443218,225	96,087
60035	7376680,299	443218,226	96,094
205	7376680,308	443218,221	96,058
405	7376680,293	443218,217	96,085
60205	7376680,325	443218,229	96,086
60405	7376680,300	443218,229	96,090
2005	7376680,302	443218,211	96,065
4005	7376680,294	443218,217	96,085
62005	7376680,326	443218,230	96,078
64005	7376680,297	443218,228	96,087
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,012</b>	<b>0,006</b>	<b>0,013</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,033</b>	<b>0,019</b>	<b>0,038</b>
Kello 15			
15	7376680,302	443218,207	96,057
35	7376680,315	443218,208	96,072
60025	7376680,273	443218,199	96,065
60005	7376680,287	443218,215	96,061
105	7376680,308	443218,211	96,063
305	7376680,309	443218,212	96,070
60105	7376680,290	443218,212	96,071
60305	7376680,279	443218,199	96,063
1005	7376680,308	443218,210	96,059
3005	7376680,306	443218,212	96,081
61005	7376680,303	443218,214	96,083
63006	7376680,281	443218,200	96,060
<b>Keskihajonta (m)</b>	<b>0,014</b>	<b>0,006</b>	<b>0,008</b>
<b>Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)</b>	<b>0,042</b>	<b>0,016</b>	<b>0,026</b>



Taulukko 38. Havaintopisteelle 6 mitattujen havaintojen ominaisuustiedot jaoteltuna mittausajankohdan ja havaintoryhmän mukaan sekä ominaisuustiedoille lasketut keskiarvot. Listauksesta on poistettu havainnot, jotka on mitattu ilman korjausdataa.

Havaintopiste 6					
Pikapisteet	Satelliitit (min)	RMS	PDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
25	11	20	2,1	1,4	1,6
45	11	19,3	2,3	1,4	1,8
60015	13	59,4	1,8	1,1	1,4
60035	12	15,7	2,1	1,2	1,7
<b>Keskiarvo</b>	<b>12</b>	<b>28,6</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>
Kello 15					
15	14	19,1	1,6	0,9	1,3
35	11	27,4	2,2	1,3	1,8
60005	12	40	1,9	1,2	1,5
60025	13	14,1	2,1	1,3	1,7
<b>Keskiarvo</b>	<b>13</b>	<b>25,2</b>	<b>2,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,6</b>
Kartoituspisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
205	11	20,2	2,1	1,4	1,6
405	11	19,2	2,3	1,4	1,8
60205	12	60,7	1,9	1,2	1,5
60405	12	25	2,1	1,2	1,7
<b>Keskiarvo</b>	<b>12</b>	<b>31,3</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>
Kello 15					
105	13	18,4	1,7	1	1,4
305	11	31,7	2,2	1,3	1,8
60105	12	41,7	1,9	1,2	1,5
60305	14	24,4	1,6	0,9	1,4
<b>Keskiarvo</b>	<b>13</b>	<b>29,1</b>	<b>1,9</b>	<b>1,1</b>	<b>1,5</b>
Kiintopisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
2005	11	30,6	2,1	1,4	1,6
4005	11	19,2	2,3	1,4	1,8
62005	12	57,9	1,9	1,2	1,5
64005	11	13,2	2,1	1,3	1,7
<b>Keskiarvo</b>	<b>11</b>	<b>30,2</b>	<b>2,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,7</b>
Kello 15					
1005	13	20	1,7	1	1,4
3005	10	38,3	2,5	1,7	1,9
61005	10	41,9	2,4	1,3	2
63006	13	22,2	2,1	1,3	1,7
<b>Keskiarvo</b>	<b>12</b>	<b>30,6</b>	<b>2,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,8</b>

Taulukko 39. Havaintopisteelle 6 mitattujen pikapisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 6			
	x	y	z
15	7376680,302	443218,207	96,057
25	7376680,311	443218,221	96,056
35	7376680,315	443218,208	96,072
45	7376680,298	443218,217	96,085
60005	7376680,287	443218,215	96,061
60015	7376680,323	443218,225	96,087
60025	7376680,273	443218,199	96,065
60035	7376680,299	443218,226	96,094
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,016	0,009	0,015
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,050	0,027	0,038

Taulukko 40. Havaintopisteelle 6 mitattujen kartoituspisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 6			
	x	y	z
105	7376680,308	443218,211	96,063
205	7376680,308	443218,221	96,058
305	7376680,309	443218,212	96,070
405	7376680,293	443218,217	96,085
60105	7376680,290	443218,212	96,071
60205	7376680,325	443218,229	96,086
60305	7376680,279	443218,199	96,063
60405	7376680,300	443218,229	96,090
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,014	0,010	0,012
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,046	0,030	0,032

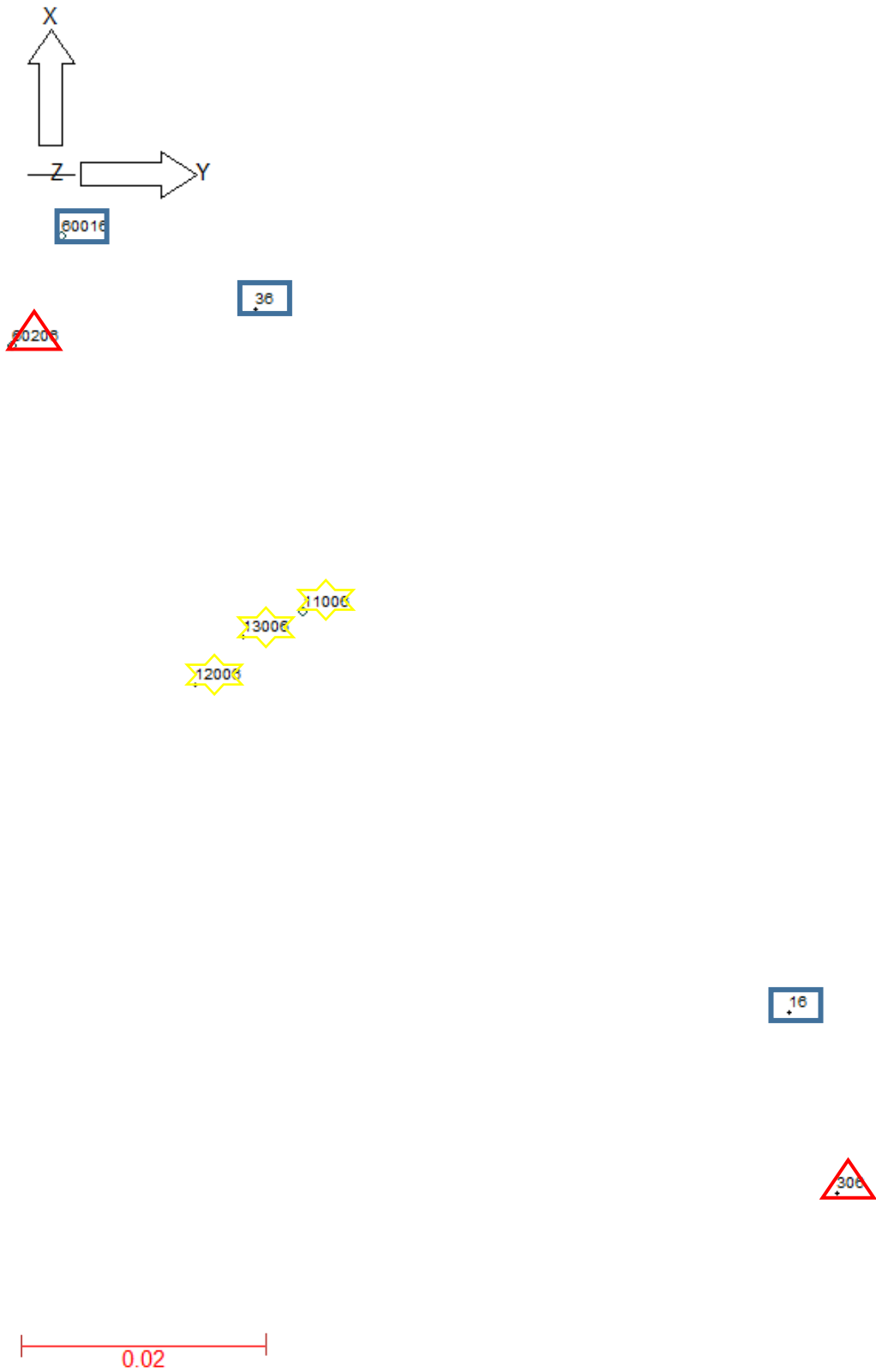
Taulukko 41. Havaintopisteelle 6 mitattujen kiintopisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 6			
	x	y	z
1005	7376680,308	443218,210	96,059
2005	7376680,302	443218,211	96,065
3005	7376680,306	443218,212	96,081
4005	7376680,294	443218,217	96,085
61005	7376680,303	443218,214	96,083
62005	7376680,326	443218,230	96,078
63006	7376680,281	443218,200	96,060
64005	7376680,297	443218,228	96,087
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,013	0,010	0,012
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,045	0,030	0,028

Taulukko 42. Havaintopisteelle 2 mitattujen takymetrihavaintojen x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

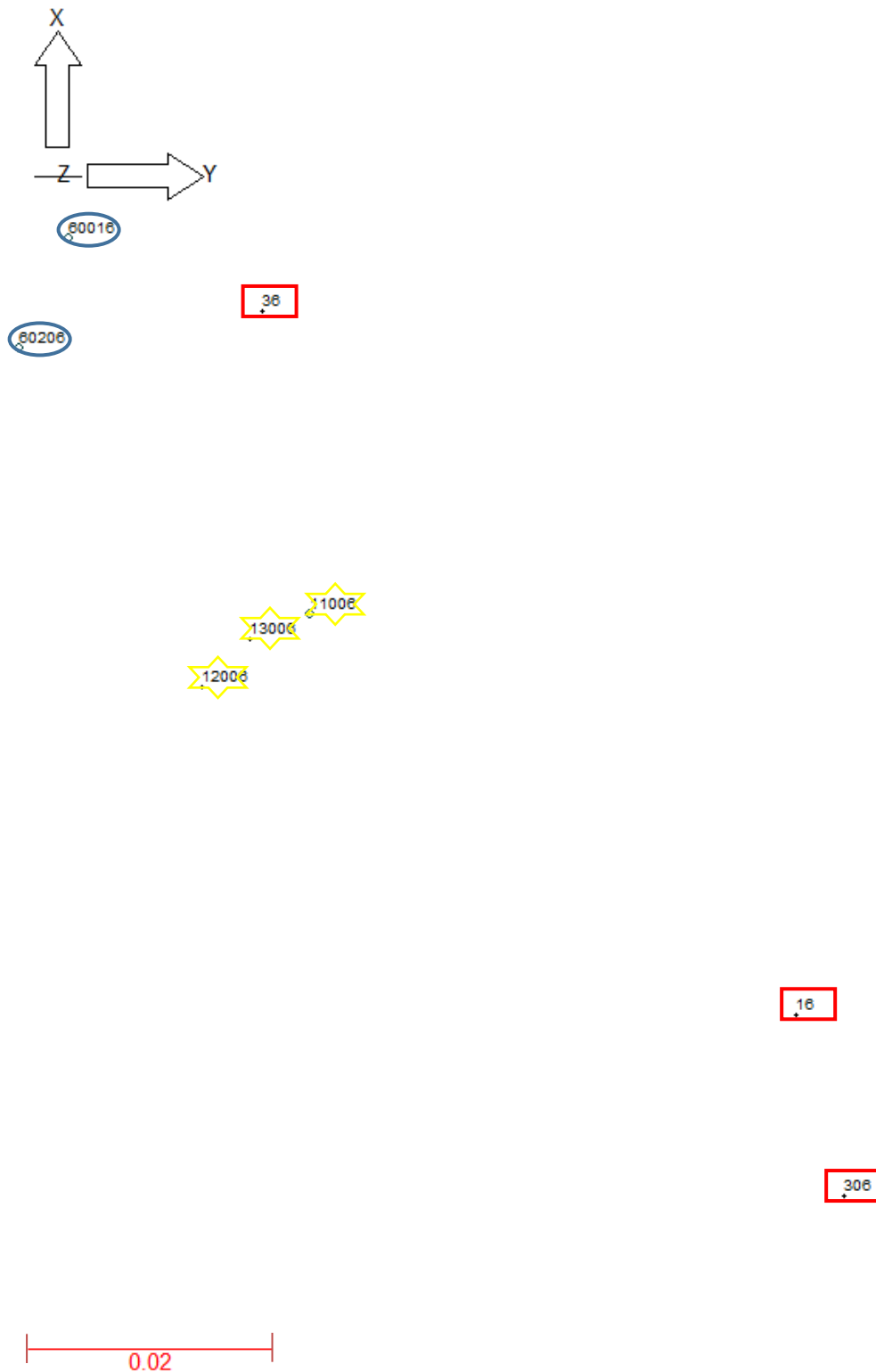
Havaintopiste 6			
	x	y	z
11005	7376680,299	443218,19	96,071
12005	7376680,287	443218,194	96,073
13005	7376680,290	443218,189	96,073
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,006	0,003	0,001
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,012	0,005	0,002

## Havaintopiste 7



Kuvio 16. Havaintopiste 7:lle mitatut havainnot kuvattuna havaintoryhmittäin. Siniset neliöt, punaiset kolmiot ja vihreät ellipsit ovat GNSS-laitteistolla mitattuja havaintoja. Sininen neliö kuvaa 1 sekunnin havaintoajalla mitattua pikapisteitä,

punainen kolmio kuvaa 5 sekunnin havaintojalla mitattua kartoituspisteitä ja vihreä ellipsi kuvaa 30 sekunnin havaintojalla mitattua kiintopisteitä. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion vasemmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.



Kuvio 17. Havaintopiste 7:lle eri vuorokaudenaikoina mitattujen havaintojen ta-  
 sosijainnit havainnollistettuna suhteessa toisiinsa. Siniset ellipsit kuvaavat kello  
 9 mitattuja havaintoja ja punaiset suorakulmiot kuvaavat kello 15 mitattuja ha-  
 vaintoja. Keltaiset tähdet kuvaavat takymetrillä mitattuja havaintoja. Kuvion va-

semmassa yläkulmassa oleva suuntanuoli kuvaa ilmansuuntia, pohjoista kirjaimella X ja itää kirjaimella Y. Kuvion alakulmassa oleva mittakaavaluku kuvaa etäisyyttä metreissä.

Taulukko 43. Kaikkien GNSS-laitteistolla mitattujen aamu- ja iltahavaintojen x-, y- ja z-koordinaattien keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin väliset erot.

Havaintopiste 7			
Kello 9	x	y	z
60206	7376699,991	443233,485	96,353
60016	7376700	443233,489	96,346
Keskihajonta (m)	0,006	0,003	0,005
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,009	0,014	0,024
Kello 15			
16	7376699,936	443233,549	96,29
36	7376699,994	443233,505	96,182
306	7376699,921	443233,553	96,151
Keskihajonta (m)	0,039	0,027	0,073
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,073	0,048	0,139

Taulukko 44. Havaintopisteelle 7 mitattujen havaintojen ominaisuustiedot jaoteltuna mittausajankohdan ja havaintoryhmän mukaan sekä ominaisuustiedoille lasketut keskiarvot. Listauksesta on poistettu havainnot, jotka on mitattu ilman korjausdataa.

Pikapisteet	Satelliitit (min)	RMS	PDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
26	12	58,5	1,6	0,9	1,4
60016	14	48,2	1,4	0,7	1,2
<b>Keskiarvo</b>	<b>13</b>	<b>53,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>
Kello 15					
16	11	58,1	1,6	0,9	1,4
36	7	86,4	2,4	1,2	2,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>72,3</b>	<b>2,0</b>	<b>1,1</b>	<b>1,8</b>
Kartoituspisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
206	10	35,9	2,7	1,4	2,2
60206	14	50,6	1,4	0,7	1,2
<b>keskiarvo</b>	<b>12</b>	<b>43,3</b>	<b>2,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>
Kello 15					
306	9	65	2,3	1	2,1
<b>Keskiarvo</b>	<b>9</b>	<b>65</b>	<b>2,3</b>	<b>1,0</b>	<b>2,1</b>
Kiintopisteet	Satelliitit	RMS	RDOP (max)	HDOP (max)	VDOP (max)
Kello 9					
2006	10	37,3	2,6	1,4	2,2
<b>Keskiarvo</b>	<b>10</b>	<b>37,3</b>	<b>2,6</b>	<b>1,4</b>	<b>2,2</b>
Kello 15	-	-	-	-	-
<b>Keskiarvo</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Taulukko 45. Havaintopisteelle 7 mitattujen pikapisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 7			
	x	y	z
16	7376699,936	443233,549	96,290
36	7376699,994	443233,505	96,182
60016	7376700,000	443233,489	96,346
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,035	0,031	0,083
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,064	0,060	0,164



Taulukko 46. Havaintopisteelle 7 mitattujen kartoituspisteiden x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 7			
	x	y	z
306	7376699,921	443233,553	96,151
60206	7376699,991	443233,485	96,353
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,049	0,048	0,143
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,070	0,068	0,202

Taulukko 47. Havaintopisteelle 7 mitattujen takymetrihavaintojen x-, y- ja z-koordinaateille lasketut keskihajonnat sekä suurimman ja pienimmän koordinaatin erotukset.

Havaintopiste 7			
	x	y	z
11006	7376699,969	443233,509	96,301
12006	7376699,963	443233,500	96,304
13006	7376699,967	443233,504	96,304
	x	y	z
Keskihajonta (m)	0,003	0,005	0,002
Suurimman ja pienimmän arvon erotus (m)	0,006	0,009	0,003

## Liite 3.

Haastattelu 3.11.2016

Jukka Koponen ja Jani Hiltunen

Lapin ammattikorkeakoulu

Maanmittaustekniikka

Pasi Laurila

Lapin ammattikorkeakoulu

1. Mitä sanalla orientointi tarkoitetaan?
2. Näkemyksenne GNSS-pisteiden hyödyntämisestä takymetrimittauksen orientointipisteinä?
3. Onko "asemointi" yleisesti käytettävä termi kojeen pystyttämistä valittuun paikkaan?
4. Voidaanko nollasuuntaa kutsua perustellusti myös nollakulmaksi?
5. Voidaanko sanoa, että takymetrin orientoinnissa syntyvä virhe toistuu systemaattisesti mittaustuloksissa?
6. Kumpi vapaalle asemapisteelle orientoinnin orientointimenetelmä on enemmän käytetty, kaarileikkaus vai taaksepäinleikkaus?
7. Voiko suuntahavaintoja käyttää orientointiin kolmella liitospisteellä? Jos ei, osaako takymetri tehdä tarvittavan Helmert-muunnoksen tai pienimmän neliösumman periaatteen mukaisen tasoituksen?
8. Mikä on orientoinnin tähtäysmatkojen pituuden vaikutus orientoinnin tarkkuuteen?
9. Onko perusteita käyttää orientoinnissa 90 asteen kulmaa apupisteiden välillä? Jos on mitä nämä ovat?
10. Laittevalmistaja lupaa GNSS-laitteiston ihanteelliseksi tasotarkkuudeksi 8 mm + 1ppm RMS. Mitä 1 ppm RMS tarkoittaa käytännössä?
11. Onko takymetrin orientoinnin taseus yleisesti käytetty termi?
12. Kuinka suuria heittoja rasiatasaimella tehty prisma-auvan taseus voi aiheuttaa takymetrimittauksessa?