

**OPINNÄYTETYÖ**

**TARJA RISTO 2013**

**TUTKIMUS KÄMMENMIKRON  
GEOEXPLORER GEOXH 6000 SERIES  
SOVELTUVUUDESTA 2D-POHJAKARTAN  
AJANTASAISTUKSEEN**



**Rovaniemen  
ammattikorkeakoulu**  
University of Applied Sciences  
LUC

**MAANMITTAUSTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA**

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

**TUTKIMUS KÄMMENMIKRON  
GEOEXPLORER GEOXH 6000 SERIES  
SOVELTUVUUDESTA 2D-POHJAKARTAN  
AJANTASAISTUKSEEN**

Tarja Risto

2013

Toimeksiantaja Siilinjärven kunta

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty \_\_\_\_\_ 2013 \_\_\_\_\_

---

<b>Tekijä</b>	Tarja Risto	Vuosi	2013
<b>Toimeksiantaja Työn nimi</b>	Siilinjärven kunta Tutkimus kämmenmikron GeoExplorer GeoXH 6000 Series soveltuvuudesta 2D-pohjakartan ajantasaistuk- seen		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	78 + 5		

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin, soveltuuko kämmenmikro Trimble® GeoExplorer® GeoXH™ 6000 Series 2D-pohjakartan ajantasaistukseen täydentävänä työvälineenä geodeettisten mittauslaitteiden rinnalla. Laitteen valmistaja lupaa sen paikannustarkkuudeksi 0.10 metriä VRS-verkon korjauksella reaaliajassa tai jälkilaskennalla.

Laitetta testattiin kuudella alueella, jotka luokiteltiin avariin, puolipeitteisiin ja peitteisiin alueisiin. Näistä viidelle rakennettiin kolme lähtöpistettä käyttämällä satelliittivastaanotinta Trimble® R8 GNSS. Kuudes testauspaikka oli juoksuhauda, joka oli kartoitettu takymetrillä useita vuosia sitten. Testikohteille kartoitettiin vertailukoordinaatit robottitakymetrillä Trimble® S6. Kohteet mitattiin kämmenmikrolla useita kertoja käyttämällä erilaisia mittaustapoja ja tuloksia verrattiin takymetrimittauksiin. Lisäksi jokaiselle kohteelle laskettiin keskihajontaluku, joka kertoo yksittäisen havainnon tarkkuuden.

Avarilla alueilla paikannustulokset olivat hyviä. Puolipeitteisellä alueella kaikki viivamoodimittaukset ja 96 % pistemoodimittausten tuloksista toteutti pohjakartan tarkkuusvaatimuksen mittauseroissa 2, jota Siilinjärven kunnan kartastotöissä käytetään. Peitteisillä alueilla havupuut estivät tehokkaasti signaalien saapumisen kämmenmikroon.

Tarkoituksella valitut ongelmalliset testausalueet ja erilaisten mittaustapojen käyttö alensivat 0.10 m:n tarkkuuden toteutumista. Mittausympäristöllä, satelliittigeometrialla ja monitieheijastuksilla oli suuri vaikutus mittaustuloksiin. Avarilla ja puolipeitteisillä alueilla tulokset olivat useimmissa tapauksissa vähintäänkin stereotulkinnan tasolla ja käyttökelpoisia monissa suunnittelutehtävissä. Peitteisiltä alueilta kerättyjä tietoja voidaan käyttää suunnittelussa alueesta kertovana informaationa.



# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>7</b>
1.1 TYÖN AIHE .....	7
1.2 TYÖN TAVOITTEET .....	8
<b>2 GNSS-PAIKANNUS</b> .....	<b>9</b>
2.1 GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM) .....	9
2.2 RTK-MITTAUKSET .....	9
2.3 VRS-JÄRJESTELMÄ.....	10
2.4 PAIKANNUSSIGNAALI .....	12
2.5 MITTAUKSEN ALUSTUS.....	13
<b>3 VIRHEET</b> .....	<b>14</b>
3.1 VIRHEET JA TARKKUUS .....	14
3.2 VIRHEIDEN LUOKITTELU .....	14
3.3 VIRHEOLETTAMUKSET .....	15
3.4 SATUNNAISTEN VIRHEIDEN ARVIOINTI TOISTOMITTAUKSISSA .....	16
3.5 SATELLIITTIPAIKANNUKSEN TARKKUUS.....	17
<b>4 MITTAUSLUOKAT</b> .....	<b>19</b>
<b>5 KÄMMENMIKRO GEOEXPLORER GEOXH 6000 SERIES</b> .....	<b>21</b>
<b>6 LÄHTÖPISTEET</b> .....	<b>23</b>
<b>7 VERTAILUKOORDINAATIT</b> .....	<b>24</b>
7.1 VERTAILUKOORDINAATTIEN KARTOITUS JA KONTROLLIMITTAUKSET .....	24
7.2 TAKYMETRI- JA SATELLIITTIMITTAUKSEN ERO.....	24
<b>8 TESTAUSALUEET</b> .....	<b>27</b>
8.1 AHMO .....	27
8.2 HARJAMÄKI.....	30
8.3 HAUTAUSMAA .....	31
8.4 KASURILA.....	32
8.5 RANTA.....	33
8.6 JUOKSUHAUTA.....	34
<b>9 TUTKIMUSAINEISTO</b> .....	<b>35</b>
<b>10 TUTKIMUSTULOKSET</b> .....	<b>42</b>
10.1 LUOKITTELUT .....	42
10.2 METSÄN JA VEDEN VAIKUTUKSESTA SAADUT MITTAUSTULOKSET .....	42
10.3 AVARIEN ALUEIDEN MITTAUSTULOKSET .....	46
10.4 PUOLIPETTEISTEN ALUEIDEN MITTAUSTULOKSET .....	49
10.5 PEITTEISTEN ALUEIDEN MITTAUSTULOKSET.....	51
<b>11 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYSOINTI</b> .....	<b>60</b>
11.1 METSÄN JA VEDEN VAIKUTUS MITTAUSTULOSSIIN.....	60
11.2 AVARIEN ALUEIDEN ANALYSOINTI .....	60
11.3 PUOLIPETTEISTEN ALUEIDEN ANALYSOINTI.....	63
11.4 PEITTEISTEN ALUEIDEN ANALYSOINTI.....	65
<b>12 POHDINTA</b> .....	<b>71</b>
<b>LÄHTEET</b> .....	<b>76</b>
<b>LIITTEET</b> .....	<b>78</b>

**TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO**

Taulukko 1	Opinnäytetyössä mitattujen kohteiden Kaavoitusmittausohjeiden mukaiset pistekeskivirheet
Taulukko 2	Kasurilan testipisteiden mittaustulokset
Taulukko 3	Rannan testipisteiden mittaustulokset
Taulukko 4	Ahmon valaisimen pistemittausten tulokset
Taulukko 5	Ahmon valaisimen viivamittausten tulokset
Taulukko 6	Ahmon valaisimen aluemittausten tulokset
Taulukko 7	Ahmon nurmen reunan testipisteiden mittaustulokset
Taulukko 8	Ahmon nurmen reunan viivamittausten erot vertailuviivasta
Taulukko 9	Harjamäen testipisteiden mittaustulokset
Taulukko 10	Harjamäen mittaustulosten jakautuminen eri mittausluokkiin ja GeoXH:n näyttämät tiedot mittausten aikana
Taulukko 11	Harjamäen polun viivamittausten erot vertailuviivasta
Taulukko 12	Ahmon lehtipuun pistemittausten tulokset
Taulukko 13	Ahmon lehtipuun viivamittausten tulokset
Taulukko 14	Ahmon lehtipuun aluemittausten tulokset
Taulukko 15	Hautausmaan valaisimen pistemittausten tulokset
Taulukko 16	Hautausmaan valaisimen viivamittausten tulokset
Taulukko 17	Hautausmaan valaisimen aluemittausten tulokset
Taulukko 18	Hautausmaan lehtipuun pistemittausten tulokset
Taulukko 19	Hautausmaan lehtipuun viivamittausten tulokset

Taulukko 20	Hautausmaan lehtipuun aluemittausten tulokset
Taulukko 21	Sorakäytävän testipisteiden mittaustulokset
Taulukko 22	Sorakäytävän reunan viivamittausten erot vertailuvii- vasta
Taulukko 23	Nurmialueen pistemittausten tulokset
Taulukko 24	Ahmon valaisimen kaikkien mittaustulosten jakau- tuminen eri mittausluokkiin
Taulukko 25	Ahmon valaisimen mittaustapojen vertailu
Taulukko 26	Avariiden alueiden keskihajontaluvut
Taulukko 27	Harjamäen testipisteiden tulosjakauma eri mittaus- luokissa
Taulukko 28	Puolipeitteisten alueiden keskihajontaluvut
Taulukko 29	Ahmon lehtipuun mittaustapojen vertailu
Taulukko 30	Hautausmaan valaisimen tulosjakauma eri mittaus- luokissa
Taulukko 31	Hautausmaan lehtipuun tulosjakauma eri mittaus- luokissa
Taulukko 32	Sorakäytävän pistemittausten tulosjakauma eri mit- tausluokissa
Taulukko 33	Nurmialueen tulosjakauma eri mittausluokissa
Taulukko 34	Peitteisten alueiden keskihajontaluvut
taulukko 35	Kaikkien alueiden yhteiset keskihajontaluvut
Kuvio 1	Normaalijakauman tiheysfunktio
Kuvio 2	Poikittaisasentoinen Mercatorin projektio

Kuvio 3	Etäisyyden mittausten laskennassa käytetyt suureet, kun projektiona on poikittaisasentoinen lieriöprojektiio
Kuvio 4	Ahmon urheilualueen työsuunnitelmapakartta
Kuvio 5	Ahmon valaisin ja lehtipuu
Kuvio 6	Ahmon nurmen reuna
Kuvio 7	Harjamäen työsuunnitelmapakartta
Kuvio 8	Viinamäen hautausmaan työsuunnitelmapakartta
Kuvio 9	Kasurilan työsuunnitelmapakartta
Kuvio 10	Vuorelan rannan työsuunnitelmapakartta
Kuvio 11	Juoksuhaudan testauspaikka Toivalassa
Kuvio 12	Estepiirros ja satelliittigeometriaennuste
Kuvio 13	Vertailuviiva ja testipisteet
Kuvio 14	Visualisointikuvat
Kuvio 15	Testipisteiden paikat Kasurilassa
Kuvio 16	Paalujen T ja V estepiirrookset
Kuvio 17	Testipisteiden paikat Vuorelan rannassa
Kuvio 18	Rannan paalujen X ja Z estepiirrookset
Kuvio 19	Polku Harjamäessä
Kuvio 20	Ahmon lehtipuun estepiirros ja satelliittigeometria
Kuvio 21	Yleiskuva hautausmaan mittauskohteista
Kuvio 22	Nurmialueen alue- ja taitepistemittaukset
Kuvio 23	Juoksuhaudan testipisteet 8-11



- Kuvio 24 Mittauksissa apuna käytetty kartoitussauva testipisteellä 19
- Kuvio 25 Ahmon valaisimen neljän pisteen mittaustulokset yhdistettyinä viivoilla toisiinsa

**KÄSITE- JA LYHENNELUETTELO**

epookki	tarkka ajanhetki, WGS84-järjestelmässä yksittäinen ajanjakso mittauksen aikana
bussoli	käsisuuntakehä, jonka isompinumeroiselta pääasteikolta luetaan suunta pohjoisesta, pienempinumeroiselta asteikolta luetaan suunta etelästä
DGPS	Differential Global Positioning System, satelliittipaikannusjärjestelmä, jossa liikkuvan vastaanottimen paikannustiedoista korjataan systemaattisia virheitä tunnetulla pisteellä olevan tukiaseman avulla
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989, 3D-koordinaattijärjestelmä, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan yhtenäiseen osaan epookkina 1989.0
EUREF-FIN	European Reference Frame-Finland, kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä, joka on eurooppalaisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio eli toteutus
GPRS	General Packet Radio Service, GSM-verkossa toimiva tiedonsiirtopalvelu, jota käytetään pääasiassa langattoman Internet-yhteyden muodostamiseen matkapuhelimen tai GPRS-sovittimen avulla
GSM	Global System for Mobile Communications, matkapuhelinjärjestelmä
KKJ	suorakulmainen kartastokoordinaattijärjestelmä, jossa Suomi on jaettu kuuteen 3°:n projektiokaistaan
klinometri	kaltevuusmittari, jolla mitataan korkeuskulmia
N60	Suomen korkeusjärjestelmä, jonka lähtökorkeutena on Helsingin vuosien 1935–1954 havaintojen perus-

teella laskettu keskivedenpinta korjattuna vuoteen 1960 maannousun mukaisesti

ppm parts per million, miljoonasosa, 1:1 000 000 tai  $10^{-6}$ ,  
1 ppm on kilometrin matkalla 1 mm

WGS84 World Geodetic System 1984, satelliittipaikannuksessa käytettävä koordinaattijärjestelmä

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn aihe

Siilinjärven kunnassa rakentaminen on lisääntynyt huomattavasti viimeisten vuosien aikana. Maankäyttö- ja rakennuslaki velvoittaa tutkimaan kaavaa varten erilaisia vaihtoehtoja ja jokaisen alueen suunnitteluun tarvitaan ajantasalla oleva ja tarkkuusvaatimukset täyttävä pohjakartta. Maastotietojen tarve ja merkitys lisääntyy suunnittelutyön edistyessä ja kohdistuessa tietyille alueille. Kun vahvistettu asemakaava on toteutunut maastossa, muutokset ajantasaistetaan pohjakartalle. Myös kaava-alueiden ulkopuolella Siilinjärven kunnan pohjakartta-alueella tapahtuu runsaasti kartoitettavia muutoksia.

Kaavan pohjakartta muodostaa kaavoitus- ja kiinteistönmuodostustoimen sekä kunnallisteknisten karttojen pohja-aineiston. Kaavoitusmittausasetus 1284/99 ja Maanmittauslaitoksen Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) 206 §:n 3 momentin nojalla antamat Kaavoitusmittausohjeet 2003 määrittelevät, minkälaista karttaa saadaan käyttää asemakaavan pohjakarttana. Pohjakartassa kuvattavat kohteet perusteluineen on esitetty Maanmittauslaitoksen julkaisun n:o 85 Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallissa. Kaavoitusmittauksissa käytettävien laitteiden on oltava tarkkuudeltaan työhön soveltuvia.

Tämän opinnäytetyön aiheena on tutkimus kämmenmikron Trimble® GeoExplorer® GeoXH™ 6000 Series soveltuvuudesta 2D-pohjakartan ajantasaisuuteen. Se on paikkatiedonkeruulaite, joka ei ole tarkoissa mittaus- ja kartoitustehtävissä käytettävä geodeettinen mittauslaite. Laitteen valmistaja on ilmoittanut sen mittaustarkkuudeksi 0.1 m VRS-verkon korjauksella reaaliajassa tai jälkilaskennalla. Laitetta testattiin kuudella eri alueella ja mittaus tuloksia verrattiin Trimble® S6-takymetrillä tehtyihin vertailumittauksiin. Mittaukset tehtiin KKJ-koordinaattijärjestelmässä ja N60-korkeusjärjestelmässä. Opinnäytetyössä käytettiin VRS-verkon antamaa tarkkuutta, jälkilaskentaa ei käytetty.

Monissa diplomi- ja opinnäytetöissä on tehty esim. GPS-mittauksiin ja mittauslaitteisiin liittyviä erilaisia tarkkuustutkimuksia, mutta niissä ei ole suoranaisesti kiinnitetty huomiota pohjakartan tarkkuusvaatimusten toteutumiseen. Merkittävin viimeaikaisista maanmittausalan tutkimuksista on Geodeettisen

laitoksen (GL) vuosina 2003–2004 tekemä tutkimus sekä perinteisen RTK-mittauksen että virtuaalitukiasemakonseptin (VRS™) tarkkuudesta. Tutkimuksen ovat suomeksi julkaisseet tutkijat (GL) Pasi Häkli ja Hannu Koivula vuonna 2005 nimellä Reaaliaikaisen GPS-mittauksen laatu.

## 1.2 Työn tavoitteet

Tässä opinnäytetyössä selvitetään, onko GeoExplorer GeoXH 6000 Series -paikkatiedonkeruulaitteen paikannustarkkuus riittävä 2D-pohjakartan ajantasaistukseen. Tästä syystä tässä opinnäytetyössä painotutaan vain laitteen XY-tarkkuuteen, vaikka käsipaikannin suorittaa mittaukset 3D-koordinaatistossa.

Missä paikoissa ja olosuhteissa päästään laitevalmistajan lupaamaan 0.1 m:n paikannustarkkuuteen? Mitkä pohjakartan kohteet voidaan ajantasaistaa kämmenmikron avulla? Paikannuslaitteessa on kolme mittausmoodia: piste, viiva ja alue. Onko alue- tai viivakohde parempi mitata pisteinä, jotka myöhemmin yhdistetään viivoilla toisiinsa? Onko pistemäinen kohde parempi mitata pistemittauksen sijaan viiva- tai aluemoodissa ja merkitä kohteen sijainti näin saadusta tuloksen keskipisteestä? Kuinka työssä arvioidaan virhemahdollisuudet, kun vertailumittauksia ei ole käytettävissä?

Paikkatiedonkeruulaitteella saaduilla mittaustuloksilla ei voida korvata tarkkoihin geodeettisiin mittauksiin tarkoitetuilla laitteilla tehtäviä kartoituksia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena onkin selvittää, voidaanko integroitua GNSS-kämmen-tietokonetta GeoXH 6000 Series käyttää täydentävänä työvälineenä karttatuotannossa muiden yleisesti hyväksytyjen kartantuotantomenetelmien rinnalla.

## **2 GNSS-PAIKANNUS**

### **2.1 GNSS (Global Navigation Satellite System)**

GNSS (Global Navigation Satellite System) on lyhenne kaikkien eri satelliittipaikannusjärjestelmien muodostamasta yhteisestä kokonaisuudesta. GNSS-järjestelmään kuuluvia, globaaleja, toimivia paikannusjärjestelmiä ovat mm. amerikkalaisten GPS (Global Positioning System), venäläisten Glonass ja EU:n toteutusvaiheessa oleva Galileo. GNSS:ään kuuluu myös monisatelliittijärjestelmää hyödyntävää teknologiaa. Lisäksi siihen kuuluu korjausjärjestelmiä, joiden avulla välitetään paikannusta tarkentavaa korjaussignaalia. (Tötterström 2010, 13; Laurila 2009.)

Koko paikannuksen infrastruktuuri muodostaa GNSS-järjestelmän. Kun puhutaan yleisellä tasolla satelliitteihin perustuvasta paikannuksesta, pelkkä GPS-mittaus ei ole enää kattava termi, vaan käsite satelliittimittaus on nykyisin täsmällisempi ilmaisu. (Tötterström 2010, 13; Laurila 2009.)

Eri satelliittijärjestelmien yhteiskäyttö on pyritty luomaan niiden käyttäjien kannalta joustavaksi. Muutamat nykyisistä vastaanottimista pystyvät seuraamaan kaikkia näkyvissä olevia satelliitteja. GPS-laite on radiovastaanotin, joka laskee sijaintinsa vastaanottamistaan satelliittien lähettämistä koodatuista radiosignaaleista. Järjestelmä on yksisuuntainen eli vastaanotin ei lähetä viestejä sisältäviä signaaleja satelliitteihin. Satelliitin ja vastaanottimen välillä radiosignaali joutuu alttiiksi eri virhelähteille. (Laurila 2009.)

### **2.2 RTK-mittaukset**

RTK-mittaukset (Real Time Kinematic) ovat reaaliaikaisia mittauksia, joissa tarvitaan kaksi geodeettista vastaanotinta ja näiden välille reaaliaikainen tietoliikenneyhteys. Toinen vastaanottimista, vertailuvastaanotin, toimii tukiasemana. Se sijaitsee mittaustapahtuman ajan koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä ja lähettää liikkuvalla eli paikantavalla vastaanottimelle omat koordinaattinsa ja vaihehavaintonsa. Paikantava vastaanotin suorittaa alustuksen eli ratkaisee kaksoisalkutuntemattomat antennien (tukiasema ja paikantava vastaanotin) ja satelliittien välillä sekä muut tarvittavat suureet reaaliajassa. Alustuksen jälkeen voidaan mittauskojeella tehdä kartoitus- tai merkintämittauksia reaaliaikaisesti niin kauan kuin kojeen yhteys satelliitteihin ja tukiasemaan säilyy. (Häkli-Koivula 2005, 6–7; Laurila 2010, 319, 322.)

Tietoliikenneyhteys tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen välillä voi toimia radiosignaalin välityksellä, jolloin radion kuuluvuusalueella useat liikkuvat vastaanottimet voivat käyttää samaa tukiasemaa. Maasto-olosuhteista johtuen tukiasemahavainnot lähetetään usein GSM- tai GPRS-datana, jolloin mitaukset voidaan suorittaa missä tahansa verkon kuuluvuusalueella. (Häkli-Koivula 2005, 6–7; Laurila 2010, 319.)

Ionosfäärin aiheuttamien virheiden ja häiriöiden vuoksi reaaliaikaisen kinemaattisen mittauksen (RTK) toimintasäde tukiaseman ympärillä on rajoittunut käytännössä korkeintaan kymmeneen kilometriin. Noin 10–20 km:n päässä tukiasemasta ionosfäärin toimintaan liittyvät virheet alkavat olla paikannusignaalin kantoaallon mittaisia, jolloin alkutuntemattomien ratkaisussa on epäluotettavuutta. (Laurila 2010, 323.)

RTK-paikannuksen rajallisuudesta johtuen siihen on kehitetty parannuksia 1990-luvun lopulta lähtien. Kehitystyön tuloksena on tullut käyttöön verkko-RTK (Network RTK), jossa yhden tukiaseman sijasta käytetään tukiasemien verkkoa. Suomessa käytössä oleva ainoa verkko-RTK-menetelmä on Trimble Ltd:n kaupallinen virtuaalitukiasemakonsepti VRS<sup>TM</sup> (Virtual Reference Station), jota edustaa ja johon kuuluvaa palvelua, GPSnet.fi, tarjoaa Geotrim Oy. (Häkli-Koivula 2005, 5, 7.)

RTK:lla mitatut tulokset ovat tukiaseman koordinaateista riippuvia, joten ne sopivat hyvin ympäristön kiintopisteistön määrittämään järjestelmään. Niiden ulkoinen tarkkuus saattaa kuitenkin olla huono, koska kaikki tukiasemakoordinaattien sisältämät virheet siirtyvät systemaattisesti myös mitattaviin pisteisiin. Verkko-RTK, VRS puolestaan tarjoaa homogeenisia EUREF-FIN-määritelmän mukaisia koordinaatteja valtakunnallisesti ilman omaa tukiasemaa. (Häkli-Koivula 2005, 15.)

### **2.3 VRS-järjestelmä**

VRS-järjestelmä (Virtual Reference Station) on virtuaalitukiasemajärjestelmä, jossa pysyvän tukiasemaverkon avulla voidaan nykyisin päästä millimetrin paikannustarkkuuteen. Suomessa Geotrim Oy:n ylläpitämä VRS-tukiasemaverkkojärjestelmä ja -palvelu on nimeltään VRSnet.fi. (Tötterström 2010, 9–11.) Se on avoin kaikille laitemerkeille ja mobiilitiedonsiirtotekniikoille

ja se tuottaa mittaukset suoraan EUREF-FIN- tai muuhun asiakkaan haluamaan koordinaatistoon. VRS-palvelua voidaan hyödyntää reaaliaikaiseen paikannukseen ilman omaa yksittäistä tukiasemaa sekä satelliittidatan jälkikäsitteilyyn ja -laskentaan. Mittaajan laitteistosta ja palvelusopimuksesta riippuen tarkkuusluokat ovat 1 m, 50 cm, 30 cm, 10 cm, 1 cm tai 1 mm. (Geotrim Oy 2012a.)

VRS-järjestelmä koostuu useasta eri osatekijästä, joista ensimmäisen muodostavat kiinteät **GNSS-tukiasemat**, joita on noin sata kappaletta eri puolilla Suomea. Niiden keskinäinen välimatka vaihtelee noin 50–70 km, mutta käytännössä se voi olla pidempikin. VRS-verkon tukiasemat kuuluvat I-luokan pisteisiin ja niitä monitoroidaan jatkuvasti järjestelmän laadun takaamiseksi. (Häkli–Koivula 2005, 8, 12, 16; Geotrim Oy 2012a.)

Toinen komponentti muodostuu **tietoliikenneyhteyksistä**, joiden avulla tukiasemat saadaan verkotettua ja GPS-data siirretään Vantaalla sijaitsevaan laskentakeskukseen (Häkli–Koivula 2005, 9). VRS-järjestelmän toiminta perustuu suljettuun, valvottuun ja luotettavaan tiedonsiirtoverkkoon, joka on hyväksytty viranomaiskäyttöön. (Tötterström 2010, 11).

Kolmas toiminta-alue järjestelmässä on **laskentakeskus**. Se kokoaa eri tukiasemien keräämät tukiasemaverkon datat ja tarkistaa niiden laadun. Se mallintaa tukiasemaverkon alueelle eri GPS-virheiden vaikutukset ja muodostaa mittaajalle virtuaalista GPS-dataa (Häkli–Koivula 2005, 8). Laskentakeskuksen ohjelmistoteknologia on koko VRS-järjestelmän ydin. Sillä pystytään reaaliaikaisesti mallintamaan ja minimoimaan ilmakehän ja muiden virheitä tuottavien tekijöiden aiheuttamat häiriöt GNSS-mittauksissa. (Geotrim Oy 2012a.)

Neljäntenä järjestelmän osana on mittaaja, joka on yhteydessä laskentakeskukseen GSM- tai GPRS-dataliikenteen välityksellä. Mittauksissa käytetään **virtuaalitukiasemakonseptia**, jossa mittaaja käyttää tukiasemana virtuaalista tukiasemaa (VRS), jota ei fyysisesti ole olemassa. Mittaajan data laskeaan yhdessä virtuaalidatan kanssa. ”Virtuaalisen tukiaseman data generoidaan ympärillä olevien pysyvien GPS-asemien datasta. Virtuaalidatan lähtökohdaksi otetaan verkon lähimmän todellisen tukiaseman data, joka uudelleensijoitetaan haluttuun virtuaalitukiaseman sijaintiin. Tämän geometrisen



siirron jälkeen dataan lisätään tukiasemaverkon asemien mallinnetuista virheistä interpoloimalla tai ekstrapoloimalla virheen suuruus virtuaalitukiaseman sijainnissa. Päämääränä on tuottaa mahdollisimman samankaltaista dataa kuin samassa paikassa oleva todellinen tukiasema olisi tuottanut. VRS-järjestelmän avulla voidaan eliminoida tai minimoida monia normaaliin RTK-mittaukseen liittyviä rajoituksia. Laskenta voidaan tehdä joko tosiajassa RTK-mittauksin tai jälkilaskentana.” (Häkli–Koivula 2005,8.)

Käynnistyksen jälkeen mittauskoje lähettää NMEA-viestinä (National Marine Electronics Assosiation) laskentakeskukseen oman paikkansa koordinaatit, jotka ovat navigointi- tai DGPS-korjatusta ratkaisusta. Näiden koordinaattien perusteella laskentakeskus muodostaa kojeen läheisyyteen virtuaalisen tukiaseman, jolle laskentakeskus generoi tästä hetkestä eteenpäin pysyvän tukiasemaverkon avulla virtuaalista dataa. Mittauskoje ottaa vastaan laskentakeskuksen korjausdataa, joka simuloi paikallisen tukiaseman lähettämää dataa. (Häkli–Koivula 2005,8; Laurila 2010, 324.) Kun alustus on suoritettu, mittauksen tekeminen vaatii samanaikaisesti yhteyden satelliitteihin, tukiasemaan ja laskentakeskukseen. Mikäli yhteys johonkin näistä katkeaa, tarvitaan uusi alustus. (Häkli–Koivula 2005, 17.)

## **2.4 Paikannussignaali**

Satelliitin lähettämässä paikannussignaalissa erotetaan kolme osaa: kanta-aalto, paikannuskoodi ja navigointiviesti. Satelliittipaikannuksen havainnot ovat joko vaihe- tai koodihavainnot, mutta myös niiden yhdistelmät ovat mahdollisia. (Laurila 2010, 294–295.)

Kanta-aaltoja on kaksi, jotka värähtelevät taajuuksilla L1 ja L2. Ne läpäisevät ilmakehän eri tavoin ja niiden kulkuajojen aikaerojen perusteella mallinnetaan ilmakehän tilaa ja parannetaan paikannustarkkuutta. Käytettäessä kanta-aaltoa havaintosuureena etäisyydenmittauksessa puhutaan vaihe-erohavainnoista. Näihin perustuvassa paikannuksessa saadaan paras mittaustarkkuus. (Laurila 2010, 295.)

Myös paikannuskoodia on kaksi. Ne ovat siviilikäyttöön tarkoitettu C/A-koodi ja sotilaskäytön P-koodi. Kanta-aaltoa on vaihemoduloitu siten, että sen vaihe

kääntyy  $180^\circ$ , kun koodin tila muuttuu. Tämän ansiosta voidaan havaita hyvinkin heikkotehoinen signaali. (Laurila 2010, 294–295.)

Navigointiviesti välittää aikakorjauksia ja muita aikaan liittyviä tietoja ja satelliitin ratatiedot. Vastaanotin pystyy laskemaan näiden tietojen perusteella satelliitin paikan havaintohetkellä. (Laurila 2009.)

## **2.5 Mittauksen alustus**

Mittauksen aloitusvaihetta suhteellisessa mittauksessa sanotaan paikantimen alustamiseksi. Siihen liittyy käsite alkutuntemattomasta. Se tarkoittaa kokonaisten aallonpituuksien lukumäärää paikantimen ja satelliitin välillä, joka on tuntematon paikantimen käynnistämishetkellä. Kun alkutuntemattomat on ratkaistu, ohjelma ilmoittaa Fixed-ratkaisusta, ja mittaus on alustettu. Se on tarkan paikannuksen edellytys reaaliaikaisessa ja jälkilaskentaan perustuvassa mittauksessa. Toinen vaihtoehto on Float-ratkaisu, jonka tarkkuus on differentiaalisen (DGPS) mittauksen tasolla. Fixed-ratkaisu perustuu siihen, että seurataan satelliitteja riittävän kauan, jotta havaintogeometria eli satelliittien paikat muuttuvat. Se perustuu myös siihen, että alustuksessa hyödynnetään kaikkea mahdollista tietoa, kuten absoluuttista paikannusta, jossa laite ottaa vastaan suoraan yli 20 000 km:n päässä olevien satelliittien signaalit, sekä differentiaalista paikannusta, tilastomatematiikkaa, signaalien käsittelyä. (Laurila 2009.)

### 3 VIRHEET

#### 3.1 Virheet ja tarkkuus

Virhe ja tarkkuus liittyvät olennaisesti yhteen, ne ovat saman asian kaksi eri tarkastelukulmaa. Virheiden arviointi ja käsittely ovat kaikkien tieteenalojen, erityisesti mittaustekniikan ydinsisältöä, jossa määritellään käsiteltävän tiedon pätevyysalue. Virhe määritellään yhtälöllä

$$e_i = l_i - L_t \quad (1)$$

jossa  $e_i$  on havainnon virhe,  $l_i$  on suureen havaittu arvo ja  $L_t$  on suureen oikea arvo. Koska oikeaa arvoa ei yleensä tunneta, se on paremminkin teoreettinen käsite. Maastomittaustulokset ovat aina jossain määrin virheellisiä, joka näkyy mitattaessa samaa kohdetta useita kertoja. Havaintojen virheiden suuruus pyritään määrittämään mittausten avulla, mutta ongelma muodostuu siitä, että mitattavan suureen oikeaa arvoa ei tiedetä. Mittaustulosten virheiden suuruudesta eli mittauksen tarkkuudesta voidaan antaa vain arvio, johon liitetään jokin arvion epävarmuutta kuvaava todennäköisyys todennäköisyyslaskennan teoreettisten mallien ja oletusten avulla. (Laurila 2010, 32–33.)

#### 3.2 Virheiden luokittelu

Virheet on tapana luokitella systemaattisiin, karkeisiin ja satunnaisiin virheisiin. Luokittelun avulla niitä pyritään hallitsemaan ja käsittelemään mahdollisimman tehokkaasti. (Laurila 2010, 33.)

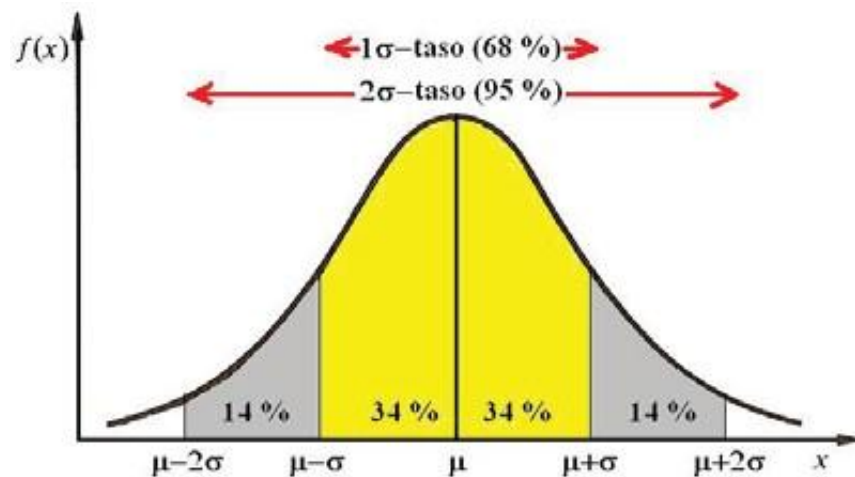
Systemaattinen virhe vaikuttaa joko kaikkiin mittaushavaintoihin tai tiettyyn osaan niistä. Jokin syy vaikuttaa siihen, että mittaushavainnot lähtevät esimerkiksi kiertymään johonkin suuntaan tai kaikissa havainnoissa on samansuuruinen virhe. Systemaattinen virhe on jossakin funktionaalisessa suhteessa mittaushavaintoon ja/tai joihinkin havaintoihin vaikuttaviin suureisiin. Virheen syy on yleensä löydettävissä. Karkeat virheet johtuvat yleensä erehdyksistä, viallisista kojeista tai poikkeuksellisista olosuhteista. Karkea virhe vaikuttaa vain yksittäisiin havaintoihin ja sillekin on yleensä löydettävissä jokin syy. Nämä virheet pyritään huomaamaan jo mittausvaiheessa ja ne poistetaan mittaustuloksista viimeistään mittaustulosten käsittelyssä. Tarvittaessa mittaus suoritetaan uudelleen. Satunnaiset virheet näkyvät vaihteluina mittaustuloksissa, kun mittauksia toistetaan. Niille ei löydetä mitään erityistä syytä.

Niiden vaikutusta havaintoihin ei voida ennustaa eikä virheiden satunnaisuudelle ole olemassa määritelmää. Satunnaisia virheitä voidaan kuitenkin hallita, koska niiden suuruusluokka tulee esille mittauksia toistamalla. (Laurila 2010, 33–35.)

### 3.3 Virheolettamukset

”Mittausten virheiden arviointi perustuu osaksi todennäköisyyslaskentaan, sen teoreettisiin olettamuksiin ja laskentamenetelmiin ja osaksi tilastomatematiikan kokeellisiin menetelmiin. Tämä kokonaisuus ei toimi ilman oletuksia. Erityisesti sijaintimittauksiin sovelletut yleiset virheolettamukset ovat seuraavat:

- Tunnetut suureet, esim. mittauksen lähtöpisteiden koordinaatit ja korkeudet ovat virheettömiä.
- Havainnoissa ei ole systemaattisia eikä karkeita virheitä.
- Havainnoissa on vain satunnaisia virheitä.
- Satunnaiset virheet ovat normaalijakautuneita oikean suureen arvon ympärille”. (Laurila 2010, 34.) (Kuvio 1).



Kuvio 1. Normaalijakauman tiheysfunktio. Mittausten toistossa ilmenevää vaihtelua kuvaa normaalijakauman tiheysfunktio. Se on matemaattinen malli, joka kertoo, että suurin osa havainnoista sijoittuu lähelle suureen oikeaa arvoa ( $\mu$ ). Vaihtelun matemaattinen kuvaaminen mahdollistaa täsmällisten todennäköisyyksien liittämisen virhearviointiin. Keskihajonta ( $\sigma$  tai  $s$ ) kuvaa havaintojen vaihtelun eli satunnaisten virheiden keskimääräistä suuruutta 68 %:n todennäköisyydellä. Keskihajontaa käytettäessä arvioitu virhe ilmoitetaan  $1\sigma$ -tasolla. Virhe voidaan ilmoittaa myös  $2\sigma$ -tasolla, jolloin arvioon liittyvä todennäköisyys on 95 %. (Laurila 2010, 34.)

### 3.4 Satunnaisten virheiden arviointi toistomittauksissa

Satunnaisten virheiden suuruutta voidaan hallita teoreettisesti ja matemaattisesti analysoimalla toistossa ilmenevää vaihtelua silloin, kun havainnoissa on vain normaalijakautuneita satunnaisia virheitä. ”Satunnaisten virheiden keskimääräinen suuruus ilmoitetaan keskihajonnan avulla. Keskihajonta on tärkeä tarkkuuden tunnusluku. Mittaustekniikassa keskihajontaa kutsutaan myös keskivirheeksi. Keskihajonnan symboli on kreikkalaisten aakkosten sigma ( $\sigma$ ), kun ajatellaan hajonnan oikeaa teoreettista arvoa. Jos taas ajatellaan hajonnan havainnoista johdettua arvoa, on symboli s-kirjain.” (Laurila 2010, 33, 35.)

”Jos jokin suure on havaittu  $n$  kertaa ja havaintoarvot ovat  $l_1, l_2, \dots, l_n$ , mittausulos lasketaan havaintojen keskiarvona kaavalla

$$\hat{x} = \frac{\sum \ell_i}{n}. \quad (2)$$

(Laurila 2010, 35)

Keskiarvo on suureen oikean arvon estimaatti eli arvio. Sen suhteen lasketaan näennäiset virheet, joita kutsutaan myös jäännösvirheiksi, kaavalla

$$v_i = \text{havaittu arvo} - \text{havaintojen keskiarvo}. \quad (3)$$

Havaintosarjan keskihajonta lasketaan näennäisistä virheistä kaavalla

$$s = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}}. \quad (4)$$

”Tämä on arvio tehdyn havaintosarjan yksittäisen havainnon satunnaisten virheiden suuruudesta 68 %:n todennäköisyydellä. Tällä tavoin laskettu keskihajonta kertoo siis yksittäisen havainnon tarkkuuden.” (Laurila 2010, 35.) Laskemalla keskihajonta saadaan mittauksille keskimääräinen vaihteluväli. Se rajaa jakaumasta 68 % alueen. 68 % mittauksista jää virherajan sisään, mutta mittauksessa voi olla 32 % rajausta suurempia virheitä. (Laurila 2011.)

Havaintosarjan keskiarvo on kuitenkin tarkempi kuin havaintosarjan yksittäinen havainto. Tätä mittausten toistoon perustuvaa tarkentumista kuvaa keskiarvon keskihajonta, joka lasketaan kaavalla

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Keskiarvon keskihajonta kertoo havintosarjasta saadun yksittäisen mittaustuloksen arvioidun tarkkuuden 68 %:n todennäköisyydellä, kun tulos laskeaan  $n$  havainnon keskiarvona, ja se osoittaa, että mittaustulos tarkentuu toisossa. Keskihajontaan liittyvä 68 %:n todennäköisyys perustuu normaalijakauman ominaisuuksiin. (Laurila 2010, 35–36.)

### **3.5 Satelliittipaikannuksen tarkkuus**

Satelliittipaikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat monet tekijät. Mittaustapa ja siihen liittyvät havintosuureet määrittävät tarkkuustason. Maapallo ja Maan pinnalla oleva havaintolaite pyöriävät kaiken aikaa Maan akselin ympäri ja liikkuvat satelliittien suhteen. Samoin satelliitit liikkuvat radoillaan noin 4 km/s. (Laurila 2010, 311.)

Jatkuva paikannusjärjestelmän liikkeiden hallinta on mahdollista tarkan ajanmittauksen ja satelliittien paikannussignaalin mukana lähettämien ratatietojen avulla. Ratatietojen perusteella satelliitin paikka kiertoradalla tiedetään muutaman metrin tarkkuudella. Kaikkein tarkimmissa mittauksissa satelliitin paikka voidaan määrittää muutaman senttimetrin tarkkuudella jälkilaskennan avulla. Satelliittigeometria eli satelliittien lukumäärä ja niiden sijainti havaintolaitteeseen nähden vaikuttaa mittaustuloksiin. (Laurila 2010, 311.)

Paikannussignaalin kulkunopeus riippuu ilmakehän tilasta. Maasta 100–400 km:n korkeudella olevassa ionosfäärissä esiintyy voimakkaita sähkömagneettisia ilmiöitä, jotka johtuvat Auringon hiukkasvirtauksista, aurinkomyrskyistä. Näistä aiheutuu ilmakehään sähköisesti varautuneita hiukkasia ja sähkömagneettisia kenttiä. Niillä on vaikutusta pitkäaaltoiseen säteilyyn, jota käytetään satelliittipaikannuksessa. Ne vaikuttavat satelliiteista tulevien sähkömagneettisten signaalien kulkuaikaan. (Laurila 2012.)

Mittauskojeeseen tuleva signaali on voinut heijastua esim. vedestä, rakennuksesta tai autosta eli on tapahtunut ns. monitieheijastus. Tämä voi aiheuttaa karkeita virheitä. Suhteellisen paikannuksen vaihehavainnoissa monitieheijastukset aiheuttavat muutamien senttimetrin suuruusluokkaa olevia virheitä. Mittaustuloksiin voivat aiheuttaa virheitä myös vastaanottimen vir-

heellisesti toimivat ohjelmistot tai mittaja käyttää ohjelmistoja tai laitteita virheellisesti. (Laurila 2010, 311,313, 315.)

Mikäli havaintolaitteen ympäristössä ei ole esteitä, käytettävissä on aina 4–6 satelliittia. Niiden tulisi olla sijoittuneina avaruuteen eri puolille ja etenkin korkeustarkkuuden kannalta olisi edullista, jos yksi satelliitti olisi pystysuoraan havaintolaitteen yläpuolella eli zenitissä. Lähellä horisonttia olevan satelliitin lähettämään signaaliin ilmakehän aktiivisuus vaikuttaa enemmän kuin ylhäällä olevan satelliitin signaaliin, koska se kulkee pitemmän matkan ilmakehässä. Tästä johtuen satelliittien tulee olla yli  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$  havaintolaitteen horisontin yläpuolella. Tätä rajakulmaa sanotaan katkaisukulmaksi. (Laurila 2010, 313.)

Satelliittigeometrian vaikutusta mittaustarkkuuteen kuvataan laskennallisesti DOP-lukujen (Dilution of Precision) avulla, joka tarkoittaa tarkkuuden heikentymistä. DOP-luvuilla määritetään teoreettista paikannustarkkuutta. Tärkeimmät DOP-luvut ovat HDOP (Horizontal Dilution of Precision), joka on tasotarkkuuden epävarmuus, VDOP (Vertical Dilution of Precision) on korkeustarkkuuden epävarmuus ja PDOP (Position Dilution of Precision) on paikannuksen eli taso- ja korkeustarkkuuden yhdistetty epävarmuus. DOP-luvuille ei ole tarkkoja raja-arvoja. Sääntönä kuitenkin on, että jos ne ovat selvästi alle viisi, mittaustilanne on hyvä, mutta jos ne ovat yli 10, mittaustilanne on huono. (Laurila 2010, 313–314).

#### 4 MITTAUSLUOKAT

Kartoitettavien kohteiden tarkkuusvaatimukset on esitetty Maanmittauslaitoksen julkaisun nro 85 Kaavan pohjakartta 1997 karttakohdemallissa ja julkaisussa nro 94 Kaavoitusmittausohjeet. Näissä pohjakartalla esitettävien kohteiden sijaintitarkkuus ilmoitetaan määrittelyn pistekeskivirheenä kohdetyypeittäin määrittelyn perustana olevien kiintopisteiden suhteen.

Kartoitusalueet jaetaan kolmeen mittausluokkaan, jotka määräävät mittaus- ja kuvaustarkkuuden. Mittausluokkaan 1 kuuluvat taajama-alueet, joilla maa on erittäin arvokasta, rakennusoikeudet suuria ja yhdyskuntarakenne kaupunkimaista. Alueille laadittavissa kaavoissa on sitova tonttijako. Kartan mittakaava on 1:500 tai 1:1000. (Maanmittauslaitos 2003, 5.)

Tarkempaa vaatimustasoa, mittausluokkaa 1e, suositellaan käytettäväksi, jos karttatietokantaa on tarkoitus käyttää osana kunnan maastotietojärjestelmää ja hyödyntää suurta tarkkuutta edellyttävässä teknisessä suunnittelussa. (Maanmittauslaitos 2003, 5.)

Mittausluokkaan 2 kuuluvat taajama-alueet, joilla maa on arvokasta, rakentaminen pientalovaltaista, mutta suhteellisen intensiivistä. Näille alueille laadittavissa asemakaavoissa on yleensä ohjeellinen tonttijako. Näitä alueita ovat pienempien kuntien keskusta-alueet ja muut taajamat. Näihin kuuluvat myös loma-asumista tarkoittavat kaava-alueet, joille suunnitellaan runsaasti rakennusoikeutta. Kartan mittakaava on 1:1000 tai 1:2000. (Maanmittauslaitos 2003, 5.)

Mittausluokkaan 3 kuuluvat muut alueet, joille laaditaan yleiskaavaa yksityiskohtaisempi, mutta vain vähäistä rakennusoikeutta tarkoittava kaava. Nämä voivat olla alueita, joille laaditaan ranta-asemakaava, kaatopaikka-alueet ja muut erityisalueet, joiden kaavoittaminen ei edellytä kunnallisteknisen rakentamisen suunnittelua. Kartan mittakaava on yleensä 1:2000. Tässä mittausluokassa on esitetty väljemmät tarkkuusvaatimukset 1:5000-mittakaavaisia karttoja varten. (Maanmittauslaitos 2003, 5.)

Numeerisella kartalla ei ole mittakaavaa, mutta mittakaavalla voidaan kuitenkin kuvata tiedon tarkkuutta. Näin ollen kerätyn tiedon tarkkuus vastaa tietyn mittakaavan mukaista karttaa. (Maanmittauslaitos 2003, 5.)



Siilinjärven kunnan kartastotöissä toimitaan mittausluokassa 2. Alan tekninen kehitys on nopeaa, eikä ohjeistus kata nykypäivänä käytettävissä olevia menetelmiä. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan noin vuosi sitten hankitun kämmenmikron paikannustarkkuutta, kuinka se sijoittuu voimassaolevien ohjeiden tarkkuusvaatimuksiin.

Tutkimuksen jälkeen paikannuslaitteella on tarkoitus kerätä maastokäyneillä tietoa pohjakartalle kohteista, joiden sijaintitarkkuusvaatimukset ovat väljät. Näitä kohteita ovat esimerkiksi metsän reuna, hakkuuaukko, polku ja epä-määräinen rantaviiva. Tämän vuoksi testialueisiin otettiin mukaan myös erikoisalueita, joissa satelliitivastaanottimella Trimble® R8 GNSS on vaikeuksia saada ja säilyttää yhteys satelliitteihin. Näillä katveisilla alueilla takymetrimittaus on hidasta, koska mittauksen orientointiin tarvittavat kiintopisteet ovat kauempana avarammalla alueella, ja kartoitustyön aikana joudutaan mittaamaan paljon apupisteitä. Erilaisia mittaustapoja käyttämällä haluttiin saada selville niiden vaikutus mittaustuloksiin.

Taulukossa 1 on esitetty tässä opinnäytetyössä mitattujen kohteiden tarkkuusvaatimukset. Ahmon nurmen reuna luokiteltiin maastokuvion reunaksi ja hautausmaan sorakäytävän reuna päällystämättömäksi kevytväyläksi. Juoksuhaudan mittaustuloksia arvioitiin polun virherajojen mukaisesti.

Taulukko 1. Opinnäytetyössä mitattujen kohteiden Kaavoitusmittausohjeiden mukaiset pistekeskivirheet.

Mittausluokka	1e	1	2	3	3
Kohde				Mittakaava	
				1:2000	1:5000
Kevytväylä					
-päällystämätön	0.5	1.0	1.5	3.0	5.0
-polku	1.0	2.0	3.0	5.0	20.0
Maastokuvion reuna					
-yksikäsitteinen	1.0	2.0	2.0	3.0	10.0
Puu	0.7	1.5	2.0	3.0	10.0
Pylväs	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0

## 5 KÄMMENMIKRO GEOEXPLORER GEOXH 6000 SERIES

Kämmenmikrossa Trimble® GeoExplorer® GeoXH™ 6000 Series on sisäänrakennettuina kaksitaajuuksinen GNSS-antenni ja -vastaanotin, joka hyödyntää paikannussatelliittien lähettämien paikannussignaalien sisältämiä kantaaltoja L1 ja L2. Laite havainnoi myös useita paikannuskoodeja, joilla kantaaltoja on moduloitu. Näitä paikannuskoodeja ovat siviilikäyttöön tarkoitettu C/A ja tätä uudempi siviilikoodi C. (Liite 1).

Laitteen näytöltä nähdään, kuinka moneen satelliittiin se on kiinnittynyt. Laite käyttää hyödykseen myös Trimblen kehittämää seurantamenetelmää L2E, jonka avulla voidaan mitata P-koodattua L2-signaalia. (Mäenpää 2012a.) Viime vuosiin asti siviilikäytön paikantimet ovat osanneet muodostaa saman C/A-koodin kuin satelliitti, mutta ne eivät ole osanneet muodostaa P-koodia. Mittauksen aikana havaintosuureet kohdistuvat antennin vaihekeskipisteseen. Eri taajuuksilla ne ovat eri paikoissa. (Laurila 2010, 321.)

Laitteen valmistaja on ilmoittanut sen tarkkuudeksi 0.1 m VRS-verkon tarkkuudella reaaliajassa tai jälkilaskennalla. Annettuun tarkkuuteen liittyy 68 %:n todennäköisyys eli annetun tarkkuuden pitäisi toteutua 68 %:ssa mittauksista. (Mäenpää 2012b.)

Kämmenmikron näyttämä tarkkuus on estimaatti eli arvio. Laite ratkaisee sen signaalin laadusta, johon vaikuttavia tekijöitä ovat mm. maasto-olosuhteet, satelliittigeometria ja satelliittien lukumäärä. Paikannuslaitteen 0.1 m:n tarkkuuden taustalla on malli, joka perustuu koodiratkaisuun. Kun laitteen näyttämä tarkkuus on muutamia kymmeniä senttimetrejä, ratkaisu perustuu vaiheratkaisuun. Kun tarkkuus alkaa olla puolen metrin luokkaa tai sitä suurempi, ratkaisu perustuu C/A-koodin käyttöön, jolloin mittauksen lopputulos on häilyvämpi. (Mäenpää 2012b.)

Havaintojen tallennusvälinä käytettiin pelkästään 1 havainto/s. Muita vaihtoehtoja ovat 1 havainto/5 s sekä vapaasti valittavissa oleva tallennusväli. Koska laitteessa on sisäänrakennettu antenni ja vastaanotin, mittaja ei voi nähdä niiden fyysisiä sijaintipaikkoja. Todennäköisesti ne ovat noin 25 mm laitteen etuosasta mitattuina. Laitteessa ei ole tasainta eli kuplaa, joten sitä ei voida keskistää eikä tasata mitattavan pisteen päälle ilman sauvaa, johon se

voidaan tukevasti kiinnittää. Myöskään mitattava piste ei ole mittauksen aikana näkyvissä. Mitattaessa samaa pistettä useita kertoja se on eri kerroilla eri paikassa laitteen alla.

Kämmenmikron etuosassa on viiden megapikselin kamera. Tämän opinnäytetyön valokuvat on otettu tällä kameralla lukuunottamatta juoksuhaudan kuvaa kuviossa 23.

## 6 LÄHTÖPISTEET

Kämmenmikron GeoXH 6000 Series testausalueita oli yhteensä kuusi. Viidelle näistä rakennettiin kolme lähtöpistettä. Niitä käytettiin takymetrin orientointiin, kun sillä mitattiin testipisteille koordinaatit opinnäytetyön alkuvaiheessa. Niitä tarvittiin myös testausvaiheen päätyttyä, kun kontrolloitiin, ovatko testimerkit pysyneet testauksen ajan paikoillaan.

Lähtöpisteinä käytettiin etupäässä asfalttiin, kiviin ja puupaaluihin laitettuja asfalttinauloja. Lähtöpisteiden koordinaatit mitattiin Trimble® R8 GNSS-satelliittivastaanottimella, joka hyödyntää kaikkia GNSS-signaaleja. Laite toimii VRS-verkossa sen tuottamalla tarkkuudella. Vastaanottimen staattinen tasotarkkuus on  $\pm 3 \text{ mm} + 0.1 \text{ ppm}$  (Geotrim Oy 2012b).

Lähtöpisteen koordinaattien mittauksen ajaksi pisteen päälle pystytettiin kolmijalalle satelliittivastaanotin R8 GNSS. Jokaista pistettä havaittiin vähintäänkin kolme 600:n epookin havaintojaksoa. Jokaisen jakson alussa koje alustettiin uudelleen, mitattiin sen antennikorkeus ja tarkastettiin, että vastaanotin oli pisteen päällä. Saadut mittaustiedot tarkastettiin jokaisen havaintojakson päätyttyä. Jokaiselle lähtöpisteelle haluttiin saada kolme havaintoa, jotka poikkeavat toisistaan korkeintaan 20 mm.

Lähtöpisteiden havaintojaksoista saaduista koordinaateista laskettiin xyz-koordinaattien keskiarvot ja jokaiselle koordinaatille laskettiin residuaalit eli jäännösvirheet vähentämällä havaitusta arvosta havaintojen keskiarvo. Tämän jälkeen saaduille jäännösvirheille laskettiin neliöt. Neliöiden summasta laskettiin koordinaattien keskihajonta-arvot ja niistä edelleen koordinaattien keskiarvon keskihajonnat.

Jokaista R8 GNSS-satelliittivastaanottimella mitattua yksittäistä koordinaattia tarkasteltiin siten, että sen jäännösvirhe sai olla korkeintaan 3 x keskiarvon keskivirhe. Yksi Harjamäen havainto jouduttiin tarkastelussa hylkäämään karkeana virheenä. Pisteestä oli tehty viisi havaintojaksoa, joten sen koordinaatit laskettiin neljän havaintojakson perusteella.

## 7 VERTAILUKOORDINAATIT

### 7.1 Vertailukoordinaattien kartoitus ja kontrollimittaukset

Testausalueiden lähtöpisteet rakennettiin siten, että testattavat kohteet sijaitsivat lähtöpisteiden muodostaman kolmion sisällä. Testipisteille kartoitettiin vertailukoordinaatit robottitakymetrillä Trimble® S6 kahdelta vapaalta asemapisteltä. Niiden mittaamisessa suunnat otettiin kaikilta kolmelta lähtöpisteeltä kahdessa kojeasennossa. Kyseisen takymetrin kulmamittauksen tarkkuus on 5" ja prismamittauksen tarkkuus etäisyyden vakiomittauksessa on 2 mm+2 ppm (Geotrim Oy 2012c).

Vertailukoordinaatit mitattiin kahdessa kojeasennossa kahdelta vapaalta asemapisteltä. Näistä mittaustuloksista testipisteille laskettiin keskiarvokoordinaatit saman periaatteen mukaisesti kuin lähtöpisteiden koordinaatit.

Jokaisella GeoXH-mittauskäynnillä testipisteiden välit tarkastettiin mittanauhalla ennen mittausten aloittamista. Kämmenmikrolla tehtyjen testimittausten päätyttyä testipisteille tehtiin kontrollimittaukset robottitakymetrillä.

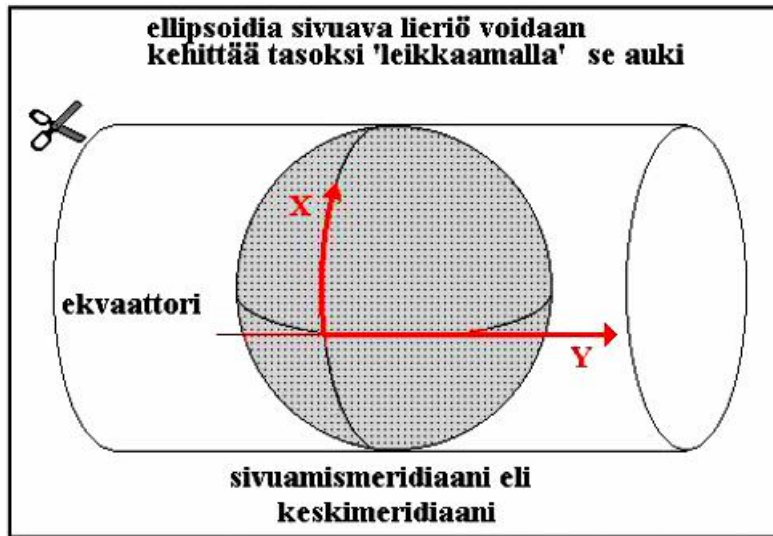
### 7.2 Takymetri- ja satelliittimittauksen ero

Takymetrin toimintaperiaate on erilainen satelliittimittauksiin verrattuna. Takymetrimittaukset tehdään Maan pinnan tasolla suorakulmaisessa koordinaattijärjestelmässä. Suomessa on ollut käytössä kansallinen KKJ-koordinaattijärjestelmä. GPS-järjestelmän yhteydessä käytetään globaalia, geosentristä WGS84-koordinaattijärjestelmää. Geosentrisen koordinaatiston origo sijaitsee Maan painopisteessä. Suomessa ollaan siirtymässä eurooppalaiseen ETRS89-järjestelmään, jonka suomalaista realisaatiota kutsutaan EU-REF-FIN-järjestelmäksi. (Laurila 2010, 130, 147–148.)

Takymetrillä mitataan suuntia eli vaaka- ja pystykulmia sekä etäisyyksiä. Näistä perushavainnoista lasketaan koordinaatit ja korkeudet välillisesti. Takymetrin etäisyydenmittaus on elektro-optinen, jossa etäisyys määritetään laitteen lähettämän ja mittauspisteellä olevasta prismasta takaisin heijastuneen signaalin vertailun perusteella. (Laurila 2010, 223, 235.)

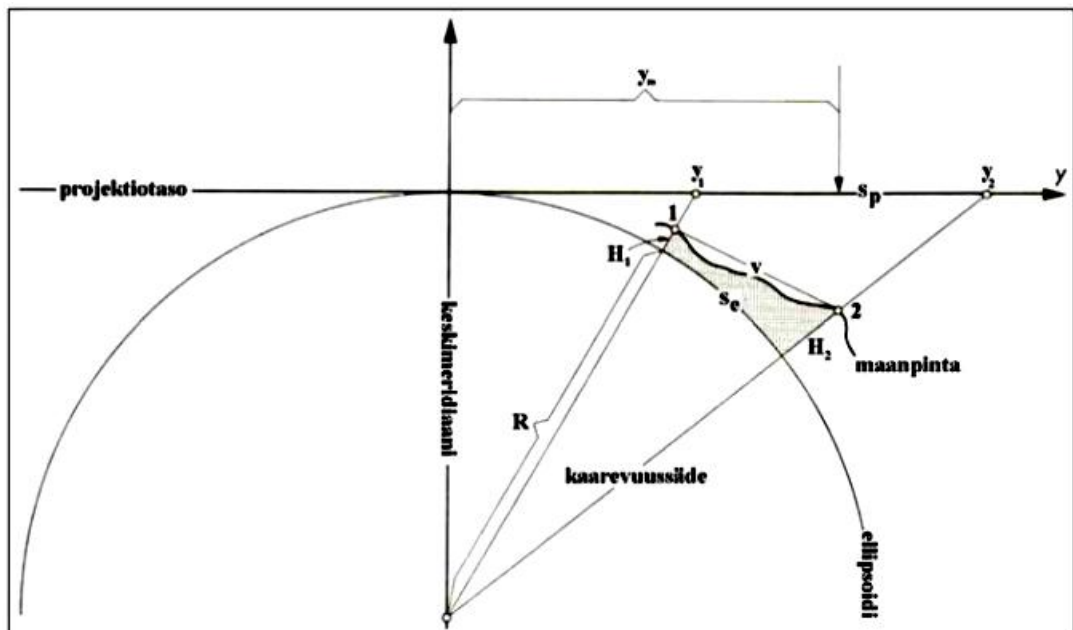
Kartografiassa hallitaan kuvan avulla kohteen geometriaa ja mittoja. Pallopinnalla sijaitsevien kohteiden esittämiseen kartoilla tarvitaan määrättyjä pro-

jektioita. Projektio on kappaleen tasokuva. Suomen kartastotöissä on käytetty poikittaisasentoisia Mercatorin projektioita (kuvio 2). (Laurila 2010, 131, 138.)



Kuvio 2. Poikittaisasentoinen Mercatorin projektio. Tässä projektiossa päiväntasaaja ja sivumismeridiaani kuvautuvat suorina viivoina. Niitä käytetään suorakulmaisen koordinaatiston akseleina. (Laurila 2010, 138.)

Takymetrimittauksissa Maan pallomuotoisuus joudutaan huomioimaan, koska ne tehdään Maan pinnalla ja tasokoordinaatit eli pisteiden xy-koordinaatit lasketaan projektiotasolla. Pisteiden välinen etäisyys riippuu korkeustasosta ja pinnasta, jolla sitä tarkastellaan. (Laurila 2010, 258.) (Kuvio 3).



Kuvio 3. Etäisyyden mittausten laskennassa käytetyt suureet, kun projektiona on poikittaisasentoinen lieriöprojekti (Ternryd–Lundin 1970, 62). (Laurila 2010, 258).

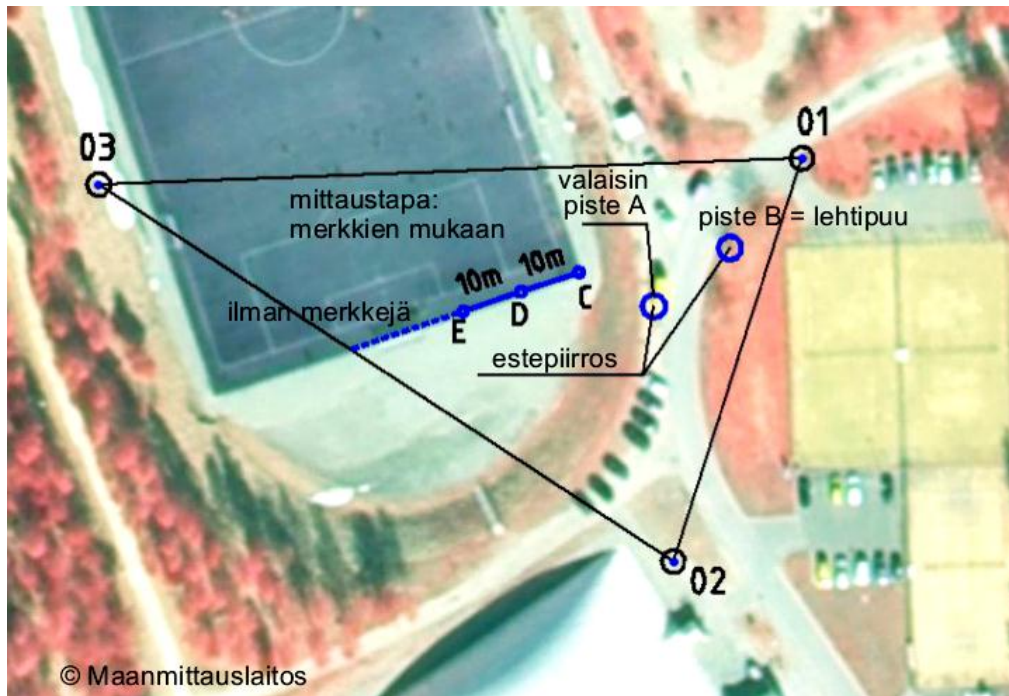
Maanpinnalla mitattuun vinoetäisyyteen ( $v$ ) tehdään ensin sääkorjaus ja korjaus havaintopaikan vaakatasoon ( $s$ ). Sen jälkeen etäisyys korjataan ellipsoidipinnalle ( $s_e$ ) ja lopuksi projektiotasolle ( $s_p$ ). Vasta projektiotasolle redukoituja eli korjattuja etäisyyksiä voidaan käyttää koordinaattien laskemiseen suorakulmaisessa koordinaatistossa. (Laurila 2010, 258–259.)

Tässä opinnäytetyössä takymetrin laskenta-asetuksien avulla kaikki koordinaatit projisoituivat karttaprojektion tasolle. Asia varmistettiin Geotrimin Teknisestä tuesta. Myös satelliittivastaanottimen R8 GNSS ja GeoXH:n asetukset oli asetettu niin, että niillä mitatut koordinaatit projisoituivat suoraan projektiotasolle. (Immonen 2012.)

## 8 TESTAUSALUEET

### 8.1 Ahmo

Ahmon urheilualueella kirkonkylän keskustassa testattiin GeoXH:n mittaus-tarkkuutta mahdollisimman avaralla paikalla (kuvio 4). Siellä testikohteina olivat valaisinpylväs, lehtipuu ja nurmikon reuna (kuviot 5 ja 6). Valaisimen ja lehtipuun kohdalta tehtiin bussoli- ja klinometrimittaukset, joista työstettiin estepiirroksat satelliittigeometrioiden tutkimista varten.



Kuvio 4. Ahmon urheilualueen työsuunnitelmakartta.

Valaisinta ja lehtipuuta mitattiin kesän aikana kuudella käyntikerralla. Niiden mittauksissa käytettiin kaikkia kolmea mittausmoodia ja useita eri mittaustapoja. Mittaukset aloitettiin aina pistemittauksena siten, että mittausmoodiksi valittiin piste ja valaisimen tai puun ympäri kierrettiin laitteen kanssa. Toisessa mittauksessa laitetta kierrätettiin kohteen ympäri paikallaan seisoen. Näissä kummassakin mittaustavassa mittauksena saadaan kartalla näkyvä piste. Kun jatkossa puhutaan yhden pisteen mittauksista, tarkoitetaan näitä mittaustapoja.

Kolmas pistemittaus tehtiin kolmella tai neljällä pistemittauksella tasaisin välein kohteen ympärillä. Jokaista pistettä mitattaessa laitetta pidettiin paikallaan niin kauan, että se oli tehnyt vähintäänkin 20 havaintoa. Paikannuslaite



oli joko mittaajan kädessä valaisinpylväessä kiinni 0.93 m:n korkeudella tai valaisimen juuressa olevalla sementtijalustalla.



Kuvio 5. Ahmon valaisin ja lehtipuu.

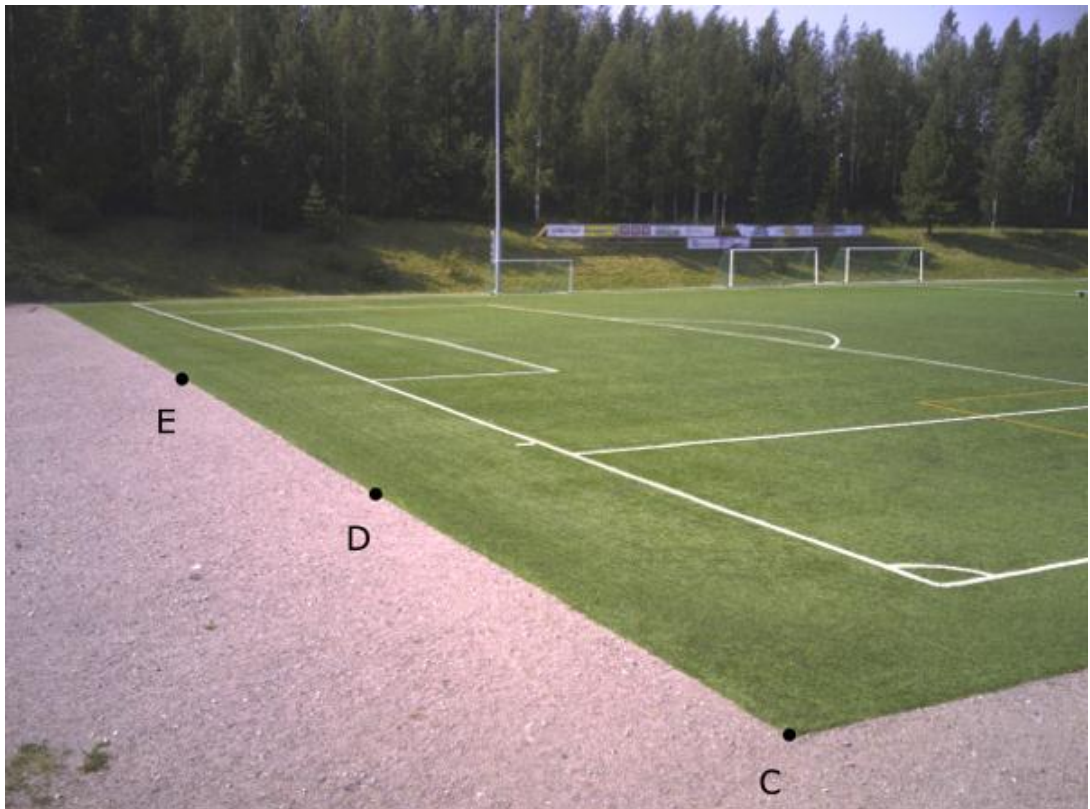
Ahmon lehtipuu mitattiin pistemoodissa kerran niin, että laite oli maassa ja sen etuosa oli puolen metrin päässä puun rungosta, muulloin sitä pidettiin aina kädessä noin 1.10 m:n korkeudella. Laitevalmistaja ei suosittele mittaamaan GeoXH:lla maanpinnasta. Tällä kertaa se tehtiin testausmielessä.

Pistemäisen kohteen neljällä pisteellä tehdyissä mittauksissa oli tarkoituksena, että toimistossa tiedonsiirron jälkeen kohteen vastakkaisilta puolilta mitatut pisteet yhdistetään viivalla toisiinsa ja mitataan viivan keskipisteen paikka. Mitattaessa kohde neljällä pisteellä saadaan kaksi janan keskipistettä. Näiden lisäksi saadaan janojen yhteinen leikkauspiste.

Kolmella pisteellä tehtyjä pistemäisen kohteen mittauksia oli tarkoitus tutkia siten, että lasketaan valaisimesta ja puusta ympärysmittan perusteella kohteen säde ja lisätään siihen mahdollinen laitteen etäisyys kohteen pinnasta. Tätä mittaa ympyrän säteenä käyttäen piirretään jokaisen mittaustulokseksi saadun pisteen ympärille ympyrä. Ihannetapauksessa kolmen ympyrän kaarien pitäisi leikata toisensa vertailupisteen kohdalla.

Pistemittausten jälkeen kohteet mitattiin kolme kertaa viivamoodissa. Laitteen kanssa joko kierrettiin tai sitä kierrätettiin kohteen ympäri. Osassa mittauksista laitteen etuosa oli kohti mitattavaa kohdetta, osassa se oli menosuuntaan päin. Lopuksi valaisin ja lehtipuu mitattiin kolmeen kertaan aluemoodissa samoin kuin viivamoodissa. Näiden molempien moodien käytön tarkoituksena oli tutkia mittaustulokseksi saatavan alueen ja viivan taitepisteiden koordinaateista lasketun keskipisteen paikan etäisyyttä vertailupisteestä. Joillakin kerroilla aluemittaus lopetettiin esim. 50 mm ennen sen aloituspistettä. Tällä mittaustavalla haluttiin tutkia, onko alueen sulkeutumiskohta tasaisempi kuin jos alku- ja loppupiste ovat samassa paikassa.

Jalkapallokentän reunaa käytiin mittaamassa kolme kertaa. Tekonurmen reunaan laitettiin 10 m:n välein kolme puupaalua, joihin piirrettiin testimerkit. Nämä mitattiin pistemoodissa jokaisella mittauskäynnillä kolmesti. Jokaisen mittauksen pituus oli vähintäänkin 20 havaintoa.



Kuvio 6. Ahmon nurmen reuna.

Nurmen reunaa mitattiin myös viivamoodissa siten, että käsipaikanninta kuljetettiin mahdollisimman tarkasti puupaalujen yli ja mittausta jatkettiin ilman paaluja noin 20 metriä eteenpäin. Tarkoitus oli tutkia, onko mittaustavan

muutoksella vaikutusta viivamittauksen mittaustuloksiin. GeoXH-mittauksissa käytettiin kaikilla testausalueilla apuna rasiatasaimella varustettua kartoitus-sauvaa, johon paikanninta ei ollut mahdollista kiinnittää.

## 8.2 Harjamäki

Harjamäen harjualueella käsipaikantimella mitattiin polun keskilinjaa (kuvio 7). Tällä alueella harvahkon männikön latvukset ja etenkin varjot peittävät ilmalokuvissa maanpinnan näkyvyyden ja tekevät stereokuvatulkinnan mahdottomaksi. GeoXH:n mittaustarkkuutta testattiin mäntymetsässä kolmen puupaalun ja vapaan mittaussosuuden avulla vastaavalla tavalla kuin Ahmolla tekonurmen reunaa. Tälle alueelle tehtiin kolme mittauskäyntiä.



Kuvio 7. Harjamäen työsuunnitelmakartta.

### 8.3 Hautausmaa

Viinamäen hautausmaa sijaitsee Siilinjärven keskustassa mäen rinteessä, joka nousee etelästä pohjoiseen ja idästä länteen mentäessä. Alueella on paljon puustoa, erityisesti isoja kuusia, eikä alueen stereokartoitus onnistu lainkaan (kuvio 8). Kolmas lähtöpiste oli tarkoitus rakentaa lähemmäksi testausaluetta. Siellä satelliittipaikantimen R8:n alustus onnistui yhden kerran, mutta se menetettiin pian. Tämän jälkeen alustusta ei enää saatu, ja lähtöpiste jouduttiin sijoittamaan alueen eteläosaan aukeammalle paikalle.

Tällä alueella valaisinpylväs ja lehtipuu edustivat pistemäisiä kohteita kuusimetsässä. Puupaalu- ja vapaan osuuden mittaukset tehtiin sorakäytävän reunassa aivan samoin kuin Ahmolla ja Harjamäessä. Paalumittauksessa käytetyn sorakäytävän toisella puolella olevaa nurmialuetta mitattiin sekä piste- että aluemoodissa yhteen kertaan jokaisella kolmella käyntikerralla. Muut kohteet mitattiin jokaisella mittauskäynnillä kolmesti.

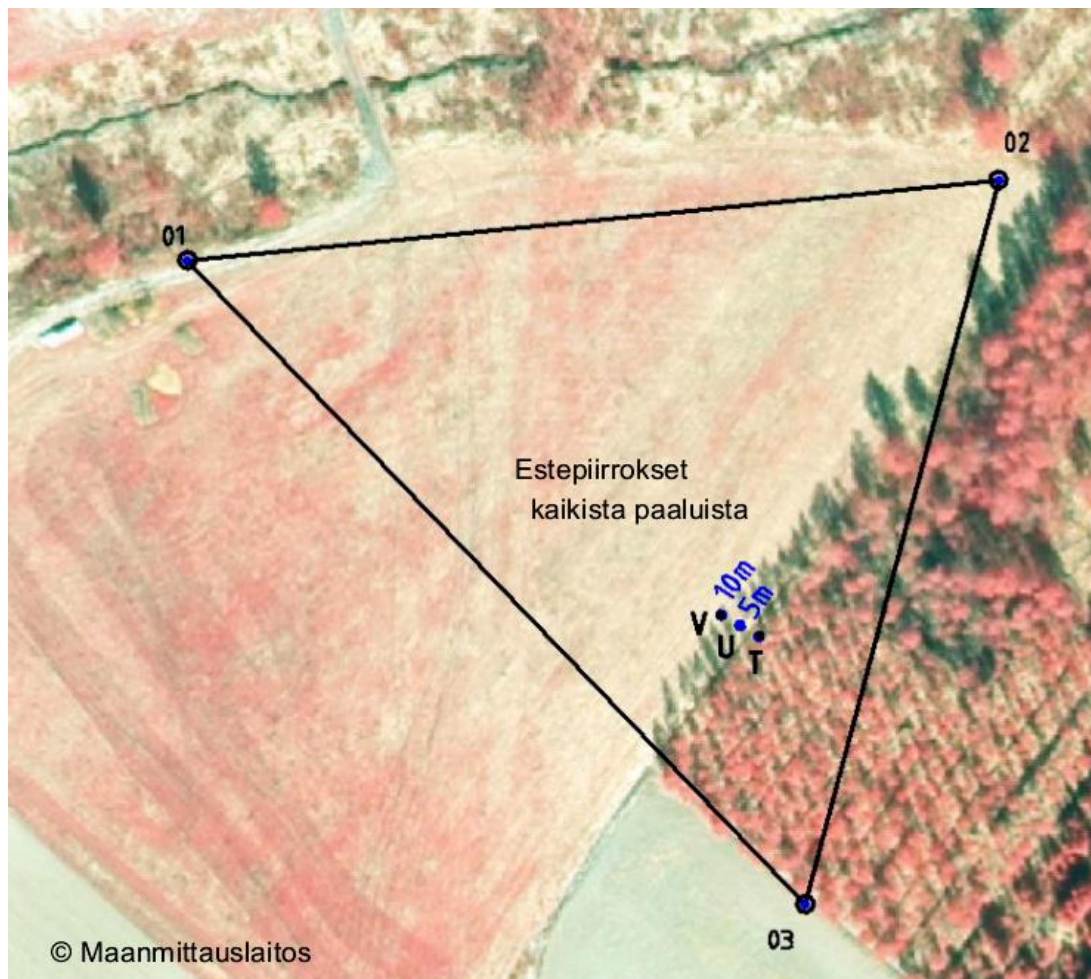


Kuvio 8. Viinamäen hautausmaan työsuunnitelmapakartta.

## 8.4 Kasurila

Kirkonkylästä etelään sijaitsevan Kasurilan kaava-alueen läheisyydessä pelon ja metsän rajassa testattiin metsän vaikutusta mittaustuloksiin. Ensimmäinen puupaalu upotettiin maahan täysikasvuisen koivikon reunaan siten, että puun oksat peittävät etelän puoleisen näkyvyyden zeniittiin eli taivaan lakipisteeseen asti. Toinen paalu asetettiin ensimmäisestä paalusta viidenmetrin ja kolmas paalu 10 m:n päähän metsän reunasta (kuvio 9).

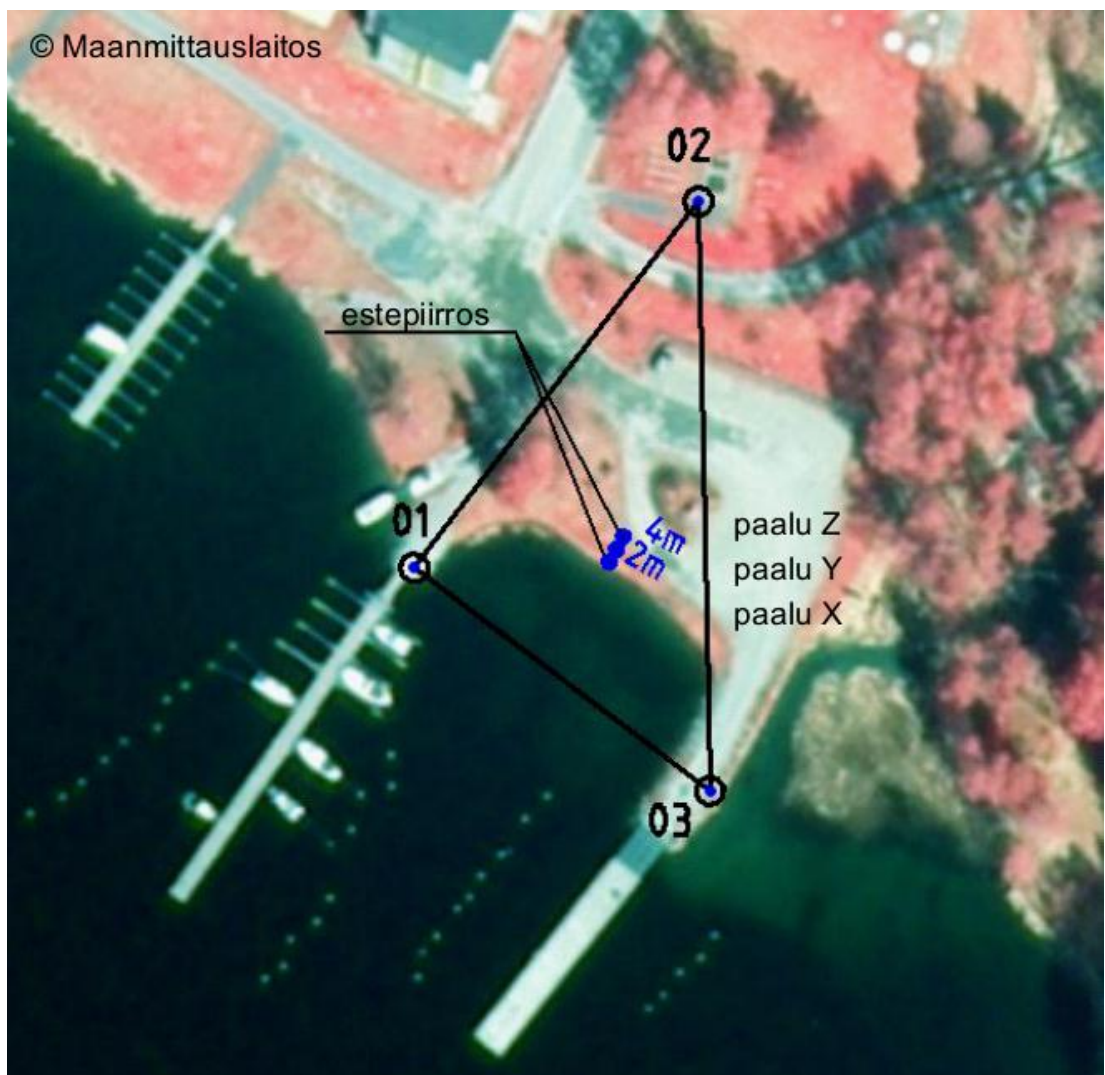
Kaikkien paalujen kohdista tehtiin estepiirrokset, jotta voidaan tutkia mittausten aikaisten satelliittigeometrioiden vaikutusta mittaustuloksiin. Testissä paaluja mitattiin pelkästään pistemoodissa niiden kaakkoispuolelta eli metsän suunnalta. Jokaisella kolmella käyntikerralla paalut mitattiin kolmeen kertaan.



Kuvio 9. Kasurilan työsuunnitelmapakartta.

## 8.5 Ranta

Siilinjärven eteläosassa sijaitsevan Vuorelan kuntoutumiskeskuksen rannassa testattiin veden vaikutusta mittaustuloksiin. Ensimmäinen paalu laitettiin veden rajaan, toinen kahden metrin ja kolmas neljän metrin päähän vesirajasta mantereelle (kuvio 10). Ennen testimittausten aloittamista tehtiin reunimmaisten paalujen kohdilta estepiirroksat. Tällä haluttiin varmistaa, että kaikki paalut ovat esteiden suhteen tasa-arvoisessa asemassa veden vaikutuksen selvittämiseksi.



Kuvio 10. Vuorelan rannan työsuunnitelmapakartta.

Alueelle tehtiin yhteensä seitsemän mittauskertaa, ja niillä jokainen paalu mitattiin pistemoodissa kolmesti. Paalut mitattiin niiden luoteispuolelta, jossa on isoja koivuja ja kaksi pleksipäällysteistä ilmoitustaulua. Tauluihin oli lähimmästä paalusta matkaa yli seitsemän metriä.

## 8.6 Juoksuhauta

Kuudentena testauspaikkana oli juoksuhauta Toivalassa. Se on Suininlahdentien pohjoispuolella hakkuuaukon takana olevan kuusikon sisässä (kuvio 11). Se on kartoitettu takymetrillä joitakin vuosia sitten. Tämän opinnäytetyön yhteydessä sitä ei kartoitettu uudestaan, vaan käsipaikantimella saatuja tuloksia verrattiin aikaisempaan kartoitukseen. Ensimmäisellä käyntikerralla juoksuhaudan taitepisteisiin laitettiin merkit, jotka mitattiin kolmesti piste- ja viivamoodissa kolmella eri mittauskerralla.



Kuvio 11. Juoksuhaudan testauspaikka Toivalassa. Juoksuhauta on hakkuuaukon takana kuusikon sisässä.

## 9 TUTKIMUSAINEISTO

Erilaisia mittausalueita ja -kohteita varten laadittiin omat **mittauspöytäkirjat**, joita täytettiin välittömästi jokaisen kohteen yksittäisen mittaus tapahtuman jälkeen. Pöytäkirjaan merkittiin mittausmoodi, **Stella-koodi**, kohteen mittaus tapa, mittauksen aikana laitteen näytöllä näkyneet sekä satelliittien lukumäärät että estimaatti paikannustarkkuudesta. Lisäksi siihen kirjattiin mittaus tapahtuman aikana mahdollisesti tehdyt muut havainnot. Liitteessä 2 on esimerkit kahdesta mittauspöytäkirjasta.

Kun mittaus tulokset siirretään GeoXH:lta toimistossa käytössä olevaan Stella-ohjelmaan, kaikki pisteet näkyvät tietokoneen näytöllä mustina pisteinä, viivamittaukset mustina viivoina ja alueet mustina sulkeutuvina viivoina. Jotta mittaus tulokset voidaan erottaa toisistaan, on kämmenmikrossa olevaan TerraSync-ohjelmaan laadittu eri käyttötarkoituksia varten **Stella-koodikirjastoja**. Esimerkiksi pohjakartan kohteiden mittaukseen käytetään tietynlaisia ominaisuustietoja, mutta kunnallistekniikan mittauksia tehtäessä tarvitaan toisenlaisia ominaisuustietoja ja nimikkeitä. Erilaisissa tehtävissä tarvittavat asiat on koottu omiksi koodikirjastoikseen.

Kun mittaus aloitetaan GeoXH:lla, valitaan sen näytöltä ensin mittausmoodi, ja, ennen mittaus tapahtuman lopettamista koodikirjastosta valitaan, mikä ominaisuus mittavalle kohteella annetaan. Tässä opinnäytetyössä pistemäisten kohteiden mittauksissa käytettiin ominaisuustietoja kaivo, rakennuksen nurkkapiste, valaisinpylväs ja iso kivi. Tiedonsiirron jälkeen laitettiin kartalle jokaiseen pistekohteeseen Stella-ohjelmalla ominaisuustiedon mukainen pohjakarttasymboli. Viivamittauksissa käytettiin ominaisuuksia: katos, rakennuksen seinälinja ja ojan pohja. Aluemoodimittausten ominaisuuksina olivat: silta reuna alue, laituri kevytrakenteinen ja ajorata reuna kestopäällystetty.

Lähtöpisteistä satelliittipaikantimella Trimble R8 mitatut eri havaintojen koordinaatit vietiin **Excel-taulukkoon**. Näiden mittaus tulosten käsittelystä on kerrottu luvussa 6 Lähtöpisteet. Valaisinpylväiden, lehtipuiden ja puupaaluissa olleiden testimerkkien vertailukoordinaatit laskettiin ja tarkasteltiin vastaavalla tavalla kuin lähtöpisteiden koordinaatit. Samaa menetelmää käytettiin myös maastotyövaiheen lopuksi tehdyissä kontrollimittauksissa, joita verrattiin työn alussa tehtyihin vertailumittauksiin.



GeoXH:n mittaustuloksista tehtiin useita laskentataulukoita. Jokaiselle GeoXH:lla maastossa mitatulle puupaalun testipisteelle sekä valaisinten ja lehtipuiden alue- ja viivamittausten keskipisteille annettiin mittauspöytäkirjaan Stella-koodin lisäksi juokseva numero, jotta mittaustulokset voitiin jälkikäteen yksilöidä. Nämä **yksilönumerot** näkyvät myös mittaustuloksista tehdyissä laskentataulukoissa ja kartoissa.

Tiedonsiirron jälkeen kartoista kerättiin taulukoihin pistekohteiden osalta xy-koordinaatit ja laskettiin niiden etäisyydet vertailukoordinaatteihin. Kaikkiin laskentataulukoihin poimittiin mittauspöytäkirjoista laitteen ilmoittamat satelliittien lukumäärät ja tarkkuuslukemat. Mittaustulosten analysointia varten taulukoihin laitettiin sarakkeet, joihin merkittiin, mihin Kaavoitusmittausohjeiden mukaiseen mittausluokkaan piste kuului. Pistemoodimittauksissa erottui kaksi mittaustapaa: toisessa paikannuslaite oli mitattavan pisteen ulkopuolella, toisessa mitattavan pisteen päällä.

Ahmon ja hautausmaan valaisinten ja lehtipuiden laskentataulukot muokattiin näiden kohteiden mittauspöytäkirjoista lisäämällä niihin sarakkeet edellä kerrottuja tietoja varten. Samalla niistä poistettiin laskennan kannalta tarpeettomat sarakkeet.

Puupaalujen testimerkit mitattiin jokaisella mittauskerralla pistemittauksena kolme kertaa. Näistä kolmesta havainnosta laskettiin kunkin mittauskerran tasokoordinaattien keskiarvot, jäännösvirheet ja keskihajonnat. Viivamittauksista taulukoitiin testipisteiden läheltä mitatut etäisyydet vertailuviivaan.

Puupaalujen osalta varsinainen vertailu GeoXH:lla havaittujen pisteiden ja vertailukoordinaattien välillä tehtiin laskemalla jäännösvirheet siten, että GeoXH:lla havaituista tasokoordinaateista vähennettiin takymetrillä S6 mitatut vertailukoordinaatit. Näin saatuja x- ja y-koordinaattien jäännösvirheitä merkittiin  $v_{xS6}^i$  ja  $v_{yS6}^i$ . Jäännösvirheistä laskettiin neliösummat, keskihajonta ja keskiarvon keskihajonta.

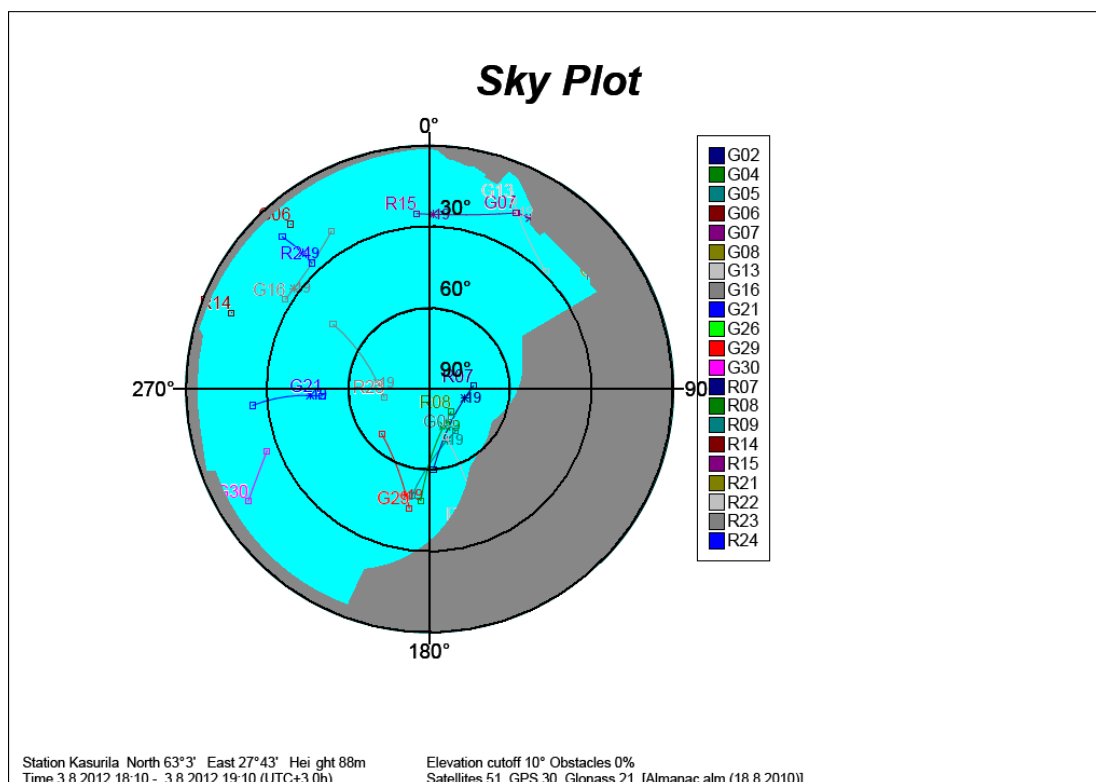
Lasketuista jäännösvirheistä laskettiin GeoXH:lla mitatun ja vertailupisteen välinen vaakamatka ( $s$ ) kaavalla

$$s = \sqrt{(v_{xS6}^i)^2 + (v_{yS6}^i)^2}. \quad (6)$$

Näistä keskihajonta-arvoista voi jo tehdä päätelmiä GeoXH:n mittaustarkkuudesta erilaisissa mittausympäristöissä.

Jokaista mittauskäyntiä varten selvitettiin Trimble Office Planning-ohjelmasta saatava **satelliittigeometriaennuste**. Ohjelmasta kerättiin jokaisen maastokäynnin ajankohdan mukaiset satelliittien sijaintia, lukumääriä ja DOP-lukuja kuvaavat kartat ja diagrammit. Tiedot tallennettiin pdf-tiedostoina, joihin merkittiin mittausajankohta.

Kaikista estepiirroksista työstettiin MicroStationilla kuvat, joiden taakse voitiin asemoida Trimble Office Planning-ohjelmasta saatavat satelliittigeometriaa esittävät SkyPlot-kartat jokaiselta mittausajankohdalta (kuvio 12).



Kuvio 12. Estepiirros ja satelliittigeometriaennuste. Kuvaan on yhdistetty bussoli- ja klinometrimittauksista työstetty harmaa estepiirros ja Trimble Office Planning-ohjelmasta haettu satelliittigeometriaennuste Kasurilan paalun U kohdalta mittauskerrasta 3.8.2012.

Eri testipaikkojen vertailumittauksille tehtiin takymetrillä omat tiedostonsa. Samoin jokaisen eri testialueilla tehdyn käyntikerran mittaustulokset tallen-

nettiin kämmenmikron TerraSync-ohjelmassa omaan tiedostoonsa. Nämä kaikki mittaustiedostot purettiin toimistossa **karttatiedostoihin** MicroStation/Stella-ohjelmistoon.

Pistemäisten kohteiden viiva- ja aluemoodimittauksiin laitettiin keskipisteet. Aiemmin jo mainittiin, että karttoihin laitettiin pistemoodimittausten tuloksina saatuihin pisteisiin kunkin ominaisuustiedon mukainen symboli ja yksilöintinumero. Neljällä pisteellä tehtyihin mittauksiin piirrettiin vastakkaisten pisteiden välille janat ja merkittiin niiden keskipisteet. Kaikista karttoihin merkityistä pisteistä, samoin kuin janojen yhteisistä leikkauspisteistä, kerättiin koordinaattitiedot Excelin taulukoihin.

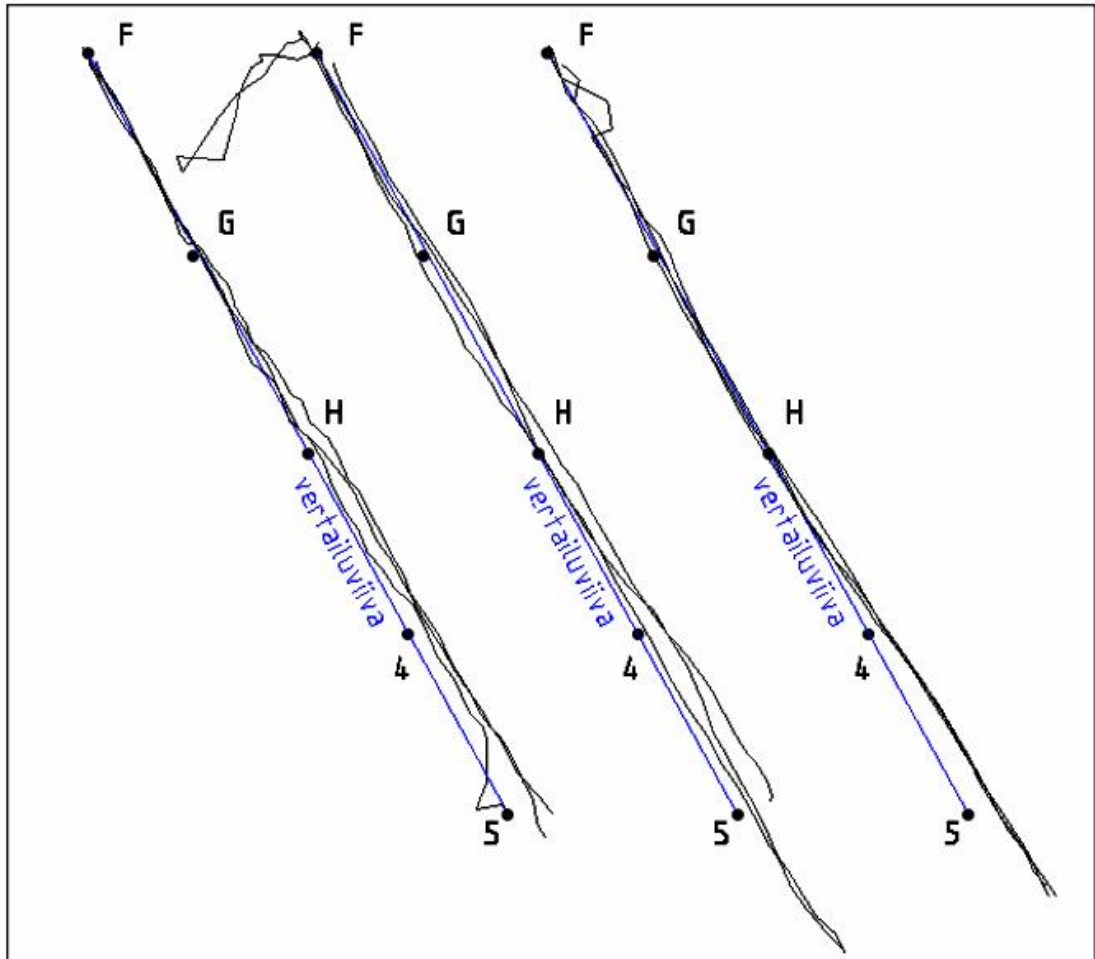
Kolmella pisteellä tehdyissä valaisimen ja puun mittauksissa ympyröiden kaaret eivät leikanneet toisiaan toivotulla tavalla. Laitteen rakenteesta johtuen tämä oli etukäteen odotettavissakin. Kolme pistettä yhdistettiin toisiinsa viivoilla kolmioksi, ja kun merkittiin kolmion keskipiste, se oli usein lähellä vertailupistettä. Tämän vuoksi myös kaikki neljällä pisteellä tehtyjen mittausten pisteet yhdistettiin viivoilla alueiksi, merkittiin keskipisteet ja kerättiin niiden koordinaatit taulukoihin.

Mittausten analysointivaiheessa maastomittauksista tehtyjä karttaesityksiä täydennettiin. Valaisinpylväs, puu, polku, nurmikon ja sorakäytävän reuna ovat kohteita, joille on Kaavoitusmittausohjeissa määritetty eri mittaussuokkien mukaiset virherajat. Pistekohteiden ympärille karttoihin piirrettiin virherajataulukossa sanottujen metrimäärien mukaiset ympyrät. Viivamittausten tutkimisessa käytettiin vertailuviivojen molemmille puolille piirrettyjä eri mittaussuokkien mukaisia rajauksia. Metsän ja veden vaikutusta mittaustuloksiin tutkittiin laskentataulukoiden lisäksi ympyröillä, jotka piirrettiin takymetrillä mitattua pisteestä viiden senttimetrin välein.

Paalujen paikkoja ei työn alussa merkitty takymetrillä vaan metrimitalla, joten ne eivät olleet samalla suoralla. Tämän vuoksi paaluttoman mittauksen osuudelle piti löytää menetelmä, jotta mittaussuokkien rajat voitiin piirtää.

Paaluja oli peräkkäin kolme. Ensin piirrettiin viiva ensimmäisen ja toisen paalun välille ja sitä jatkettiin vähintäänkin paaluttoman osuuden mittaiseksi. Seuraavaksi toisen ja kolmannen paalun välille piirrettiin viiva, jota jatkettiin.

Kolmas viiva piirrettiin ensimmäisen ja kolmannen paalun välille ja jatkettiin sitä. Kolmesta viivasta vertailuviivaksi valittiin se, joka jatkui paaluttomalla osuudella keskimmäisenä. Kaikissa tapauksissa vertailuviivaksi tuli ensimmäisen ja kolmannen paalun kautta piirretty viiva. Tämän vuoksi kartoissa kolmesta paalusta keskimäinen on vertailuviivan sivussa (kuvio 13).



Kuvio 13. Vertailuviiva ja testipisteet. Kuvassa on Harjamäen polulla paalujen F ja H kautta piirretty vertailuviiva sekä sen jatkeelle paaluttoman mittauksen osuudelle 9 m:n välein merkityt testipisteet 4 ja 5.

Kämmenmikro laskee sijaintinsa VRS-verkosta saamansa, mittaushetken mukaisen tarkkuuden perusteella. Lisäksi asiaan liittyy 68 %:n todennäköisyys. Tämän seurauksena kaikki mitatut viivat eivät yltäneet ensimmäiseen paaluun asti. Usein viiva myös taittui alku- ja loppupäästään. Näin ollen nurmikon, polun ja sorakäytävän reunan viivamittauksia ei voitu analysoida ensimmäisten paalujen kohdalta. Analysointiin käytettiin aina toista ja kolmatta paalua. Vastaavasti paaluttomalle osuudelle mitattiin kartalla vertailuviivalle kaksi testipistettä niin, että kaikki viivat olivat keskenään tasavertaisia tar-

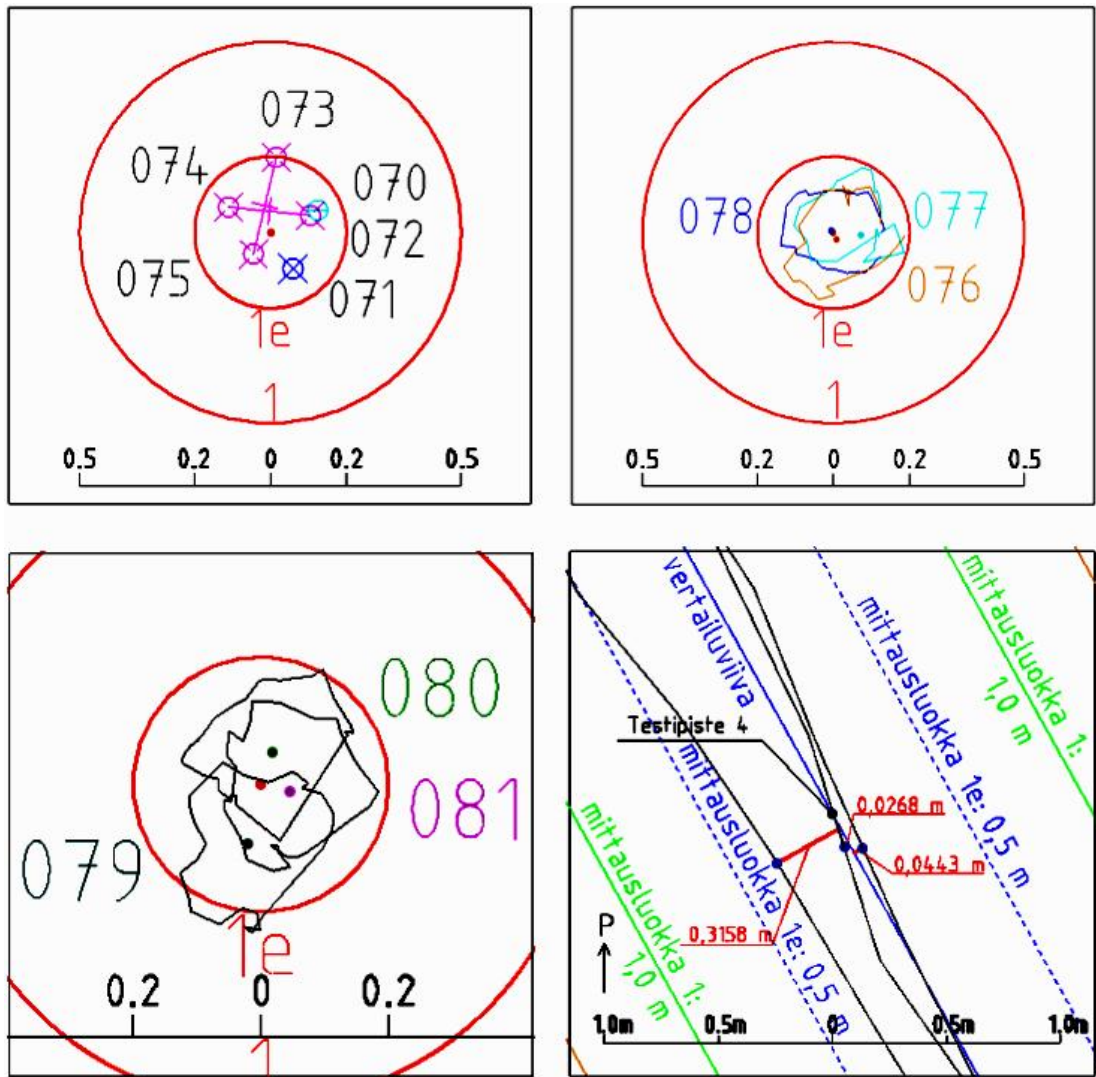
kasteltaviksi. Nämä kartalle mitatut kaksi testipistettä on merkitty kaikilla alueilla numeroilla 4 ja 5.

GeoXH teki havainnot yhden sekunnin välein. Kartalla olevista viivoista havainnon tekopaikan saa selville, koska siihen kohtaan muodostuu tartuntapiste. Kun paikkatiedonkeruulaitetta kuljetettiin paalurivillä, viiva- tai aluemoodimittauksessa havainnon tekopaikka ei sattunut testipaalun eikä myöskään pisteiden 4 ja 5 kohdalle.

Jokaisesta viivasta etsittiin testipistettä lähinnä oleva tartuntapiste ja mitattiin sen kohtisuora etäisyys vertailuviivasta. Viivamittausten analysointi tehtiin näitä etäisyyksiä käyttäen. Mitat merkittiin karttoihin neljällä desimaalilla ja yksikkönä on metri. Täytyy kuitenkin muistaa, että mitat eivät ole täsmällisiä, koska paikkatiedonkeruulaitetta ei voida kävellessä kohdistaa tarkasti mitattavan kohteen päälle. Toisaalta vertailuviiva on mittausten jälkeen kartalla graafisesti määritelty viiva.

Hautausmaan nurmialueen aluemoodimittauksen nurkkapisteiden etäisyydet verrattiin vertailumittaukseen ja tehtiin analysointi sen perusteella. Juokshaudasta tehdyn takymetrikartoituksen ympärille karttaan piirrettiin mittausluokkien rajat ojan pohjan määritysten mukaisesti, ja GeoXH:lla mitatut pisteet havainnollistettiin. Analysointi tehtiin lähinnä kartan perusteella.

Kaikista mitatuista pisteistä, viivoista ja alueista tehtiin yksityiskohtaiset **visualisointikuvat**. Nämä helpottivat mittaustulosten tarkastelua ja analysointia. Kuviossa 14 kolme ensimmäistä visualisointikuvaa ovat esimerkkejä Ahmon valaisimen piste-, viiva- ja aluemoodimittauksista mittauskerralta 4. Punainen piste ympyröiden keskellä on takymetrillä kartoitettu vertailupiste. Ylhäällä vasemmalla pistemoodimittaukseen on merkitty janojen keskipisteet poikki-viivoilla. Alarivissä oikealla on hautausmaan sorakäytävän reunan viivamoodimittaus mittauskerralta 2. Visualisointikuviin on piirretty Kaavoitusmittausohjeiden mukaiset mittausluokkien rajat.



Kuvio 14. Visualisointikuvat.

## 10 TUTKIMUSTULOKSET

### 10.1 Luokittelut

Kasurilan ja Vuorelan rannan alueilla oli omat tutkimustarkoituksensa. Näiltä alueilta kerättyjä tuloksia käytettiin lisäksi myös muissa tutkimusryhmissä.

Testialueet luokiteltiin avariin, puolipeitteisiin ja peitteisiin mittausalueisiin. Luokittelu tehtiin etukäteisolettamuksen ja estepiirrosten perusteella. Avaraan paikkaan kuuluivat Ahmon valaisin ja nurmen reuna, Vuorelan ranta ja Kasurilan paalu V. Harjamäen polku ja Kasurilan paalu U edustivat puolipeitteisiä alueita. Peitteisiin alueisiin luokiteltiin Ahmon lehtipuu, hautausmaa, Kasurilan paalu T ja juoksuhauta.

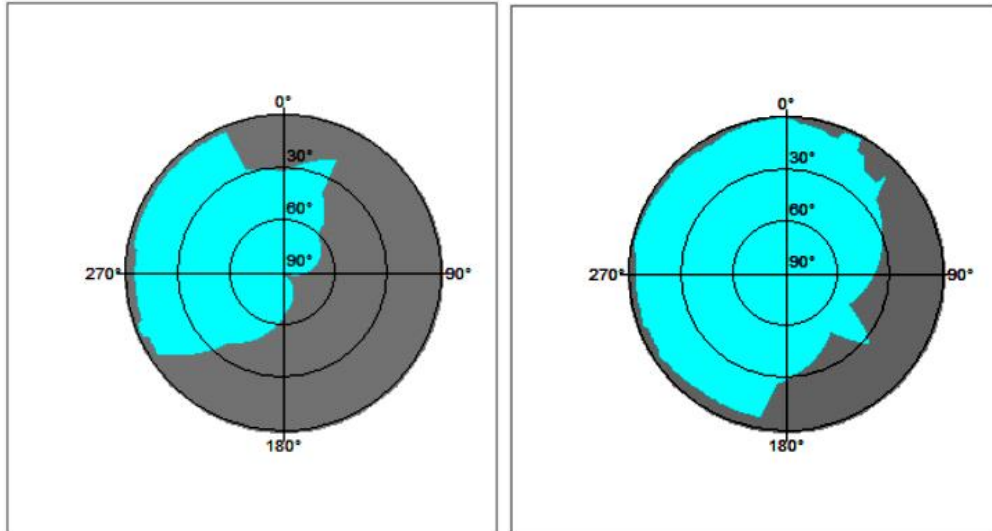
Laskentataulukkoissa sininen väri osoittaa, että GeoXH:lla mitattu piste oli 0.1 m:n etäisyydellä vertailumittauksesta. Punainen väri osoittaa, että kyseinen etäisyys ylittyi.

### 10.2 Metsän ja veden vaikutuksesta saadut mittaustulokset



Kuvio 15. Testipisteiden paikat Kasurilassa.

Kasurilassa mittauskäynnit pyrittiin tekemään mittausten kannalta suotuisten satelliittigeometrioiden aikana, koska koivikko peittää suurelta osin taivasnäkyvyyden (kuvio 15). Mittaustuloksia on helpointa tutkia mittaustuloksista piirretyistä visualisointikuvista (liite 3).



Kuvio 16. Paalujen T ja V estepiirroksia.

Lähtöoletuksena oli, että metsän rajassa olevan paalun T kohdalla mittaustulokset poikkeavat eniten verrokkipisteestä. Kauimpana pellolla olevan paalun V kohtaan odotettiin signaalien saapuvan esteettömästi ja suoraan lännestä ja pohjoisesta (kuvio 16). Ennako-odotusten vastaisesti tarkimmat mittaustulokset saatiin metsän reunassa olleesta paalusta T. Tulokset heikkenivät avarammalle peltoalueelle mentäessä (taulukko 2).

Taulukko 2. Kasurilan testipisteiden mittaustulokset.

Paalu	Mittauskerta 1 27.7.		Mittauskerta 2 3.8.		Mittauskerta 3 6.8		$\leq 0,1$ m (%)	Keskihajonnat (m)
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
T metsän reunassa	001	0,095	010	0,059	019	0,057	89	
	002	0,075	011	0,086	020	0,096		$x(s) = 0,075$
	003	0,064	012	0,054	021	0,103		$y(s) = 0,036$
U 5 m metsästä	004	0,034	013	0,104	022	0,101	67	
	005	0,047	014	0,071	023	0,117		$x(s) = 0,082$
	006	0,082	015	0,089	024	0,097		$y(s) = 0,041$
V 10 m metsästä	007	0,107	016	0,143	025	0,029	56	
	008	0,060	017	0,117	026	0,049		$x(s) = 0,088$
	009	0,009	018	0,138	027	0,035		$y(s) = 0,036$
Kaikki mittaukset yhteensä:			$x(s) =$	0,079	$y(s) =$	0,036	70	Yhteensä

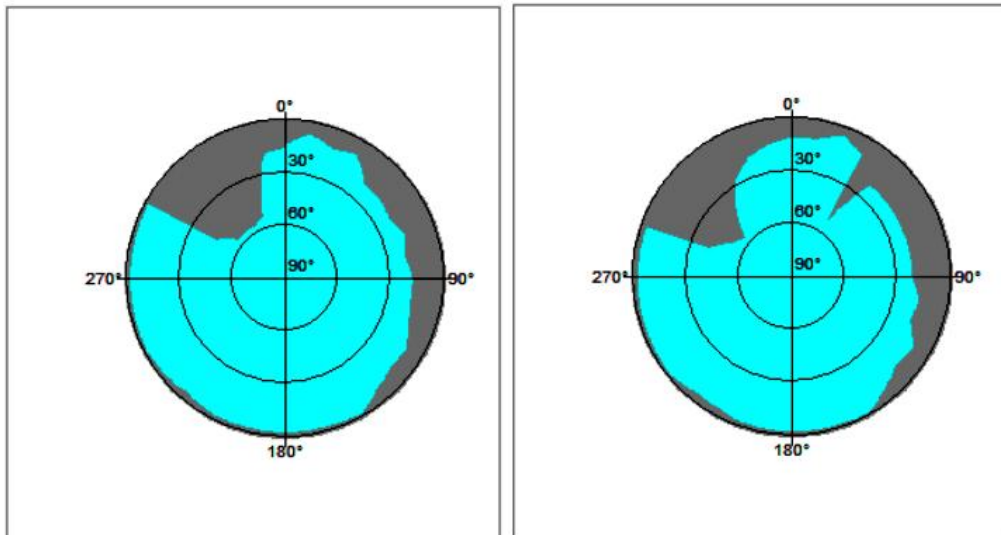


Vuorelan rannassa (kuvio 17) mittaukset tehtiin eri vuorokauden ja erilaisten satelliittigeometrioiden aikoina. Vesi on kova pinta, johon saavuttuaan signaalit muuttavat suuntaansa. Ne saapuvat GNSS-mittauslaitteeseen monitieheijastuksina. Mitattavan pisteen ja satelliitin välinen matka muodostuu virheellisesti liian pitkäksi. Lähinnä rantaa olevalle testipisteelle X odotettiin tulevan eniten monitieheijastuksia, ja pisteen Z kohdalla tulosten oletettiin olevan parhaimmat.



Kuvio 17. Testipisteiden paikat Vuorelan rannassa.

Estepiirrosten perusteella paalut olivat esteiden suhteen samanarvoisessa asemassa keskenään (kuvio 18). Jokaiselle paalulle tehtiin 21 mittausta.



Kuvio 18. Rannan paalujen X ja Z estepiirroksia.

Taulukko 3. Rannan testipisteiden mittaustulokset.

Paalu	Mittauskerta 1 30.7.		Mittauskerta 2 2.8.		Mittauskerta 3 4.8		Mittauskerta 4 5.8.	
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
X veden rajassa	001	0,013	010	0,045	019	0,058	028	0,040
	002	0,093	011	0,066	020	0,073	029	0,038
	003	0,207	012	0,043	021	0,082	030	0,045
Y 2 m vedestä	004	0,020	013	0,011	022	0,063	031	0,074
	005	0,093	014	0,043	023	0,103	032	0,100
	006	0,091	015	0,040	024	0,124	033	0,123
Z 4 m vedestä	007	0,136	016	0,070	025	0,170	034	0,037
	008	0,101	017	0,039	026	0,154	035	0,007
	009	0,091	018	0,598	027	0,143	036	0,015

Mittauskerta 5 6.8.		Mittauskerta 6 19.8.		Mittauskerta 7 19.8.		≤ 0,1 m (%)	Keskihajon- nat (m)	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)			
037	0,044	046	0,109	055	0,024	81		
038	0,019	047	0,120	056	0,064		x(s)=	0,072
039	0,044	048	0,131	057	0,044		y(s)=	0,040
040	0,073	049	0,099	058	0,080	71		
041	0,076	050	0,152	059	0,070		x(s)=	0,077
042	0,076	051	0,129	060	0,111		y(s)=	0,052
043	0,013	052	0,179	061	0,149	43		
044	0,020	053	0,212	062	0,162		x(s)=	0,123
045	0,019	054	0,202	063	0,163		y(s)=	0,136
Kaikki yhteensä:		x(s) =	0,092	y(s) =	0,085	65	Yhteensä	

Veden rajassa olleen paalun X mittaustulokset olivat parhaimmat (taulukko 3). Kauimpana vedestä olleen paalun Z mittaustulokset olivat puolestaan testipaikan heikoimmat.

### 10.3 Avariiden alueiden mittaustulokset

Kasurilan ja rannan mittauksia käsiteltiin jo edellä niiden erityistarkoitusten näkökulmasta. Paalun V ja mittaustulokset ovat taulukossa 2 ja rannan paalujen tulokset taulukossa 3. Taulukoissa on 4–6 on esitetty Ahmon valaisinpylväästä eri mittaamoodeissa saadut etäisyydet vertailupisteisiin.

Taulukko 4. Ahmon valaisimen pistemittausten tulokset.

Pisteitä	Mittauskerta 1 7.7.		Mittauskerta 2 8.7.		Mittauskerta 3 10.7.	
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
1	001	0,036	022	0,108	046	0,119
	002	0,154	023	0,081	047	0,301
3						
4	kp 003-005	0,113	kp 024-026	0,017	kp 048 - 050	0,108
	kp 004-006	0,176	kp 025-027	0,021	kp 049 - 051	0,099
	yht. leikkausp	0,177	yht. leikkausp	0,017	yht. leikkausp	0,109
	alueen kp	0,168	alueen kp	0,013	alueen kp	0,099
	x(s)=	0,109	x(s)=	0,020	x(s)=	0,158
	y(s)=	0,118	y(s)=	0,083	y(s)=	0,068

Mittauskerta 4 14.7.		Mittauskerta 5 19.7.		Mittauskerta 6 24.7.		≤ 0,1 m (%)	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
070	0,137	094	0,254	116	0,104	17	
071	0,112	095	0,125	117	0,213		
		alueen kp	0,122	alueen kp	0,094	50	
kp 072 - 074	0,056					63	
kp 073 - 075	0,072						
yht. leikkausp	0,060						
alueen kp	0,064						
	x(s)=	0,075	x(s)=	0,269	x(s)=	0,219	Yht.
	y(s)=	0,062	y(s)=	0,131	y(s)=	0,160	
Kaikki pistemittaukset			x(s)=	0,125	x(s)=	0,089	43

Taulukko 5. Ahmon valaisimen viivamittausten tulokset.

Mittauskerta 1 7.7.		Mittauskerta 2 8.7.		Mittauskerta 3 10.7.		Mittauskerta 4 14.7.	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
007	0,031	028	0,034	052	0,096	076	0,018
008	0,604	029	0,241	053	0,266	077	0,072
009	0,042	030	0,032	054	0,104	078	0,007
$x(s)=$	0,356	$x(s)=$	0,124	$x(s)=$	0,192	$x(s)=$	0,013
$y(s)=$	0,239	$y(s)=$	0,121	$y(s)=$	0,093	$y(s)=$	0,051

Mittauskerta 5 19.7.		Mittauskerta 6 24.7.		$\leq 0,1$ m (%)	Keskihajonnat (m)
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
99	0,081	121	0,125	72	Kaikki yht.
100	0,027	122	0,015		$x(s)=$ 0,150
101	0,060	123	0,018		$y(s)=$ 0,099
$x(s)=$	0,069	$x(s)=$	0,088		
$y(s)=$	0,027	$y(s)=$	0,017		

Taulukko 6. Ahmon valaisimen aluemittausten tulokset.

Mittauskerta 1 7.7.		Mittauskerta 2 8.7.		Mittauskerta 3 10.7.		Mittauskerta 4 14.7.	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
010	0,021	031	0,049	055	0,076	079	0,096
011	0,043	032	0,032	056	0,116	080	0,054
012	0,401	033	0,037	057	0,084	081	0,048
$x(s)=$	0,075	$x(s)=$	0,019	$x(s)=$	0,112	$x(s)=$	0,076
$y(s)=$	0,275	$y(s)=$	0,045	$y(s)=$	0,023	$y(s)=$	0,038

Mittauskerta 5 19.7.		Mittauskerta 6 24.7.		$\leq 0,1$ m (%)	Keskihajonnat (m)
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
102	0,030	124	0,091	83	Kaikki yht.
103	0,080	125	0,164		$x(s)=$ 0,074
104	0,013	126	0,070		$y(s)=$ 0,098
$x(s)=$	0,058	$x(s)=$	0,137		
$y(s)=$	0,018	$y(s)=$	0,033		

Ahmon nurmen reunan pistemittausten tulokset ovat taulukossa 7.

Taulukko 7. Ahmon nurmen reunan testipisteiden mittaustulokset.

Paalu	Mittauskerta 1 19.7.		Mittauskerta 2 27.7.		Mittauskerta 3 30.7		≤ 0,1 m (%)	Keskihajonnat (m)	
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		x(s)=	y(s)=
C	142	0,067	151	0,090	160	0,040	67		
	143	0,101	152	0,128	161	0,042		x(s)=	0,091
	144	0,074	153	0,133	162	0,068		y(s)=	0,024
D	145	0,076	154	0,147	163	0,033	67		
	146	0,080	155	0,128	164	0,034		x(s)=	0,086
	147	0,058	156	0,120	165	0,040		y(s)=	0,040
E	148	0,065	157	0,151	166	0,083	67		
	149	0,057	158	0,146	167	0,062		x(s)=	0,108
	150	0,012	159	0,185	168	0,077		y(s)=	0,033
Kaikki mittaukset yhteensä:			x(s) =	0,092	y(s) =	0,032	67	Yhteensä	

Nurmen reunasta tutkittiin viivamoodimittauksista GeoXH:n pisteiden G, H, 4 ja 5 lähellä tekemien havaintojen poikkeamien suuruusluokat. Ensimmäisellä ja kolmannella mittauskäynnillä mitattiin kolme testiviivaa, toisella kerralla neljä. Neljännen mittauksen alussa ei heti lähdetty liikkeelle laitteen alkaessa tehdä havaintoja, eikä havaintojen tekoa lopetettu heti liikkeen loputtua. Tällä ei ollut avaralla paikalla vaikutusta. Kulkusuunta oli pisteeltä 5 pisteelle C, ja viiva jäi vajaaksi pisteen C luona. Tutkittavia pisteitä oli yhteensä 40. Alle 0.10 m:n tuloksia testipisteiden lähellä oli 22 kpl (taulukko 8). Plusmerkki osoittaa, että laitteen tekemä havainto oli vertailuviivan D–5 oikealla puolella, ja miinusmerkki osoittaa, että havainto oli vertailuviivan vasemmalla puolella.

Taulukko 8. Ahmon nurmen reunan viivamittausten erot vertailuviivasta.

Testipiste	Mittauskerta	Ominaisuus			
		Katos	Rak. seinäl.	Ojan pohja	Aluerajaus
D	1	-0,0477	-0,06331	-0,0807	
	2	+0,0704	+0,1339	+0,1153	+0,1006
	3	-0,1757	-0,1003	-0,0692	
E	1	-0,0222	-0,0589	-0,0481	
	2	+0,0914	+0,1539	+0,1193	+0,1562
	3	-0,1313	-0,0760	-0,0278	
4	1	+0,0317	+0,0336	-0,0433	
	2	+0,1010	+0,1567	+0,1212	+0,1509
	3	-0,1317	-0,0861	+0,0134	
5	1	+0,0166	+0,0450	+0,0279	
	2	+0,1230	+0,1171	+0,1820	+0,1652
	3	-0,0662	-0,0815	+0,0501	

## 10.4 Puolipeitteisten alueiden mittaustulokset



Kuvio 19. Polku Harjamäessä.

Puolipeitteisiin alueisiin luokiteltiin Harjamäen polku (kuvio 19) ja Kasurilan paalu U, jonka mittaustulokset on esitelty sivun 43 taulukossa 2. Harjamäen polulla tehtiin yhteensä 27 pistemoodimittausta, joiden tulokset ovat taulukossa 9. Yksi piste ylitti 0.1 m:n rajan yhdellä ja toinen piste kolmella millimetillä. Polun viivamoodimittausten visualisointikuvat ovat kuviossa 13.

Taulukko 9. Harjamäen testipisteiden mittaustulokset.

Paalu	Mittauskerta 1 26.7.		Mittauskerta 2 6.8.		Mittauskerta 3 10.8.		≤ 0,1 m (%)	Keskihajonnat (m)	
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		x(s)=	y(s)=
F	001	0,813	010	2,479	019	1,394	0		
	002	0,307	011	1,758	020	3,418		x(s)=	1,795
	003	1,346	012	1,653	021	1,487		y(s)=	0,758
G	004	1,819	013	0,032	022	0,252	11		
	005	0,334	014	0,560	023	2,006		x(s)=	0,955
	006	1,388	015	0,373	024	0,290		y(s)=	0,578
H	007	1,221	016	0,305	025	0,598	11		
	008	0,101	017	1,411	026	0,355		x(s)=	0,836
	009	2,348	018	0,037	027	0,103		y(s)=	0,707
Kaikki mittaukset yhteensä:			x(s) =	1,220	y(s) =	0,658	7	Yhteensä	

Taulukkoon 10 on kerätty paalujen F, G ja H pistemoodimittausten tulokset ja paikantimen mittaustapahtumien aikana näyttämät satelliittien lukumäärät ja tarkkuusestimaatit. Tarkkuusarviot osoittavat mittauksen aikana laitteen näyttämää alinta ja ylintä estimaattia, eivät välttämättä sitä, mitä laite on näyttänyt mittaustapahtuman alussa tai lopussa. Katveisessa paikassa kämmenmikro GeoXH:n näyttämä tarkkuusestimaatti voi heitellä suurestikin. Taulukossa 11 on viivamoodimittausten kohtisuorat etäisyydet paalujen G ja H sekä testipisteiden 4 ja 5 läheltä suunnassa G-5.

Taulukko 10. Harjamäen mittaustulosten jakautuminen eri mittaustuokkiin ja GeoXH:n näyttämät tiedot mittausten aikana.

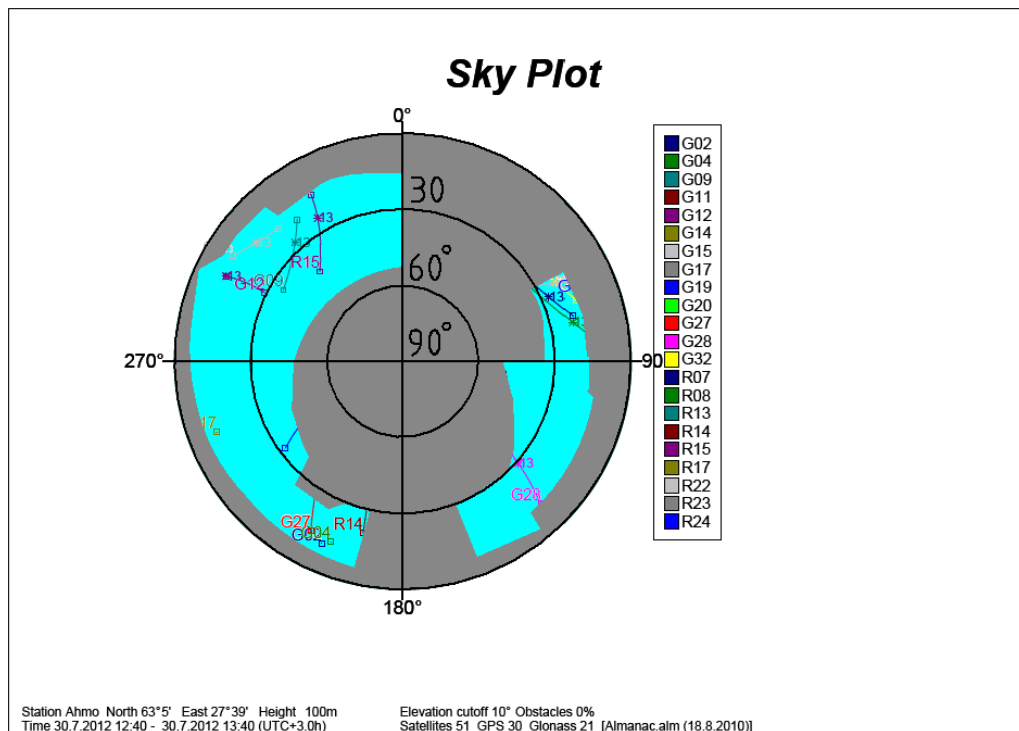
Mittausluokka 1e			Mittausluokka 1		
Etäisyys (m)	Sat.lkm	Tarkkuus (m)	Etäisyys (m)	Sat.lkm	Tarkkuus (m)
0,813	9 - 15	0.74 - 1.20	1,346	13 - 14	0.91 - 1.10
0,307	9 - 15	0.97 - 1.10	1,819	9 - 11	1.10 - 1.40
0,334	12 - 13	0.67 - 1.20	1,388	9 - 13	0.35 - 1.00
0,101	6 - 10	0.12 - 0.21	1,221	8 - 15	0.51 - 0.89
0,032	9 - 16	0.10 - 0.77	1,758	8 - 15	0.75 - 0.87
0,560	15	0.65 - 0.67	1,653	9 - 10	0.57 - 0.65
0,373	9	0.30 - 0.74	1,411	9 - 10	0.10 - 0.41
0,305	9 - 11	0.10 - 0.88	1,394	17 - 18	0.60 - 0.85
0,037	11 - 13	0.10 - 0.45	1,487	14 - 15	0.71 - 2.80
0,252	9 - 17	0.40 - 0.96	Mittausluokka 2		
0,290	9 - 10	0.40 - 1.10	Etäisyys (m)	Sat.lkm	Tarkkuus (m)
0,598	10 - 17	0.69 - 1.10	2,348	9 - 15	0.26 - 0.94
0,355	11	0.48 - 0.58	2,479	16	0.10 - 1.40
0,103	11 - 18	0.22 - 0.75	2,006	14 - 16	0.75 - 1.10
			Mittausluokka 3/1:2000		
			3,418	9 - 10	0.47 - 3.60

Taulukko 11. Harjamäen polun viivamittausten erot vertailuviivasta.

Testipiste	Mittauskerta	Ominaisuus		
		Katos	Rak. seinäl.	Ojan pohja
G	1	-0,2141	-0,0259	-0,0820
	2	-0,1828	-0,4239	+0,4600
	3	+0,2245	-0,0686	-0,4264
H	1	-1,0556	-0,5139	-0,3481
	2	-0,0744	-0,6627	-0,0700
	3	-0,1654	+0,1267	-0,1138
4	1	-0,9070	-1,0789	-0,7496
	2	-0,9070	-1,0377	-1,1143
	3	-0,6927	-0,7177	-0,5268
5	1	-1,2593	-1,5139	-0,1116
	2	-0,5925	-1,7708	-0,8305
	3	-1,2160	-1,1224	-1,2073

## 10.5 Peitteisten alueiden mittaustulokset

Kasurilan paalu T oli puun oksien alla ja pajupensaiden ympäröimänä. Sen mittaustulokset ovat taulukossa 2 sivulla 43. Ahmon lehtipuu on ajoväylän varrella kolmesta puusta keskimmäisenä. Siinä on runsas latvus ja rungon ympärillä viereiset puut estävät kahdelta suunnalta kokonaan näkyväsyyden taivaalle (kuvio 20). Puun mittausten tulokset on esitetty taulukoissa 12–14. Yhdessä neljän pisteen mittauksessa janat eivät leikanneet toisiaan. Samoin kävi hautausmaan valaisimen ja lehtipuun mittauksissa. Nämä toteutumattomat mittaustulokset laskettiin mukaan, kun tarkasteltiin 0.1 m:n toteutumista, mutta keskihajontalukujen laskuista ne jätettiin pois.



Kuvio 20. Ahmon lehtipuun estepiirros ja satelliittigeometria. Kuviossa on tilanne 30.7.2012 klo 12:40 – 13:40.



Taulukko 12. Ahmon lehtipuun pistemittausten tulokset.

Pisteitä	Mittauskerta 1 7.7.		Mittauskerta 2 8.7.		Mittauskerta 3 10.7.	
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
1	013	0,251	034	0,158	058	0,171
	014	0,383	035	0,433	059	0,823
3						
4	kp 015-017	0,229	kp 036 - 038	0,029	kp 060 - 062	0,140
	kp 016-018	0,250	kp 037 - 039	0,063	kp 061 - 063	0,018
	yht. leikkausp	0,144	yht. leikkausp	0,030	yht. leikkausp	0,023
	alueen kp	0,276	alueen kp	0,051	alueen kp	0,114
	x(s)=	0,222	x(s)=	0,116	x(s)=	0,070
	y(s)=	0,187	y(s)=	0,175	y(s)=	0,378

Mittauskerta 4 14.7.		Mittauskerta 5 19.7.		Mittauskerta 6 24.7.		≤ 0,1 m (%)
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	
082	0,616	105	0,214	127	0,088	17
083	0,901	106	0,176	128	0,065	
		alueen kp	0,109			0
kp 084 - 086	0,048			kp 129 - 131	0,224	50
kp 085 - 087	0,047			kp 130 - 132	0,742	
yht. leikkausp	0,057			yht. leikkausp		
alueen kp	0,042			alueen kp	0,360	
x(s)=	0,315	x(s)=	0,156	x(s)=	0,395	Yht.
y(s)=	0,375	y(s)=	0,141	y(s)=	0,171	
Pistemittaukset yhteensä:		x(s)=	0,221	y(s)=	0,248	36

Taulukko 13. Ahmon lehtipuun viivamittausten tulokset.

Mittauskerta 1 8.7.		Mittauskerta 2 10.7.		Mittauskerta 3 14.7.		Mittauskerta 4 19.7.	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
040	0,069	064	0,172	088	0,624	110	0,061
041	0,374	065	0,007	089	0,102	111	0,010
042	0,060	066	0,023	090	0,175	112	0,022
x(s)=	0,266	x(s)=	0,118	x(s)=	0,216	x(s)=	0,043
y(s)=	0,057	y(s)=	0,032	y(s)=	0,411	y(s)=	0,018

Mittauskerta 5 24.7.		Mittauskerta 6 30.7.		≤ 0,1 m (%)	Keskihajonnat (m)
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
133	0,092	139	0,074	61	Kaikki yht. x(s)= 0,158 y(s)= 0,157
134	0,041	140	0,338		
135	0,317	141	0,041		
x(s)=	0,213	x(s)=	0,185		
y(s)=	0,101	y(s)=	0,162		

Taulukko 14. Ahmon lehtipuun aluemittausten tulokset.

Mittauskerta 1 7.7.		Mittauskerta 2 8.7.		Mittauskerta 3 10.7.		Mittauskerta 4 14.7.	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
019	0,101	043	0,606	067	0,048	091	0,174
020	0,172	044	0,327	068	0,455	092	0,107
021	0,028	045	0,023	069	1,046	093	0,466
$x(s)=$	0,087	$x(s)=$	0,427	$x(s)=$	0,751	$x(s)=$	0,333
$y(s)=$	0,112	$y(s)=$	0,235	$y(s)=$	0,297	$y(s)=$	0,135

Mittauskerta 5 19.7.		Mittauskerta 6 24.7.		$\leq 0,1$ m (%)	Keskihajon- nat (m)
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
113	0,036	136	0,369	28	Kaikki yht.
114	0,252	137	0,370		$x(s)=$ 0,337
115	0,083	138	0,168		$y(s)=$ 0,175
$x(s)=$	0,160	$x(s)=$	0,274		
$y(s)=$	0,102	$y(s)=$	0,275		

Viinamäen hautausmaalla oli runsaasti mitattavia kohteita (kuvio 21). Välillä GeoXH teki havaintoja hitaasti ja joskus niiden lukumäärä katosi näytöltä kokonaan. Kun tehtyjen havaintojen määrä ilmestyi jälleen näytölle, niitä oli siinä vaiheessa huomattavasti enemmän, kuin mittauksessa oli tarkoitus tehdä.



Kuvio 21. Yleiskuva hautausmaan mittauskohteista. GeoXH:n testauksessa mitattiin valaisinta, joka oli piste I, ja lehtipuuta, piste J. Sorakäytävän reunassa mitattiin pisteinä paaluja K, L ja M sekä testattiin niiden kautta viivamoodimittausta. Käytävän toisella puolella olevan nurmialueen mittauksiin liittyivät pisteet N, O, P, Q, R ja S.

Taulukoissa 15–17 ovat valaisimen mittaustulokset.

Taulukko 15. Hautausmaan valaisimen pistemittausten tulokset.

Pisteitä	Mittauskerta 1 4.8.		Mittauskerta 2 5.8.		Mittauskerta 3 29.8.	
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
1	046	2,458	070	1,083	094	1,527
	047	0,814	071	0,765	095	3,086
4	kp 048-050	1,153	kp 072-074	0,808	kp 096-097	0,132
	kp 049-051	2,028	kp 073-075	0,805	kp 098-099	2,054
	yht. leikkausp	2,057	yht. leikkausp		yht. leikkausp	
	alueen kp	1,686	alueen kp	0,458	alueen kp	1,203
	x(s)=	1,868	x(s)=	0,677	x(s)=	1,811
	y(s)=	0,595	y(s)=	0,599	y(s)=	1,050
Kaikki pistemittaukset yhteensä:			x(s) =	1,470	y(s) =	0,713

Taulukko 16. Hautausmaan valaisimen viivamittausten tulokset.

Mittauskerta 1 4.8.		Mittauskerta 2 5.8.		Mittauskerta 3 29.8.		Keskihajon- nat (m)	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
052	1,529	076	0,374	100	0,108	Kaikki yht.	
053	0,140	077	0,417	101	1,089		
054	1,148	078	1,212	102	0,779		
x(s)=	1,348	x(s)=	0,889	x(s)=	0,686	x(s)=	0,877
y(s)=	0,140	y(s)=	0,319	y(s)=	0,657	y(s)=	0,372

Taulukko 17. Hautausmaan valaisimen aluemittausten tulokset.

Mittauskerta 1 4.8.		Mittauskerta 2 5.8.		Mittauskerta 3 29.8.		Keskihajon- nat (m)	
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
055	0,301	079	0,635	103	0,714	Kaikki yht.	
056	0,905	080	0,599	104	0,782		
057	0,924	081	0,490	105	0,426		
x(s)=	0,732	x(s)=	0,542	x(s)=	0,468	x(s)=	0,512
y(s)=	0,588	y(s)=	0,455	y(s)=	0,658	y(s)=	0,496

Hautausmaan lehtipuun mittaustulokset ovat taulukoissa 18–20. Sorakäytävän paalujen mittaustulokset on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 18. Hautausmaan lehtipuun pistemittausten tulokset.

Pisteitä	Mittauskerta 1 4.8.		Mittauskerta 2 5.8.		Mittauskerta 3 29.8.	
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)
1	058	2,439	082	0,965	106	1,524
	059	0,892	083	0,524	107	1,542
4	kp 060 - 062	0,742	kp 084 - 086	1,090	kp 108 - 109	0,180
	kp 061 - 063	0,165	kp 085 - 087	0,361	kp 110 - 111	0,561
	yht. leikkausp		yht. leikkausp		yht. leikkausp	0,536
	alueen kp	0,406	alueen kp	0,585	alueen kp	0,343
	x(s)=	0,696	x(s)=	0,621	x(s)=	0,836
	y(s)=	1,178	y(s)=	0,575	y(s)=	0,626
Kaikki pistemittaukset yhteensä:			x(s)=	0,682	y(s)=	0,768

Taulukko 19. Hautausmaan lehtipuun viivamittausten tulokset.

Mittauskerta 1 4.8.		Mittauskerta 2 5.8.		Mittauskerta 3 29.8.		≤ 0,1 m (%)	Keskihajonnat (m)
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
064	0,946	088	0,978	112	0,644	11	Kaikki yht.
065	0,856	089	1,435	113	1,346		
066	0,387	090	0,942	114	0,094		
x(s)=	0,397	x(s)=	1,092	x(s)=	0,973		x(s)= 0,758
y(s)=	0,855	y(s)=	0,871	y(s)=	0,413		y(s)= 0,644

Taulukko 20. Hautausmaan lehtipuun aluemittausten tulokset.

Mittauskerta 1 4.8.		Mittauskerta 2 5.8.		Mittauskerta 3 29.8.		Keskihajonnat (m)
Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	
067	0,672	091	0,611	115	1,158	Kaikki yht.
068	1,328	092	1,215	116	0,485	
069	1,983	093	1,266	117	0,937	
x(s)=	0,602	x(s)=	0,780	x(s)=	0,740	x(s)= 0,616
y(s)=	1,646	y(s)=	1,057	y(s)=	0,824	y(s)= 1,061

Taulukko 21. Sorakäytävän testipisteiden mittaustulokset.

Paalu	Mittauskerta 1 26.7.		Mittauskerta 2 4.8.		Mittauskerta 3 5.8.		≤ 0,1 m (%)	Keskihajonnat (m)
	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)	Havainto	Etäis. (m)		
K	001	0,102	010	0,825	019	1,397	11	x(s)= 2,030 y(s)= 0,370
	002	0,966	011	3,167	020	0,850		
	003	0,078	012	4,422	021	0,414		
L	004	0,979	013	0,073	022	9,066	11	x(s)= 2,943 y(s)= 2,253
	005	3,685	014	1,364	023	2,336		
	006	0,953	015	1,068	024	1,948		
M	007	1,625	016	1,287	025	2,804	11	x(s)= 1,521 y(s)= 2,192
	008	2,845	017	0,453	026	0,135		
	009	5,963	018	0,947	027	0,018		
Kaikki mittaukset yhteensä:			x(s) =	2,155	y(s) =	1,755	11	Yhteensä

Sorakäytävän reunaa mitattiin myös viivamoodissa. Jokaisella testiviivalla lähinnä paaluja L ja M sekä testipisteitä 4 ja 5 olleen havainnon kohtisuora etäisyys vertailuviivasta L-5 on taulukossa 22.

Taulukko 22. Sorakäytävän reunan viivamittausten erot vertailuviivasta.

Testi- piste	Mittaus- kerta	Ominaisuus		
		Katos	Rak. seinäl.	Ojan pohja
L	1	+0,5607	-1,1457	+0,7450
	2	+0,4046	+0,2682	-0,2513
	3	+0,4678	+0,7131	+0,1535
M	1	+0,5070	-2,1113	-0,9231
	2	-0,1252	+0,7087	+0,2799
	3	-0,0938	+0,8542	+0,4681
4	1	-0,4614	-1,3231	-2,0124
	2	+0,0268	+0,3158	-0,0443
	3	+0,5952	-0,5717	-0,6763
5	1	-1,0415	-0,7221	-3,1675
	2	-0,2130	+0,0204	-0,8096
	3	+0,1301	-1,6117	-1,7275

Hautausmaan nurmialueen kuutta nurkkapistettä mitattiin yhteen kertaan pistemoodissa kolmella mittauskäynnillä. Mittaustulokset olivat samansuuntaisia sorakäytävän reunan pistemittausten kanssa (taulukko 23).

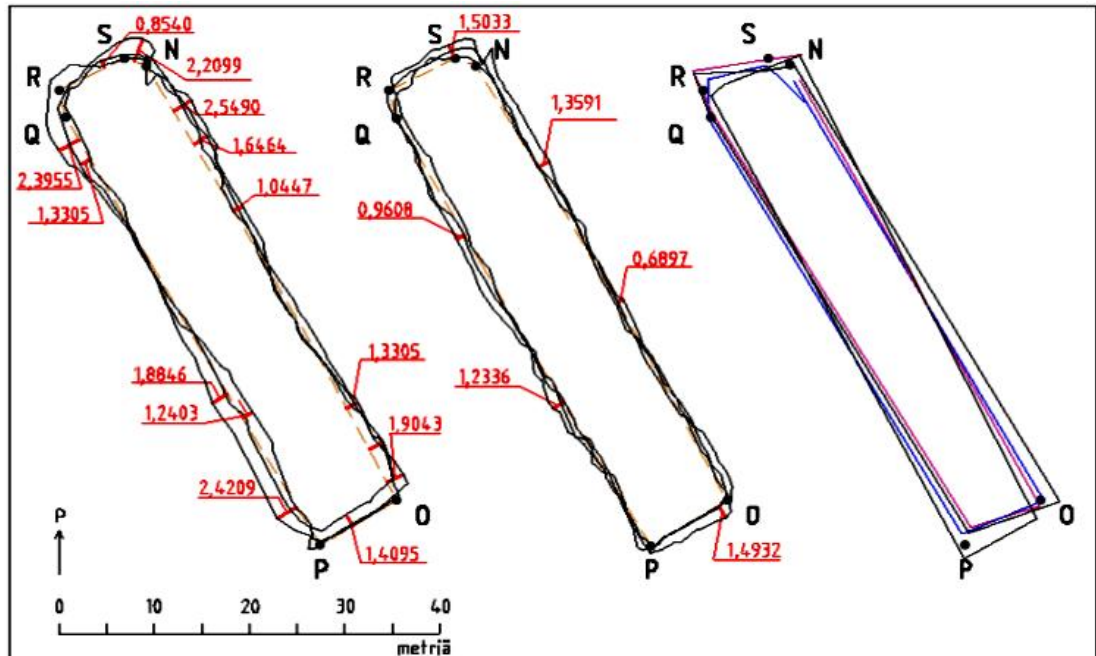
Taulukko 23. Nurmialueen pistemittausten tulokset.

Paalu	Mittauskerta 1 26.7.				Mittauskerta 2 4.8.			
	Etäisyys (m)	Sat. lkm	Tarkkuus	Mitt.lk	Etäisyys (m)	Sat. lkm	Tarkkuus	Mitt.lk
N	0,078	7 - 13	48 - 78	1e	1,205	8 - 11	10 - 32	2
O	1,067	13 - 14	85 - 91	2	2,239	14 - 15	31 - 1.4	3/1:2000
P	1,164	7 - 14	52 - 1.4	2	0,938	14 - 15	98 - 1.4	1
Q	0,762	13 - 15	61 - 3.0	1	3,045	13 - 15	73 - 1.2	3/1:5000
R	1,474	12 - 14	83 - 2.2	2	0,055	11 - 14	10 - 63	1e
S	0,495	15 - 16	78 - 1.2	1e	0,031	8	10	1e

Paalu	Mittauskerta 3 5.8.				Keskihajonnat (m)		≤ 0,1 m (%)	K-hajonnat (m)
	Etäisyys (m)	Sat. lkm	Tarkkuus	Mitt.lk	x(s)	y(s)		
N	1,008	9 - 14	26 - 82	2	0,837	0,732	17	Kaikki yht. x(s)=1,183 y(s)=0,999
O	1,056	17 - 18	82 - 1.5	2	1,053	1,589		
P	1,987	17	1.0 - 1.2	3/1:2000	0,274	1,737		
Q	2,389	16 - 17	91 - 95	3/1:2000	2,519	1,198		
R	2,306	6 - 16	79 - 1.7	3/1:2000	1,704	0,917		
S	1,236	14 - 15	71 - 1.2	2	0,874	0,351		

GeoXH:ssa on yhtenä mittaustapavaihtoehtona taitepistemittaus. Tätä kokeiltiin mittaustulosten analysointivaiheessa, että nähdään, kuinka sen käyttö vaikuttaa nurmialueen tuloksiin. Tässä mittaustavassa mitataan kohteen tai-

tepisteet päältä päin ja pisteiden välit kuvautuvat suorina viivoina kuvatiedostossa. Kuviossa 22 on nurmialueen kaksi aluemoodimittausta ja kolmantena on neljä taitepistemittausta. Näistä kaksi mitattiin aluemoodissa, jotka ovat mustilla viivoilla. Sininen ja punainen viiva on mitattu viivamoodissa.



Kuvio 22. Nurmialueen alue- ja taitepistemittaukset.

Juoksuhaudan pohjalle laitettiin 20 testimerkkiä (kuvio 23), jotka mitattiin kaikilla mittauskäynneillä ensin kolme kertaa pistemoodissa ja sitten kolme viivamoodissa. Testituloksia oli tarkoitus verrata lähinnä silmämääräisesti useita vuosia sitten tehtyyn takymetrikartoitukseen.

Ensimmäisellä mittauskerralla maahan laitettut merkit eivät voineet olla samoilla paikoilla aiemmin kartoitettujen pisteiden kanssa. Kaikilla mittauskerroilla GeoXH käynnistettiin läheisellä hakkuuaukolla ja odotettiin, että se näytti tarkkuutta 0.1 m. Yleensä tämä tarkkuus menetettiin jo lähestyttäessä ensimmäistä testipistettä. Suurimmassa osassa mittauksia tarkkuusestimaatti oli mittauksen aikana alhaisimmillaan yli 0.7 m.



Kuvio 23. Juoksuhaudan testipisteet 8–11.



Kuvio 24. Mittauksissa apuna käytetty kartoitussauva testipisteellä 19.

Ensimmäisellä mittauskäynnillä laitteen tarkkuusarvio oli 19 mittauksen aikana alhaisimmillaan yli metrin. Toisella mittauskerralla näin oli 15 kertaa. Juoksuhaudan mittauksissa huonoin laitteen näyttämä tarkkuusarvio oli toisella käyntikerralla, 7.6 m. Tämä oli viivamoodimittauksen aikana testipisteen 19 luona (kuvio 24). Kolmannella mittauskäynnillä tarkkuusestimaatit olivat kaikkein parhaimmat. 25:n mittaus tapahtuman aikana tarkkuusarvio oli joko kaiken aikaa tai oli alhaisimmillaan 0.1 m.

Kaikilla mittauskäynneillä pistemittausten aikana kämmenmikron havaintojen teko hidastui tai pysähtyi kokonaan joksikin aikaa. Kolmannella käyntikerralla hyvistä tarkkuuslukemista huolimatta GeoXH:n havaintojen teko oli pääasiassa hidasta. Pisteen 15 ensimmäisen pistemittauksen aikana TerraSync lakkasi toimimasta ja ohjelma kaatui. Yritettäessä avata tiedostoa näytöllä toistuivat vuorotellen seuraavat ilmoitukset: Tiedosto ”opinn juoksu 20120811” voi olla virheellinen. TerraSync yrittää korjata tiedoston, sekä: TerraSync havaitsi tiedostossa virheitä, joita ei voi korjata. Tämän jälkeen mittaukset jatkuivat uudessa tiedostossa. 14:n pisteen kolmeen kertaan mitatut tiedot tuhoutuivat. Liitteessä 4 ovat juoksuhaudan mittaus tulokset kahdelta ensimmäiseltä mittauskerralta.



## **11 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYSOINTI**

### **11.1 Metsän ja veden vaikutus mittaustuloksiin**

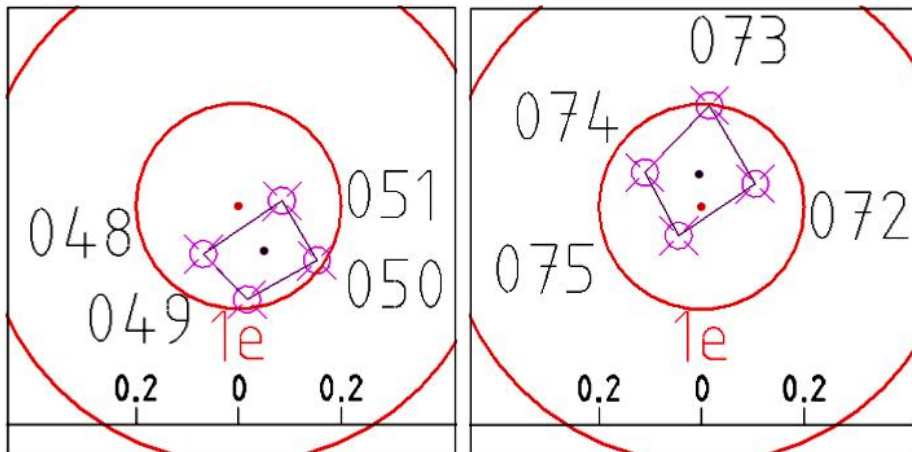
Kasurilassa osa avaralta taivaalta tulleista signaaleista on osunut koivujen lehtiin ja runkoihin, heijastunut matkalla ehkä vielä pensaisiin ja jatkanut siten matkaansa kämmenmikroon. Monitieheijastuksia on tullut eniten pellolla paalun V kohdalle. Paalulle U niitä on tullut vähemmän ja paalusta T ne ovat menneet suurimmaksi osaksi yli. Siihen kohtaan signaalit ovat tulleet pääsääntöisesti suoraan satelliiteista.

Rannassa paalu Z oli neljä metriä veden rajasta ja alle 10 m suuresta koivusta, kahdesta ilmoitustaulusta ja pensasryhmästä. Veden rajassa ollut paalu X oli näistä yli 10 m päässä ja sen mittaustulokset olivat testialueen parhaimmat. Kasurilan paalun V tulokset olivat selvästi paremmat kuin rannassa olleen paalun Z, jonka läheisyydessä oli enemmän pensaskasvillisuutta. Tästä kaikesta voidaan päätellä, että yksinomaan veden vaikutusta mittaustuloksiin ei saatu testattua, koska kasvillisuus aiheutti paljon monitieheijastuksia. Kasvillisuuden vaikutus lopputulokseen oli suurempi kuin veden vaikutus.

### **11.2 Avarien alueiden analysointi**

Ahmon valaisimen yhden pisteen pistemoodimittauksista 12 tuloksesta yhdeksän oli mittaussuokassa 1e ja muut kolme mittaussuokassa 1. Kolmella pisteellä tehtyjä mittauksia oli kaksi. Pisteiden muodostamien kolmioiden keskipisteet olivat mittaussuokassa 1e.

Neljällä pisteellä tehdyissä mittauksissa valaisimen vastakkaisilta puolilta mitatut pisteet yhdistettiin viivalla ja mittaustulos oli viivan keskipisteessä. Testissä tutkittiin myös toisensa leikkaavien viivojen leikkauspisteen paikka. Kaikki 12 keski- ja leikkauspistettä olivat mittaussuokassa 1e. Neljän pisteen mittaukset tutkittiin myös niin, että kaikki pisteet yhdistettiin viivoilla sulkeutuvaksi alueeksi ja mitattiin sen keskipiste (kuvio 24). Näin saadut neljä pistettä ovat kaikki mittaussuokassa 1e.



Kuvio 25. Ahmon valaisimen neljän pisteen mittaustulokset yhdistettyinä viivoilla toisiinsa. Visualisointikuvat ovat mittauskerroilta 3 ja 4.

Valaisimen viivamoodimittauksia tehtiin 18 (taulukko 5). Näistä 15 oli mittausluokassa 1e, kaksi mittausluokassa 1 ja yksi luokassa 2. Aluemoodimittauksia tehtiin myös 18 (taulukko 6). Yhtä mittausluokassa 1 olevaa pistettä lukuunottamatta kaikkien alueiden keskipisteet ovat mittausluokassa 1e. Taulukosta 24 nähdään, että lähes kaikki tulokset olivat mittausluokassa 1e eli 0.2 m:n etäisyydellä oikeasta pisteestä (taulukko 24).

Taulukko 24. Ahmon valaisimen kaikkien mittaustulosten jakautuminen eri mittausluokkiin.

Mittausluokka	1e	1	2
Jakauma	59	6	1
%-osuus	89	9	2
Tuloksia	66		

Taulukko 25. Ahmon valaisimen mittaustapojen vertailu.

Pisteitä	Mittaustuloksia (kpl)	≤ 0,1 m (kpl)	≤ 0,1 m (%)
1	12	2	17
3	2	1	50
4	16	10	63
<b>Yhteensä</b>	<b>30</b>	<b>13</b>	<b>43</b>
Viivamoodi	18	13	72
Aluemoodi	18	15	83
<b>Kaikki yht.</b>	<b>66</b>	<b>41</b>	<b>62</b>

Avaralla paikalla valaisimen ulkopuolelta tehdyissä mittauksissa paras lopputulokset saatiin käyttämällä aluemoodia (taulukko 25). Hyviin tuloksiin päästiin

myös viivamoodimittauksissa. Pistemoodin käyttö vei testissä kokonaistulosta alaspäin. Yhdellä pisteellä tehdyissä mittauksissa haetun tarkkuuden toteutumisosuus jäi alhaiseksi. Ensimmäisellä mittauskerralla tämän mittaus-tavan tulokset olivat muita kertoja huonommat. Silloin kämmenmikroa pidettiin mittausten aikana maassa ja kaikki DOP-luvut olivat korkeammalla kuin useimmilla muilla kerroilla. Korkeimmat DOP-luvut oli 10.7.2012 ja silloin valaisimen 12:sta mittauksesta vain viisi alitti 0.1 m:n eron vertailumittaukseen. Tuolloin GDOP kävi mittausten aikana lukemassa 3.00 ja PDOP 2.20. Neljällä pisteellä tehdyissä mittauksissa pisteiden muodostaman alueen keskipiste oli kolmessa tapauksessa neljästä alle 0.1 m vertailupisteestä. Myös viivamoodimittaukset antoivat hyvän lopputuloksen.

Ahmon valaisimen mittaustuloksia oli yhteensä 66. Näistä 62 % eli 41 kpl oli alle 0.1 m:n etäisyydellä vertailupisteestä ja 18 kpl etäisyydellä 0.1–0.2 m. Mittausluokkaan 1 tulleista pisteistä viisi oli muutaman senttimetrin sisällä 0.25 m:n molemmiin puolin ja yksi 0.401 m:n päässä verrokista. Tämä mitattiin pylvään juuren tasolta alueena. Mittausluokan 2 piste poikkesi 0.604 m takymetrillä mitatusta pisteestä. Tällöin laitetta kierrätettiin paikallaan seisten valaisimen ympäri.

Ahmon jalkapallokentän reunan kaikki mittaukset olivat mittauseroissa 1e. Kuten jo aiemmin mainittiin, mittoja ei pidä ymmärtää ehdottoman tarkkoina etäisyyksinä, vaikka ne on tutkittu neljällä desimaalilla yksikkönä metri.

Pistemoodissa mitatuissa pisteissä suurin poikkeama vertailupisteestä oli 0.185 m. Etäisyydellä 0.100–0.151 m oli kahdeksan pistettä. Sivun 48 taulukosta 8 laskettuna 55 % viivamoodimittauksista täytti niille asetetun toleranssin käytetyllä 0.1m:n tutkimusmenetelmällä tarkasteltuna testipisteiden lähellä. Kolme mittaustulosta ylitti kyseisen rajan korkeintaan yhdellä millimetrillä.

Toisen mittauskerran tulokset olivat sekä piste- että viivamittauksissa heikommat kuin kahdella muulla mittauskerralla. Ensimmäisellä käyntikerralla GeoXH:n näyttämien tietojen mukaan satelliitteja on ollut 13–18. Muilla kerroilla niitä on ollut pääsääntöisesti 10–14. Toisen kerran satelliittigeometrian mukaan satelliitteja on ollut mittauseroista kaakkoon runsaammin kuin muilla suunnilla. Tämän vuoksi noin 1/3 nurmen reunan pistemoodimittauksista oli yli 0.1 m vertailukoordinaateista.

Kun tutkittiin viivamittausten suurimpia poikkeamia vertailuviivasta koko testausmatkalla eli pisteiden C–5 välillä, ensimmäisen mittauskerran tulokset olivat parhaimmat. Suurin poikkeama oli 0.1045 m. Muut suurimmat erot olivat 40–94 mm. Mitatut viivat olivat vertailuviivan molemmilla puolilla. Toisen mittauskerran koko testausmatkan suurimmat poikkeamat vertailuviivasta olivat välillä 0.1220–0.2000 m, ja kaikki mitatut testiviivat olivat vertailuviivan pohjoispuolella. Viimeisellä kerralla suurimmat erot vertailuviivasta olivat suuruusluokkaa 0.1317–0.2063 m. Testiviivat asettuivat vertailuviivan eteläpuolelle muuten, mutta lännessä pisteiden 4 ja 5 välillä niistä yksi siirtyi vertailuviivan pohjoispuolelle ja muutkin viivat lähestyivät vertailuviivaa.

Avarilla alueilla Ahmon valaisimen mittauksista 62 %, nurmikon pistemittauksista 67 % ja viivamittauksista 55 % oli 0.1 m:n etäisyydellä vertailupisteestä tai -viivasta. Kasurilan paalun V prosenttiluku oli 56 ja rannan paalujen prosenttiluvut 81, 71 ja 43. Kaikkien avarien alueiden mittausten keskihajontaluvuista on tehty kooste taulukkoon 26.

Taulukko 26. Avarien alueiden keskihajontaluvut.

	Valaisin A	Nurmi C-E	Paalu V	Paalut X-Z	Yht. neliös.	Yht. k-hajonta
x(s)	0,111	0,092	0,088	0,092	1,610	0,099
y(s)	0,088	0,032	0,036	0,085	0,988	0,078
Tuloksia	66	27	9	63	Yhteensä =	165

### 11.3 Puolipeitteisten alueiden analysointi

Harjamäen polun pistemoodimittauksista 14 täyttää pohjakartalla kuvattavan polun tarkkuusvaatimuksen mittausluokassa 1e (taulukko 27). Luku on 52 % tehdyistä pistemittauksista. Siilinjärvellä käytössä olevaan mittausluokkaan 2 mittaustuloksista ylsi 96 %. Polun pistekeskivirhe mittausluokassa 1e on 1m, mittausluokassa 1 se on 2 m ja mittausluokassa 2 se on 3 m. Esimerkiksi polkujen stereotulkinnassa Siilinjärvellä pyritään asemakaava-alueen ulkopuolellakin parempaan tarkkuuteen kuin 3 m.

Taulukko 27. Harjamäen testipisteiden tulosjakauma eri mittausluokissa.

Mittauslk	1e	1	2	3/1:2000
Jakauma	14	9	3	1
%-osuus	52	33	11	4
Tuloksia	27			

Viiden mittaustapahtuman alussa tai sen aikana laitteen näyttämä estimaatti tarkkuudesta oli 0.1 m. Nämä kaikki mittaustapahtumat olivat toisella mittauskäynnillä ja sen kerran kaikki paalun H mittaukset kuuluvat tähän ryhmään.

Polulla tehdyissä viivamoodimittauksista tutkittiin testipisteiden G, H, 4 ja 5 lähimpiä GeoXH:n tekemiä havaintopisteitä 36 kpl. Näistä viisi oli alle 0,1 m vertailuviivasta, 26 tulosta oli mittausluokassa 1e ja 10 mittausluokassa 1. Suurin poikkeama kaikissa paalujen G ja H kohdalla viivamittauksissa oli noin 1.06 m, pistemittauksissa se oli 3.418 m. Paalujen G ja H osalta voidaan sanoa, että viivamoodin käyttö on antanut paremmat ja tasaisemmat mittaus tulokset kuin pistemoodi. Suurin osa, 11/18, mittauksista poikkeaa alle 0.25 m vertailukoordinaateista. Pistemoodimittauksissa 0.25 m:n raja alittui neljässä 27:stä mittauksesta.

Mittaus tuloksina saatujen viivojen käyttäytymistä tutkittiin myös koko testausmatkalta. Ensimmäisellä mittauskerralla viivojen suurimmat erot olivat paalun F luona 0.115–0.2261 m vertailusuorasta ja paalujen F ja G puolivälissä kaikki testiviivat olivat sen vieressä. Paalun G jälkeen suurimmat erot havaintojen ja vertailuviivan välillä olivat 0.3353–1.3590 m. Toisella mittauskerralla suurimmat poikkeamat olivat 0.4014–1.778 m ja kolmannella kerralla 0.2665–1.2160 m. Kaikki testitulokset siirtyivät välillä H–4 vertailuviivan koillispuolelle. Kaikilla mittauskerroilla erot kasvoivat luoteesta kaakkoon päin. Kuusikkoon verrattuna männikkö on valoisampi, mutta puiden rungot ja latvukset estävät signaalien tulon GNSS-laitteeseen.

Viivamoodimittauksien visualisointikuvissa huomio kiinnittyi siihen, että testi alueen länsipuolella sijaitsevalta soratieltä syvemmälle metsään mentäessä mitatut viivat siirtyvät vertailuviivan koillispuolelle kaikilla mittauskerroilla huolimatta siitä, että polun keskilinjaa on mitattu molempiin suuntiin (kuvio 13). Ero vertailuviivasta suurenee metsää kohti mentäessä kaikissa mittauksissa. Polku ei ole suora, mutta se alkaa kaartaa päinvastaiseen suuntaan.

Harjamäen mittauksissa satelliittien asemat mittauspaikkaan nähden olivat hyvät. PDOP-arvo oli korkeimmillaan 1.32 pistemittausten aikana.

Kasurilan paalun U osalta mittaustulokset olivat huomattavasti paremmat kuin Harjamäen pistemoodimittaukset. Kasurilassa 67 % tuloksista alitti etäisyyden 0.1 m vertailumittaukseen. Harjamäen pistemittauksista 7 % oli sallitulla etäisyydellä vertailumittauksesta. Mittaustuloksista lasketut keskihajontaluvut tuovat esille sen, että puolipeitteisiin alueisiin luokitellut kohteet olivat keskenään eri asemassa (taulukko 28).

Taulukko 28. Puolipeitteisten alueiden keskihajontaluvut.

	Paalut F-H	Paalu U	Yht. neliös.	Yht. k-hajonta
x(s)	1,220	0,082	38,723	1,052
y(s)	0,658	0,041	11,285	0,568
Tuloksia	27	9	Yhteensä =	36

#### 11.4 Peitteisten alueiden analysointi

Kasurilan metsän rajassa olleen paalun T mittaustuloksista 89 % toteutti 0.1 m:n tarkkuusvaatimuksen vertailupisteeseen nähden. Ahmon lehtipuun kohdalla näin oli 28 kertaa 69:stä tuloksesta eli n. 41 %. Puun yhden pisteen 12:sta mittauksesta 10 kuuluu mittausluokkaan 1e ja loput 2 luokkaan 1. Suurin ero vertailumittaukseen oli 0.90 m (taulukko 12). Kyseisen mittauksen aikana kämmenmikroa kierrätettiin puun ympäri paikallaan seisten. Laitteen näyttämä tarkkuusarvio oli 0.61–0.90 m, mutta hetkellisesti se oli 2.80 m.

Kun usealla pisteellä tehdyissä Ahmon lehtipuun mittauksissa pisteet yhdistettiin viivoilla toisiinsa ja mitattiin alueen keskipiste, se oli huonoimmassa tuloksessa 0.36 m ja parhaimmassa noin 0.04 m vertailupisteestä. Kolmella ja neljällä pisteellä tehdyistä mittauksista saatiin 20 keski- ja leikkauspistettä. Näistä 10 on alle 0.1 m:n etäisyydellä vertailukoordinaateista.

Lehtipuun kaikki 18 viivamoodimittausta kuuluvat mittausluokkaan 1e (taulukko 13). Myös aluemoodimittauksia tehtiin 18 (taulukko 14). Näistä kaikki kuuluivat mittausluokkaan 1e lukuunottamatta havaintoa 069, joka kuului mittausluokkaan 2.

Taulukosta 29 nähdään, että paras lopputulos oli viivamoodimittauksessa. Kolmella pisteellä tehtyjä mittauksia oli vain yksi. Näiden pisteiden kautta piirretyn alueen keskipiste poikkesi vertailupisteestä 0.109 m.

Taulukko 29. Ahmon lehtipuun mittaustapojen vertailu.

Pisteitä	Mittaustuloksia (kpl)	≤ 10,0 cm (kpl)	≤ 10,0 cm (%)
1	12	2	17
3	1	0	0
4	20	10	50
<b>Yhteensä</b>	<b>33</b>	<b>12</b>	<b>36</b>
Viivamoodi	18	11	61
Aluemoodi	18	5	28
<b>Kaikki yht.</b>	<b>69</b>	<b>28</b>	<b>41</b>

Tuloksista 34 oli välillä 0.10–0.46 m:n päässä oikeasta pisteestä. Neljällä pisteellä tehdyt mittaukset poikkesivat verrokipisteestä pääsääntöisesti alle kymmenestä senttimetrinä 25 senttimetriin. Yli 0.6 m poikkeamia oli seitsemän eli n. 10 % tuloksista. Näistä suurin ero oli 1.046 m. Tämä oli 10.7.2012 ja etäisyys vertailupisteestä oli noin kolminkertainen kahteen muuhun aluemoodimittaukseen nähden.

Hautausmaan valaisimen mittauksissa kaikki tulokset olivat kauempana kuin 0.1 m vertailupisteestä ja ne jakautuivat kaikkiin mittaustuokkiin (taulukko 30).

Taulukko 30. Hautausmaan valaisimen tulosjakauma eri mittaustuokissa. Kaksi toteutumatta jäänyttä mittaustulosta muodostavat noin 5.5 % mittaustuloksista.

Mittaustuokka	1e	1	2	3/1:2000	3/1:5000
Jakauma	3	6	10	10	5
%-osuus	8	17	28	28	14
Tuloksia	36				

Hautausmaan valaisimen ensimmäisellä mittauksella GeoXH:n arvio paikannustarkkuudesta vaihteli välillä 0.75–2.50 m. Tarkimmillaan mittaustulos oli viivamoodimittauksessa 0.140 m, ja sen mittauksen aikana laitteen näyttämä tarkkuusestimaatti vaihteli välillä 0.78–1.50 m. Huonoin valaisimen mittaustulos poikkeaa yhden pisteen mittauksessa, jossa laitteen kanssa kierrettiin valaisimen ympäri, 2.458 m vertailukoordinaateista. Tämän mittaustuloksen aikana laitteen tarkkuusarvio vaihteli välillä 0.88–2.40 m.

Toisen mittauskäynnin paras mittaustulos poikkesi 0.374 m verrokkipisteestä viivamoodimittauksessa. Tällöin tarkkuusestimaatti oli 0.1–1.2 m. Heikoin mittaustulos oli 1.083 m tarkkuuden vaihdellessa sen mittauksen aikana välillä 0.83–4.60 m. Tämä tulos oli yhden pisteen mittauksessa, jossa laitteen kanssa kierrettiin valaisimen ympäri.

Viimeisellä mittauskerralla valaisimen kaikissa viiva- ja aluemoodimittauksissa käytettiin nauhaa, jonka avulla laitteen etuosan etäisyys pysyi valaisinpylvään pinnasta 0.5 m:n etäisyydellä. Valaisimen päälle laskeutuvat sorakäytävän toisella puolella olevan kuusen oksat. Tarkoitus oli tutkia, pienentääkö nauhan käyttö katveen vaikutusta. Mittaustavalla ei kuitenkaan ollut huomattavissa positiivista vaikutusta mittaustuloksiin, koska liikkumista estivät koristekasvit, ja paikannin ehti tekemään paljon toisistaan poikkeavia havaintoja.

Viimeisen mittauskerran paras mittaustulos oli viivamoodimittauksessa, joka antoi tulokseksi 0.108 m vertailupisteestä. Tarkkuuslukemat laitteen näytöllä olivat 0.9–1.2 m. Huonoin tulos oli 3.086 m, joka tuli yhden pisteen mittauksessa, jossa paikanninta kierrätettiin valaisimen ympäri.

Valaisimen ja lehtipuun mittausten aikana PDOP-luvut olivat keskimäärin välillä 1.10–1.35 m. Kerran se on noussut mittausajan lopussa arvoon 1.45. Satelliitteja on avaruudessa ollut runsaasti kaikilla mittauskerroilla, mutta peitteisyys ja länteen ja pohjoiseen nouseva maasto ovat estäneet paikantimen kiinnittymistä niihin.

Hautausmaan lehtipuun mittaustulosten jakauma eri mittausluokkiin oli parempi kuin valaisimen (taulukko 31). Mittaustapahtumista yhdessä toteutui alle 0.1 m:n tarkkuus.

Taulukko 31. Hautausmaan lehtipuun tulosjakauma eri mittausluokissa.

Mittausluokka	1e	1	2	3/1:2000
Jakauma	13	17	3	1
%-osuus	36	47	8	3
Tuloksia	36			

Lehtipuun kaikilla mittauskerroilla GeoXH:n näytöllä näkyneet tarkkuusestimaatit vaihtelivat yhtäläillä kuin valaisimen mittauksissa. Kaikki 36 yksittäistä mittausta huomioiden paras tarkkuusestimaatti mittausten aikana oli 0.59 m



ja huonoin 6.60 m. Eri mittaustavoista tasaisimmat mittaustulokset hautausmaan lehtipuusta saatiin siten, että se mitattiin neljällä pisteellä, yhdistettiin ne viivoilla toisiinsa alueeksi ja mitattiin sen keskipisteen paikka MicroStationin keskipistetartunnalla.

Sorakäytävän reunan ensimmäisellä mittauskerralla paalun K tuloksista kaksi on hiukan kymmenen senttimetrin molemmin puolin, kolmas tulos on noin 0.97 m vertailupisteestä. Paikantimen näyttämät tarkkuuslukemat olivat välillä 0.40–1.10 m. Paalun L tuloksista kaksi on viiden senttimetrin sisällä vajaan metrin etäisyydellä verrokkipisteestä. Näiden mittauksissa tarkkuusluvut olivat väleillä 0.79–1.60 m ja 0.75–1.90 m. Paalun kolmas mittaustulos oli 3.685 m vertailupisteestä ja GeoXH:n tarkkuusestimaatit vaihtelivat mittauksen aikana 1.40–1.60 m. Parin metrin päässä suuresta kuudesta olleen paalun M ensimmäisen mittauskäynnin tulokset olivat 1.625, 2.845 ja 5.963 m vertailukoordinaateista. Tarkkuusestimaatit vaihtelivat 0.72–1.20 m, 1.20–1.90 m ja 0.87–2.70 m.

Toisella mittauskerralla paalun K tuloksissa oli huomattavia eroja. Etäisyydet vertailumittaukseen olivat 0.825 m, 3.167 m ja 4.422 m. Paalun kolmen mittauksen aikana tarkkuudet vaihtelivat välillä 1.10–1.50 m. Paalun L tuloksista yksi on alle 0.1 m ja muut etäisyydet olivat noin 1.07–1.36 m. Tämän paalun mittausten aikana tarkkuusestimaatin vaihteluvälit olivat suuremmat kuin paalun K kohdalla. Näissä mittauksissa alhaisin lukema oli 0.31 m ja huonoin 1.40 m. Paalun M heikoin etäisyys vertailumittauksesta oli 1.287 m, vaikka tarkkuus oli koko mittauksen ajan 0.1 m. Muut tulokset ovat noin 0.45 m ja 0.95 m. Paremman tuloksen tuottaneen mittauksen aikana tarkkuus oli 0.10–0.49 m, huonomman 0.33–1.20 m.

Kolmannella mittauskäynnillä paalun K mittaustulokset vaihtelivat 0.41–1.40 m ja tarkkuudet 0.39–1.10 m. L-paalun ensimmäinen tulos oli 9.066 m vertailukoordinaateista. Sen havaintojakson aikana tarkkuus vaihteli laitteen näytöllä välillä 1.10–1.90 m. Saman paalun toisen mittauksen tulos oli 2.336 m ja kolmas 1.948 m. Tarkkuudet olivat väleillä 1.20–1.30 m ja 0.69–1.20 m. Paalun M mittaustulokset olivat 2.804 m, 0.135 m ja 0.018 m. Näiden mittauksissa laitteen estimaatit tarkkuudesta vaihtelivat 0.95–2.00 m, 0.30–1.10 m ja 0.40–0.86 m.

Taulukko 32. Sorakäytävän pistemoodimittausten tulosjakauma eri mittausluokissa.

Mittauslk	1e	1	2	3/1:2000	3/1:5000	>3/1:5000
Jakauma	6	7	4	5	3	2
%-osuus	22	26	15	19	11	7
Tuloksia	27					

Viivamoodimittauksissa tuli testipisteiden L–5 luota tuloksia yhteensä 36 kpl. Näistä 17 täyttää mittausluokan 1e tarkkuusvaatimuksen (taulukko 22). Pistteistä 11 sijoittuu mittausluokkaan 1, kolme on mittausluokassa 2, neljä 3/1:2000 ja yksi mittausluokassa 3/1:5000. Tämä on parempi tulos kuin pistemoodimittauksissa (taulukko 32).

Pohjoisimpana olleen paalun L luona viivamittausten tulokset ovat suurimaksi osaksi vertailuviivan vasemmalla puolella etelästä päin katsottuina. Eteläisimmän testipisteen 5 kohdalla mitatut viivat ovat etupäässä siirtyneinä vertailuviivan oikealle puolelle.

Koko testausmatkalla K–5 sorakäytävän reunan viivamoodimittaukset poikkesivat suurimmissa tapauksissa verrokkiviivasta 1.6098–3.1675 m ensimmäisellä mittauskäynnillä. Tarkkuusestimaatti oli kerran 0.1 m. Suurimmat estimaatit olivat 2.3 m, 5.3 m ja 5.8 m. Toisella mittauskerralla suurimmat välimatkat verrokista olivat 0.3358–0.8434 m. Laitteen näyttämä tarkkuus vaihteli 0.1–1.4 m. Etupäässä se oli yhden metrin paikkeilla. Kolmannella kerralla havaintojen poikkeamat vertailuviivasta olivat enimmillään 0.6071–1.7275 m. Tällä käyntikerralla GeoXH:n näyttämä tarkkuus oli tasaisesti 0.64–2.50 m.

Hautausmaan nurmialueen pistemittauksista N–S kolme oli alle 0.1 m, mikä on 17 % mittaustuloksista. Tulokset jakautuivat kaikkiin mittausluokkiin (taulukko 33).

Taulukko 33. Hautausmaan nurmialueen pistemittausten tulosjakauma eri mittausluokissa.

Mittausluokka	1e	1	2	3/1:2000	3/1:5000
Jakauma	4	2	7	4	1
%-osuus	22	11	39	22	6
Tuloksia	18				

Nurmialueen aluemoodimittausten tulosten yhteinen piirre oli, että ne osittain noudattivat vertailumittausta. Alue on lähes suorakaiteen muotoinen ja pitkällä sivuilla mittaustulos paikoitellen asettuu lähelle vertailumittausta. Molemmis- sa päädyissä alue poikkeaa 1.0–2.5 metriä vertailumittauksesta, yleensä ulospäin. Paikantimen ilmoittamat tarkkuudet olivat alimmillaan 0.71 m. Suu- rimmat estimaatit olivat 5.3 ja 7.1 ja 9.0 m. Taitepistemittauksissa lopputulok- set olivat siistimmät, mutta alueen nurkkapisteissä oli samaa suuruusluokkaa olevat poikkeamat kuin niiden muissakin mittauksissa.

Juoksuhaudan mittaustulosten tarkasteluun käytettiin polkua koskevia mitta- usluokkien rajoja. Takymetrikartoitusta käytettiin vertailuviivana, jonka ympä- rille rajaukset piirrettiin. Testipisteen 4 kohdalla olleen kaaren keskikohta oli jätetty kartoittamatta takymetrillä. Pistemoodimittausten tulosten etäisyydet takymetrillä mitatuista taitepisteistä olivat muutamasta senttimetristä lähes kymmeneen metriin. Suurimmaksi osaksi erot olivat välillä 0.5–2.5 m. Viiva- moodimittaukset tuottivat paremman lopputuloksen kuin pistemittaukset. Toi- sin paikoin kaikki viivamittaukset asettuivat vertailuviivan lähelle. Paikoitellen ne erosivat sekä toisistaan että vertailuviivasta yli kaksi metriä.

Kaikkien peitteisillä alueilla tehtyjen pistemoodimittausten keskihajontaluku- jen yhteenveto on esitetty taulukossa 34. Juoksuhaudan mittauksista ei voitu tehdä keskihajontalukujen laskelmia. Taulukoon 35 on laskettu kaikkien tässä opinnäytetyössä tehtyjen pistemoodimittausten yhteiset keskihajontaluvut.

Taulukko 34. Peitteisten alueiden keskihajontaluvut.

	Lehtipuu B	HAUTA	Paalu T	Yht. neliös.	Yht. k-hajonta
x(s)	0,240	1,336	0,075	203,738	1,038
y(s)	0,206	1,073	0,036	131,802	0,835
Tuloksia	68	113	9	Yhteensä =	190

Taulukko 35. Kaikkien alueiden yhteiset keskihajontaluvut.

KAIKKI ALUEET	Yht. neliös.	Yht. k-hajonta
x(s)	244,070	0,791
y(s)	144,075	0,608
Tuloksia yhteensä:		391

## 12 POHDINTA

Parhaiten 0.1 m:n tarkkuus toteutui silloin, kun kämmenmikro näytti 0.1 m:n tarkkuutta mittauksen alussa ja jos sama tarkkuus säilyi koko mittauksen ajan. Kun satelliittigeometria on hyvä ja monitieheijastuksia on vähän, varsinkin avaralla mittauspaikalla päästään hyviin mittaustuloksiin. Jos GeoXH näytti mittaustapahtuman alussa huonompaa tarkkuutta kuin 0.1 m, mutta mittauksen aikana tarkkuuslukema oli välillä 0.1 m ja nousi jälleen huonommaksi, oli mittaustulos yleensä huonompi kuin ensin mainitussa tapauksessa. Jos tarkkuuslukema oli parhaimmillaan 0.1 m ja huonoimmillaan yli metrin, mittaustuloksen voi odottaa poikkeavan vähintäänkin metrin oikeasta sijainnista.

Mitä tiheämmin ja laajemmalla alueella tarkkuusestimaatti vaihteli mittaustapahtuman aikana, sitä todennäköisemmin mittaustulos poikkesi oikeasta arvosta. Jos tarkkuusestimaatti vaihteli rauhallisesti ja pienellä vaihteluvälillä, esim. 0.2–0.3 m, mittaustulos oli parempi kuin silloin, kun tarkkuuslukemat vaihtuivat tiheästi ja muutamasta kymmenestä senttimetristä pariin metriin. Näin oli siitäkin huolimatta, että tarkkuusestimaatti oli noin 1.0–1.2 m. Näissä tapauksissa oli poikkeuksia. Jos tarkkuusestimaatti oli lähellä kahta metriä tai sen yli, lopputulos poikkesi metreissä oikeasta paikasta.

Osassa avaralla ja kuusikkoisessa paikassa tehdyissä valaisinten sekä avaran paikan lehtipuun mittauksissa laitteen etuosa oli 0.05–0.50 m:n etäisyydellä mitattavasta kohteesta. Jos tarkkuusestimaatti vaihteli useita kymmeniä senttimetrejä ja/tai satelliittien lukumäärä vaihteli vilkkaasti mittauksen aikana, välin vaikutus lopputulokseen oli heikentävä. Mutta jos tarkkuusarvio oli 0.1 m tai nähtävissä olevien lukemien vaihtelu oli vähäistä, niin silloin etäisyys paransi mittauksen tarkkuutta lehtipuun mittauksissa.

Pistemoodimittauksissa laitteen kanssa kohteen ympäri kiertäminen ja laitteen kierrättäminen paikalleen seisoen tuottivat tasapuolisesti toistensa kaltaisia tuloksia. Kun laitetta kierrätetään mitattavan kohteen ympäri, sen joutuu vaihtamaan kohteen takana toiseen käteen. Siinä vaiheessa liike on epätasaista ja laite ennättää tekemään varsinkin yhden sekunnin välein havaintoja tehtäessä enemmän havaintoja kuin muun liikkeen aikana. Usein näiden

mittausten tulokset olivat kuvaruudulla hyvin monikulmaisia. Lisäksi laite saattaa pudota kättä vaihdettaessa.

Kun verrattiin keskenään pistemoodimittauksia, joissa laitteen kanssa kierrettiin kohteen ympäri ja vastaavalla tavalla tehtyjä aluemoodimittauksia, paremman tuloksen lähes poikkeuksetta antoi aluemoodimittaus. Selkeitä eroja ei ollut nähtävissä näiden kahden moodin välillä siinä, pidettiinkö laitteen etuosaa mittauksen aikana kohdetta kohti, vai osoittiko se menosuuntaan. Kun huomioitiin myös usealla pisteellä tehdyt ja viivamoodimittaukset, niin vaihtoehto etuosa kohdetta kohti oli parempi.

Valaisimien ja lehtipuiden ympäriltä mitattiin kolme tai neljä pistettä. Kun pisteet yhdistettiin viivalla toisiinsa ja mitattiin saadun alueen keskipiste, niin useimmilla mittauskerroilla viiva- ja aluemoodimittausten antamat tulokset olivat parempia.

Kaikissa viivamittauksissa oli havaittavissa, että GeoXH teki havaintoja ohi lähtö- tai päätepisteen tai vastavuoroisesti viiva jäi vajaaksi pisteeseen nähden. Jos mittauksen aloittaa esim. 10 m ennen aloituspistettä ja lopettaa mitaamisen reilusti päätepisteen jälkeen, saa riittävän pitkän viivan. Avaralla paikalla paaluilla merkityn ja paaluttoman mittausosuuden välisissä mittaus-tuloksissa ei ollut mitään erityisiä poikkeuksia toisiinsa verrattuina. Puolipeitteisessä ja peitteisessä maastossa oli havaittavissa, että mitatut viivat pyrkivät siirtymään vertailuviivan toiselle puolelle.

Visualisointikuvissa pisteet olivat usein ryhmittyneet jollekin puolelle mitattua kohdetta ja jollekin puolelle niitä ei tullut lainkaan. Vaikka jotkut mittaustulokset ovat lähellä toisiaan, ne voivat olla esim. metrin etäisyydellä oikeasta paikasta. GeoXH on orientoinut itsensä näin Maan pinnalle VRS-verkosta saamansa tiedon perusteella. Pistemittauksissa kolmesta mittaustuloksesta usein kaksi oli lähekkäin ja kolmas kauempana. Avaralla urheilualueella lähes kaikissa näissä tapauksissa kaksi lähekkäin olevaa tulosta olivat lähempänä oikeaa pistettä kuin yksi erillään ollut piste. Peitteisellä alueella näin oli noin puolessa, metsän ja rannan lähellä korkeintaan 1/3:ssa kaikista paalumittauksista.

Täysin selkeää yhteyttä laitteen näyttämän satelliittien lukumäärän ja tarkkuusestimaatin välillä ei näyttänyt olevan. Satelliittien lukumäärän, tarkkuusestimaatin ja mittaustuloksen perusteella ei voida piirtää käyrää tai laatia taulukkoa, josta voitaisiin hakea tietoa siihen, mitkä seikat täytyy toteuttaa, jotta mittaustulokseen saataisiin tietty tarkkuus tietyssä ympäristössä. Mittausympäristöllä ja signaalin laadulla on suuri merkitys GeoXH:n tuottamaan mittaustulokseen. Havumetsä estää tehokkaasti signaalien saapumisen paikannuslaitteeseen.

Testauspaikoissa oli mukana alueita, jotka tiedettiin ennakolta satelliittipaikannuksen kannalta hankaliksi. Tämä sekä valaisinpylväiden ja lehtipuiden pistemoodimittauksissa eri mittaustapojen kokeilu vaikuttivat siihen, että suuri osa tuloksista ei täyttänyt 0.1 m:n tarkkuutta. Metsän reunassa pellolla ja rannan läheisyydessä tehtyjen mittausten tuloksia heikensivät monitieheijastukset, joita ei etukäteen osattu riittävästi ottaa huomioon.

Avarilla ja puolipeitteisillä alueilla lähes kaikki mittaustulokset olivat stereotulokinnan tasoa, lehtipuun osalta usein parempia. Jos alueesta riittää stereotulokinnan taso, siitä riittää myös GeoXH-mittaus. Kämmenmikrolla voidaan ajantasaistaa pohjakartalle maastokuvioiden reunoja, joita ovat mm. pellon, niityn, metsän ja suon reuna. Laitetta voidaan käyttää ojan ja puron pohjien ja reunojen, luiskien, rakennelmien, aitojen ja kaiteiden mittauksiin. Poluista ja kevyttä liikennettä varten rakennetuista väylistä paikannetaan keskilinja ja leveys mitataan mittanauhalla. Asemakaava-alueiden kestopäällystetyt väylät Siilinjärvellä yleensä kartoitetaan maastossa. Pistemäisiä kohteita, kuten pylväk, iso kivi ja rummun suu, voidaan ajantasaistaa avaralta paikalta. Puolipeitteisellä alueella nämä kannattaa mitata useampaan kertaan.

Alue- tai viivakohde on parempi mitata joko alue- tai viivamoodissa kuin pistemoodissa. Avaralla mittausalueella aluemoodi antoi useimmin tarkimman mittaustuloksen, kun pistemäistä kohdetta mitattiin kohteen ulkopuolelta. Näissä mittauksissa myös viivamoodissa tehdyt mittausten tulokset olivat parempia kuin pistemoodimittausten tulokset. Peitteisellä alueella valaisimen ja lehtipuun mittauksissa puolestaan viivamoodia käyttämällä päästiin useimmin parhaaseen tulokseen, ja pistemittausten tulokset olivat huonoimmat. Kaikilla testausalueilla viivamaisten kohteiden mittauksissa viivamoodi-

mittaus antoi paremman tuloksen kuin pistemoodimittaus. Kohteen mittaaminen oli huomattavasti nopeampaa alue- ja viivamoodissa kuin pistemoodissa. Muutamissa aluemittauksissa mittaus lopetettiin vähän ennen kuin palattiin aloituspisteeseen. Tämän vaikutusta siihen, sulkeutuuko kuvio tasaisemmin, ei ollut selvästi huomattavissa. Jos väli on liian pitkä mitattavan kohteeseen nähden, se voi vääristää lopputulosta.

Havaintojen tarkkuuden vaihtelu kävi ilmi viiva- ja aluemoodimittausten viivojen muodosta. Tätä seikkaa voidaan hyödyntää yhdessä sen kanssa, että tarkkaillaan mittauksen aikana laitteen näyttämien tietojen vaihtelua, kun arvioidaan laitteen tekemiä virheitä avaralla ja puolipeitteisellä alueella. Kuusikoisissa paikoissa mittausten aikana oli muutamilla kerroilla hitautta havaintojen lukumäärän vaihtumisessa ja tallennuksessa. Näissä tapauksissa etäisyys oikeasta pisteestä avaran paikan lehtipuun osalta oli 0.3–0.6 m oikeasta paikasta ja peitteisellä alueella paalun mittauksessa ero oli 5.963 m. Tekemällä useita mittauksia samasta kohteesta voidaan arvioida, riittääkö tulosten tarkkuus, vai onko kohde mitattava takymetrillä. Mittaustuloksista täytyy tarvittaessa editoida jokin mutka tai piikkihavainto pois tai käyttää keskiarvoviivaa. Tuloksia täytyy oikaista niissä paikoissa, joissa havainnot selvästi heittelehtivät. Jos avaran testipaikan valaisimen ja lehtipuun aluemoodimittauksista poistetaan selkeästi poikkeavat havainnot, keskipiste lähenee oikeaa pistettä.

Peitteisistä maastoista GeoXH:lla kerätyn tiedon sijainti ei ole riittävä asema-kaavan laatimiseen. Säilytettävät yksityiskohdat on mitattava takymetrillä. Jos kämmenmikrolla mitataan peitteisessä maastossa alueita, joita erottaa toisistaan parin metrin levyinen käytävä, mittaustuloksissa alueet menevät paikoitellen päällekkäin. Tämän vuoksi on suositeltavampaa mitata pelkästään käytävien keskilinjat viivamoodissa. Näin saadaan selville käytävien lukumäärä ja minkä suuntaisia ne ovat. Mittauspaikasta kannattaa ottaa valokuvia, tehdä huomioita ympäristön maamerkeistä, ottaa kontrollimittoja ja tehdä muistiinpanoja kartalle. Täytyy harkita ja tehdä päätöksiä laitteen näyttämien tietojen perusteella, voiko mitattuja kohteita viedä pohjakartalle, vai säilyttääkö kerätyn tiedon informaationa jossain muussa tiedostossa. Mitattuun tietoon on liitettävä alkuperäkoodi, joka kertoo, mistä tietolähteestä tieto on saatu.

Eri toimialoilta löytyy paikka- ja ominaisuustiedon keräämiseen liittyviä tehtäviä, joissa kämmenmikroa voidaan käyttää. Asemakaavan laatimisen yhteydessä maastokäynnillä voidaan paikantaa esimerkiksi maastokuvioita, puita ja säilytettäviä rakennelmia. Ympäristötoimessa esim. saastuneen maa-alueen rajausta voidaan paikantaa GeoXH:lla. Laitetta voidaan hyödyntää myös uimarantojen vesinäytteiden ottamisessa. Seuraavalla kerralla vesinäyte voidaan ottaa samasta paikasta reitinnavigoinnin avulla, kun edellisellä kerralla ottopaikka on tallennettu piste- tai aluemoodissa mielellään useammalla kuin yhdellä mittauksella.

Asemakaava-alueiden viheralueet ja katupuut ovat yleensä aukeilla paikoilla. Näiden paikantamiseen ja ominaisuustietojen keräämiseen laitetta voidaan käyttää. Pinta-alatiedot eivät ole täsmällisiä, tiedon suuruusluokka voidaan saada selville. Näissäkin mittauksissa kannattaa huomioida mahdollinen ympärillä olevan kasvillisuuden ja rakennusten vaikutus mittaustuloksiin. Liikunta-alueiden rakenteiden sijoittelua varten laitteella voidaan tehdä alustavia suunnitteluun liittyviä mittauksia. GeoXH:ta voidaan hyödyntää suunnitteilla-olevien liikuntareittien ja rakennettujen latu- ja moottorikelkkareittien paikantamiseen. Laite soveltuu erilaisten reittipisteiden etsimiseen. Näitä ovat esimerkiksi rajapyykit, runko- ja käyttöpisteet, sulkuventtiilit ja kaivot.

Opinnäytetyön testimittaukset tehtiin kesäaikaan. Laitetta voitaisiin testata lehdettömänä vuodenaikana tässä työssä käytettyjen maastojen lisäksi myös lehtimetsässä. Apuna olisi hyvä olla sauva, johon laite voidaan kiinnittää. Tämä olisi antanut opinnäytetyössä varmuutta rajatapauksiin, kun tarkasteltiin 0.1 m:n tarkkuuden toteutumista. Laitteen paikannustarkkuutta voitaisiin testata avaralla paikalla olevissa kaivannoissa kuten putkityömailla. Mielenkiintoista olisi tutkia jälkilaskennan vaikutusta GeoXH:n mittaustuloksiin.

Hautausmaalla betonisen vesipisteen ja muistomerkin luona testituloksiin aiheutui suuri poikkeama käytettyyn kulkureittiin nähden. Metsän reunasta saatiin paremmat mittaustulokset kuin siitä viiden ja 10 m:n päässä pellolla olleista paaluista. Näistä syistä voitaisiin testata, miten rakennukset vaikuttavat mittaustuloksiin. Saadaanko rakennuksen sijainnista tarkemmat mittaustulokset mittaamalla nurkat mahdollisimman läheltä seinän vierestä kuin mittaamalla seinälinjat muutamien metrien päästä seinästä?



## LÄHTEET

- Geotrim Oy. 2012a. VRSnet.fi. Osoitteessa <http://www.geotrim.fi/vrsnet/>. 11.6.2012.
- Geotrim Oy. 2012b. Trimble R8GNSS-vastaanotin. Tekniset tiedot. Osoitteessa <http://www.geotrim.fi/shop/trimble-r8-gnss-vastaanotin/>. 17.7.2012
- Geotrim Oy. 2012c. Trimble S6 Robottitakymetri. Tekniset tiedot. Osoitteessa <http://www.geotrim.fi/shop/trimble-s6-robottitakymetri/>. 20.7.2012.
- Häkli, P. – Koivula, H. 2005. Reaaliaikaisen GPS-mittauksen laatu. Geodeettisen laitoksen julkaisuja Maanmittaus 80:1-2 (2005).
- Immonen, K. 2012. Tuotepäällikkö. Geotrim Oy. Sähköposti 31.8.2012.
- Kaavoitusmittausasetus 23.12.1999/1284. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19991284>. 22.6.2012.
- Laurila, P. 2009. Satelliittimittaukset. LearnLinc-luento Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteiden opintojaksolla Rovaniemen ammattikorkeakoulussa 17.11.2009.
- Laurila, P. 2010. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro 3. Rovaniemi: Tornion kirjapaino.
- Laurila, P. 2011. Virheet ja tarkkuus. LearnLinc-luento Geodeettisen laskennan opintojaksolla Rovaniemen ammattikorkeakoulussa 3.3.2011.
- Laurila, P. 2012. Ilmakehään liittyvät ilmiöt. LearnLinc-luento Geofysiikan opintojaksolla Rovaniemen ammattikorkeakoulussa 2.4.2012.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132. Osoitteessa <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>. 22.6.2012.
- Maanmittauslaitos. 1997. Kaavan pohjakartta 1997. Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 85. Osoitteessa [http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavan\\_pohjakartta\\_1997.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavan_pohjakartta_1997.pdf). 15.6.2012.
- Maanmittauslaitos. 2003. Kaavoitusmittausohjeet 2003. Osoitteessa [http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet\\_2003\\_0.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/kaavoitusmittausohjeet_2003_0.pdf). 18.7.2012.
- Mäenpää, S. 2012a. Tuotepäällikkö. Geotrim Oy. Sähköposti 14.6.2012.
- Mäenpää, S. 2012b. Tuotepäällikkö. Geotrim Oy. Haastattelu 26.10.2012.

Tötterström, S. 2010. Katsaus VRS-teknologian nykytilaan ja tulevaisuuteen.  
Maankäyttö 3/2010, 9-13.

**LIITTEET**

GeoXH 6000 Series tekniset tiedot	Liite 1
Mittauspöytäkirjamallit	Liite 2
Kasurilan paalujen T, U ja V visualisointikuvat	Liite 3
Juoksuhaudan tulokset mittauskerroilta 1 ja 2	Liite 4



#### TÄRKEIMMÄT OMINAISUUDET

**Trimble Floodlight -teknologia**  
Parempi tuottavuus ja tarkkuus vaikeissa olosuhteissa

**Auringonvalossa luettava näyttö**  
Poikkeuksellisen selkeä kirkaassa auringonvalossa

**3.5G -datamodeemivalmius**  
Nopeat Internet-yhteydet maastossa

**5 megapikselin autofokus-kamera**  
Linkitä ottamasi korkealaatuiset valokuvat suoraan ominaisuustietoihin

**Lennessa vaihdettava akku**  
Akun vaihto kätevästi työtä keskeyttämättä. Virtaa riittää koko päiväksi.



#### HALUAMASI TARKKUUS KAIKKIALLA

Trimble® GeoExplorer® 6000 -sarjassa tuottavan paikkatiedonkeruun olennaiset toiminnot on integroitu yhteen laitteeseen, joka tarjoaa Trimble Floodlight™ -tekniikan ansiosta hyvän sijaintitarkkuuden myös haastavissa GNSS-tilanteissa, kuten puiden alla ja rakennusten lähellä. Missä sitten työskenteletkin, toimivuus on taattu.

#### Tarkkaa, tuottavaa, luotettavaa tiedonkeruuta

Sisäisen GPS/GLONASS-vastaanottimen ja kaksitaajuuksisen GNSS-antennin ansiosta voit luottaa Trimble GeoExplorer 6000 -sarjan tarjoamaan tarkkuuteen, kun tallennat uusia kohteita, tai navigoit aiemmin tallennettuihin pisteisiin.

Kun käytät Trimblen tehokkaita maasto- ja toimisto-ohjelmistoja yhdessä GeoExplorer 6000 -sarjan kanssa, voit työskennellä nopeammin ja useammissa paikoissa kuin koskaan aikaisemmin. Trimble GeoExplorer pystyy tarjoamaan reaaliaikaisesti tai jälkilaskettuna jopa cm-tarkkuuden maastossa, joten voit jo työmaalla ollessa luottaa siihen, että työ on tehty oikein.



Puut ja rakennukset luovat satelliittien katvealueita, joissa luotettava ja tarkka GNSS-tiedonkeruu ei onnistu. Trimble Floodlight -tekniikan ansiosta GeoExplorer 6000 -sarjan kämmenmikrot jatkavat käyttökelpoisen sijaintitiedon tuottamista puiden alta tai kaupunkien katualueilta. Työ keskeytyy harvemmin, tiedot saadaan tarkemmin, nopeammin ja pienemmällä kustannuksilla.

#### Suunniteltu toimimaan, missä sitten työskenteletkin

Trimble GeoExplorer toimii haluamallasi tavalla. Laitteen 5 megapikselin, geotagging-ominaisuudella varustettu autofokus-kamera on parhaimpia menetelmiä kerätä tietoa kohteesta, tilanteesta tai työmaasta. Auringonvalossa luettava näyttö pysyy poikkeuksellisen kirkaana kaikissa ulko-olosuhteissa ja teksti ja kuvat ovat näytöllä selkeitä. Lisäksi valinnaisena saatava 3.5G-datamodeemi mahdollistaa jatkuvan pääsyn verkkoon ja Internetiin. Voit hyödyntää reaaliajassa karttoja, web-pohjaisia palveluja, Trimble VRS™ -korjauksia ja päivittää tietoja maastossa.



Trimble GeoExplorer 6000:lla saat kaiken.

## TRIMBLE GEOEXPLORER 6000 SERIES

## LAITEMALLIT

	GeoXH	GeoXT
Tarkkuus	Desimetri/Senttimetri	Alle metri
Floodlight	Kyllä	Valinnainen
Datamodeemi	Valinnainen	Valinnainen
Kamera	5 MP	5 MP

## GNSS

Vastaanotin ..... Trimble Maxwell™ 6 GNSS-piirisarja  
 Kanavat ..... 220 kanaava  
 Järjestelmät ..... GPS, GLONASS, WAAS/EGNOS/MSAS  
 Päivitysväli ..... 1 Hz  
 Paikannuksen käynnistysaika ..... 45 s (tyypillisesti)  
 NMEA-0183 tuki ..... Valinnainen  
 Trimble Floodlight-tekniikka ..... Valinnainen  
 RTCM-tuki ..... RTCM2.x/RTCM3.x  
 CMR-tuki ..... CMR/CMR+/CMR+

## GeoXT-kämmenmikrot

GPS ..... L1C/A  
 GLONASS ..... L1C/A, L1P

## GeoXH-kämmenmikrot

GPS ..... L1C/A, L2C, L2E  
 GLONASS ..... L1C/A, L1P, L2C/A, L2P

GNSS-TARKKUUS<sup>2</sup>

## GeoXH Centimeter Edition

## Reaaliaikainen senttimetripaikannus

Taso (ulkoisen antenni) ..... 1 cm + 1 ppm  
 Korkeus (ulkoisen antenni) ..... 1,5 cm + 2 ppm  
 Taso (sisäisen antenni) ..... 2,5 cm + 1,2 ppm  
 Korkeus (sisäisen antenni) ..... 4 cm + 2 ppm

## Jälkilaskettu senttimetripaikannus

Taso (ulkoisen antenni) ..... 1 cm + 1 ppm  
 Korkeus (ulkoisen antenni) ..... 1,5 cm + 2 ppm  
 Taso (sisäisen antenni) ..... 2,5 cm + 1,2 ppm  
 Korkeus (sisäisen antenni) ..... 4 cm + 1,5 ppm

## Kaikki GeoXH-kokoonpanot

Reaaliaikainen ja jälkilaskettu H-Star (Korkeus, RMS)  
 H-Star ..... 10 cm + 1 ppm

## Kaikki GeoXH- ja GeoXT-kokoonpanot

Reaaliaikainen DGNS5 (Taso, RMS)

Koodi ..... 75 cm + 1 ppm  
 SBAS<sup>4</sup> (WAAS/EGNOS/MSAS) ..... Tyypillisesti < 1 m

## Jälkilaskettu DGNS5 (Taso, RMS)

Koodi ..... 50 cm + 1 ppm  
 Kantoaallo (45 min jälkeen) ..... 1 cm + 2 ppm

## YMPÄRISTÖMÄÄRITYKSET (MIL-STD-810G)

Pudotus ..... 1,2 m betonin päällä olevat vanerileikut ..... Menetelmä 514.6 Menetelmä I  
 Täristys ..... Menetelmä 514.6 Menetelmä I  
 Suhteellinen kosteus ..... 95 % suojattu  
 Suurin käyttökorkeus merenpinnasta ..... 3658 m  
 Suurin tallennuskorkeus ..... 5000 m

© 2012, Trimble Navigation Limited. Kaikki oikeudet pidätetään. Trimble, maapallo ja kolme logo, GeoExplorer ja GPS Pathfinder ovat Trimble Navigation Limitedin tavaramerkkejä, jotka on rekisteröity Yhdysvalloissa ja muissa maissa. Floodlight, GeoXH, GeoXT, GPS Analyst, GPScorrect, H-Star, Manasli, Position, Tempel, TerraSync, Tornado, TrimPix, VRS ja Zephyr ovat Trimble Navigation Limitedin tavaramerkkejä. Microsoft ja Windows Mobile ovat joko rekisteröityjä tavaramerkkejä tai Microsoft Corporationin tavaramerkkejä Yhdysvalloissa ja/tai muissa maissa. Bluetooth-tavaramerkki ja logo ovat Microsoftin, Inc. ja muissa maissa Trimble Navigation Limitedin suostuttama käyttö on lisensointia. Kaikki muut tavaramerkit ovat omistajien omaisuutta. Pn: 02-2567-2654-FIN 6/21/12

## LÄMPÖTILA

Käyttö ..... -20 °C ... +60 °C  
 Varastointi ..... -30 °C ... +70 °C

## KOTELOINTI

VesiPöly ..... IP65

## KOKO JA PAINO

Korkeus ..... 234 mm  
 Leveys ..... 99 mm  
 Syvyys ..... 56 mm  
 Paino (sis. akun) ..... 925 g

## AKKU

Tyyppi ..... Ladtattava, irrotettava Li-ion  
 Teho ..... 11,1 V 2,5 AH  
 Latausaika ..... 4 tuntia (tyypillisesti)

AKUN KESTO<sup>5</sup>

	GeoXH	GeoXT
GNSS	9 tuntia	11 tuntia
GNSS & Wi-Fi	8 tuntia	9,5 tuntia
GNSS & datamodeemi	6,5 tuntia	7 tuntia
Valmiustila (tyypillisesti)	50 päivää	50 päivää

## LIITTIMET JA SISÄÄNTULOT

- Sisäinen mikrofon ja kaiutin
- Mini-USB-liitin
- DE-9-sarjaportti valinnaisvarusteena olevalla USB-sarjajunttimella
- Ulkoinen virtaliitin
- SIM-paikka
- SDHC-korttipaikka

## KAMERA

Valokuvaustila ..... Autofokus 5 MP  
 Kuvatiedostomuoto ..... JPG  
 Videotila ..... VGA-resoluutio  
 Videotiedostomuoto ..... WMH ja audio

DATAMODEEMI<sup>6</sup> JA LANGATTOMAT YHTEYDET<sup>7</sup>

UMTS/HSDPA ..... 850/900/2100 MHz  
 GPRS/EDGE ..... 850/900/1800/1900 MHz  
 Wi-Fi ..... 802.11 b/g  
 Bluetooth ..... Version 2.1 + EDR

## NÄYTTÖ

Tyyppi ..... Transflektiivinen LED-taustavalaistu LCD  
 Koko ..... 4,2" (diagonaali)  
 Resoluutio ..... 480x640  
 Luminanssi ..... 280 cd/m<sup>2</sup>

## LAITTEISTO

Prossessori ..... TI OMAP 3503  
 RAM ..... 256 MB  
 Flash-muisti ..... 2 GB  
 Ulkoinen muisti ..... SDSDHC, 32 GB

## KIELET

- Englanti, espanja, ranska, saksa, italia, portugali (brasilialainen), kiina (yksinkertaistettu), korea, japani, venäjä

## PAKKAUKSEN SISÄLTÖ

GeoExplorer 6000-sarjan kämmenmikro, ladattava akkupakkaus, säilytyspussi ja rannehiha, USB-kaapeli, verkkovirtälähe, näytön suojakalvopakkaus, näytötkynä (vара), ja naru, dokumentaatio

## LISÄVARUSTEET

- Trimble Zephyr™ Model 2, ulkoinen GNSS-antenni
- Trimble Tornado™, ulkoinen GNSS-antenni
- Trimble Tempest™, ulkoinen GNSS-antenni
- Autolaturi
- 1,5 m & 5 m ulkoinen antennikaapeli
- Kantoissuvavarustus ulkoiselle antennille
- Reppuvarustus ulkoiselle antennille
- Ajoneuvoteline
- Kuljetuslaukku
- Nolamodeemikaapeli
- USB-sarjajunnin

## YHTEENSOPIVAT OHJELMISTOT

- Trimble TerraSync -ohjelmisto
- Trimble GPScorrect™ -laajennus Eri ArcPad -ohjelmistolle
- Trimble GPS Controller -ohjelmisto
- Trimble GNSS Connector -ohjelmisto
- Trimble GPS Pathfinder™ Office -ohjelmisto
- Trimble GPS Analyst™ -laajennus Eri ArcGIS for Desktop -ohjelmistolle
- Trimble TrimPix™ Pro system
- Trimble GPS Pathfinder Field Toolkit -sovelus
- Trimble Positions™ -tookit -sovellukset
- Kolmannen osapuolen NMEA-pohjaiset sovellukset

- 1 GLONASS on saatavissa GeoXH- ja GeoXH-kämmenmikroihin Floodlight-tekniikan avulla.
- 2 Tarkkuuteen ja luotettavuuteen saatavat vaikuttavat rajoitteet ja rajoitukset, saattavat vaikuttaa erityisesti korkeuteen ja vaakasuorien etäisyyksien mittaamiseen. Nouseva ainoa suojeleminen GNSS-tiedonkeruun käytäntöjä. Senttimetrin tarkkuus saavutetaan yleensä enintään 30 km:n etäisyydellä tukiasemasta. H-Star tarkkuus saavutetaan yleensä enintään 100 km:n etäisyydellä tukiasemasta. Senttimetri- ja H-Star tarkkuus saavutetaan tyypillisesti 2 minuutin sisällä. Kantoaallon jälkilaskettu tarkkuus rajoittuu enintään 10 km:n sisäin tukiasemasta.
- 3 Todettu tarkkuus koskee Zephyr Model 2 -antennia.
- 4 SBAS (Satellite Based Augmentation System). Käyttää WAAS-järjestelmän Pohjois-Ameriassa, EGNOS-järjestelmän Euroopassa ja MSAS-järjestelmän Japanissa.
- 5 Todellinen toiminta-aika vaihtelee käyttöolosuhteiden mukaan.
- 6 Ei saatavissa kaikissa kokoonpanoissa. GeoXH- ja GeoXT 3.5G -kämmenmikrot ovat FCCRB-sertifioituja ja toimivat tuetuissa verkkoissa, joissa ei voida käyttää kaistaalnon varmennusta. Pyydi lisätietoja paikalliselta edustajalta.
- 7 Bluetooth- ja Wi-Fi -tyyppiyhdistykset ovat maakohtaisia. GeoExplorer 6000-sarjan kämmenmikroilla on Bluetooth- ja Wi-Fi -yhtäkyntä Yhdysvalloissa ja useimmissa Euroopan maissa. Pyydi lisätietoja paikalliselta edustajalta.

Pidättämme oikeuden muuttaa tuotespesifikaatioita ilman erillisiä ilmoituksia.



POHJOIS- JA ETELÄ-AMERIKA	EUROOPPA JA AFRIKKA	AASIA, TYNNYMEREN ALUE JA LAHI-ITÄ
Trimble Navigation Limited 10355 Westmoor Drive Suite #100 Westminster, CO 80021 USA +1-720-587-4574 Phone +1-720-587-4878 Fax	Trimble Germany GmbH Am Prime Parc 11 65479 Raunheim GERMANY +49-6142-2100-0 Phone +49-6142-2100-550 Fax	Trimble Navigation Singapore PTE Limited 80 Marine Parade Road #22-06 Parkway Parade Singapore 449269 SINGAPORE +65-6348-2212 Phone +65-6348-2232 Fax
PAIKALLINEN TRIMBLE TOIMISTO TAI EDUSTAJA		



www.trimble.com

## MITTAUSPÖYTÄKIRJAMALLIT

## Liite 2

**Alue** AHMO  
**Pvm** 10.7.2012  
**Klo** 16:45 - 17:10  
**Mittauskerta 3** Piirtoteknisistä syistä ja mittaustulosten analysoinnin vuoksi mittauksissa on käytetty Stella-koodeja, kuten kaivo ja katos. Koodien perusteella voidaan saman kohteen eri sijaintimittaukset erotella toisistaan. Stella-koodit ovat paikkatietojärjestelmämme ominaisuuskoodeja.

**Valaisin** Huoltoluukun yläpinta 0,93 m valaisimen juuresta ylöspäin, ympäysmitta 370 mm, säde 59 mm.  
**Piste A** Valaisimen ympäysmitta juuresta 410 mm, säde 65 mm.  
 Valaisimen juuressa olevan mustan muovin ulkoreunan etäisyys valaisimesta 53 mm.

Havainto	Yhdellä pisteellä	Sat. lkm	Tarkkuus cm/m	Huomiot
046	kaivo			lähtöpiste valaisimen itäpuolella ja mittauskorkeus 0,93 m kaikissa mittauksissa
	mittaaja kiertää valaisinta	9 - 13	10	etuosa kohti valaisinta, koillisessa ja luoteessa satelliittien määrä tippui
047	rak nurkkapiste			
	mittaaja kiertää laitetta	7 - 12	10	etuosa menosuuntaan
Havainto	Usealla pisteellä	Sat. lkm	Tarkkuus cm/m	Huomiot
048	valaisinylväs 1	11 - 12	10	itä
049	pisteiden lkm 4	13	10	pohjoinen
050	etäisyys valaisimesta n. 0,5 cm	11 - 12	10	länsi
051		12 - 13	10	etelä
Havainto	Viivamoodi	Sat. lkm	Tarkkuus cm/m	Huomiot
052	katos	10 - 11	10	etuosa menosuuntaan, mittaaja kiertää valaisinta
053	rak. seinälinja	6 - 11	10	etuosa kohti valaisinta, mittaaja kiertää laitetta
054	ojan pohja	7 - 14	10	etuosa kohti valaisinta, mittaaja kiertää valaisinta, luoteessa satelliitit tippuivat 7:ään
Piste	Aluemoodi	Sat. lkm	Tarkkuus cm/m	Huomiot
055	siita reuna alue	8 - 11	10	etuosa kohti valaisinta, mittaaja kiertää valaisinta, alku- ja loppukohdan väli n. 10 mm
056	laituri kevytrakenteinen	9 - 11	10	etuosa menosuuntaan, mittaaja kiertää valaisinta, alku- ja loppukohdan väli n. 50 mm
057	ajorata r. kestopäällystetty	10	10	etuosa kohti valaisinta, mittaaja kiertää valaisinta, alku- ja loppukohdan väli n. 50 mm

**Alue** HAUTA  
**Pvm** 4.8.2012  
**Klo** 10:10 - 10:45  
**Mittauskerta 2** Piirtoteknisistä syistä ja mittaustulosten analysoinnin vuoksi mittauksissa on käytetty Stella-koodeja, kuten kaivo ja katos. Koodien perusteella voidaan saman kohteen eri sijaintimittaukset erotella toisistaan. Stella-koodit ovat paikkatietojärjestelmämme ominaisuuskoodeja.

**Pistemoodi**  
 Käytävän reuna

Havainnot	Paalu	Kaivo		Rak. nurkkapiste		Valaisinylväs 1		Huomioita
		Satelliitit	Tarkkuus	Satelliitit	Tarkkuus	Satelliitit	Tarkkuus	
010 - 012	<b>K</b>	9 - 16	1,1 - 1,5	14 - 15	1,4 - 1,5	14 - 16	1,1 - 1,4	
013 - 015	<b>L</b>	8 - 11	31 - 1,2	9 - 11	50 - 1,4	7 - 15	45 - 1,2	kuusen oksien alla, L2: tallennus erittäin hidasta
016 - 018	<b>M</b>	9	10	9 - 10	10 - 49	11 - 15	33 - 1,2	

**Viivamoodi**  
 Käytävän reuna

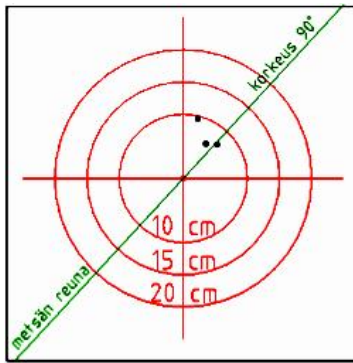
Viivan ominaisuus	Sat. lkm	Tarkkuus cm/m
1. katos	14 - 17	89 - 1,4
2. rak. seinälinja	17 - 18	84 - 1,2
3. ojan pohja	8 - 17	10 - 1,2

**Pistemoodi**  
 Numialue

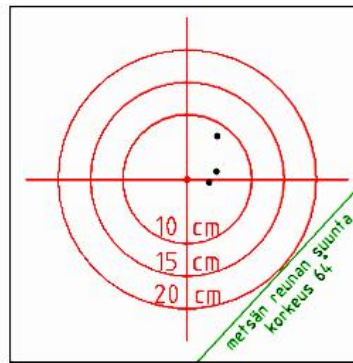
Havainto	Paalu	Ominaisuus	Sat. lkm	Tarkkuus cm/m
034	<b>N</b>	iso kivi kaikissa	8 - 11	10 - 32
035	<b>O</b>		14 - 15	31 - 1,4
036	<b>P</b>		14 - 15	98 - 1,4
037	<b>Q</b>		13 - 15	73 - 1,2
038	<b>R</b>		11 - 14	10 - 63
039	<b>S</b>		8	10

## KASURILAN PAALUJEN T, U JA V VISUALISOINTIKUVAT

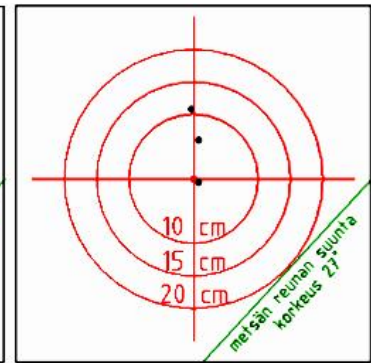
Liite 3



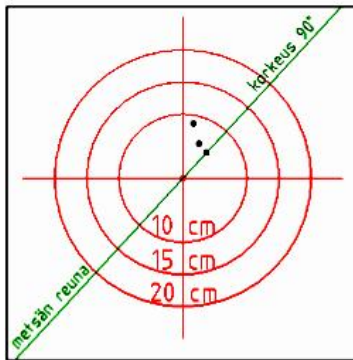
Paalu T, mitta 1 27.7.2012



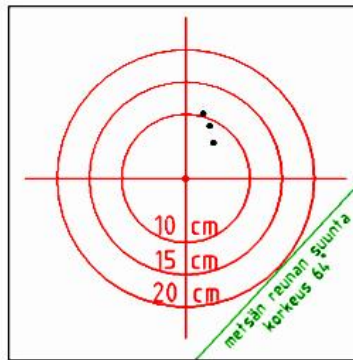
Paalu U, mitta 1 27.7.2012



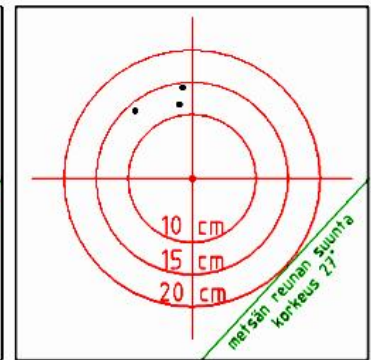
Paalu V, mitta 1 27.7.2012



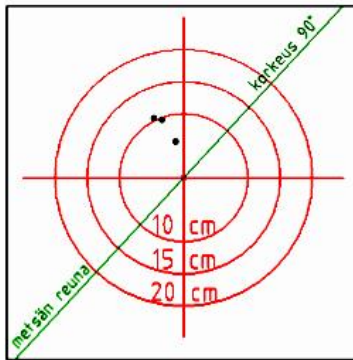
Paalu T, mitta 2 3.8.2012



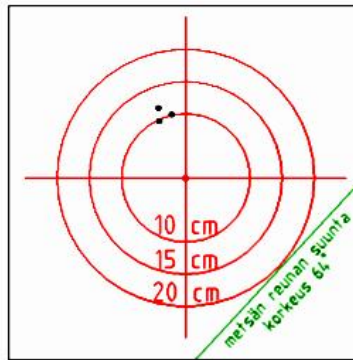
Paalu U, mitta 2 3.8.2012



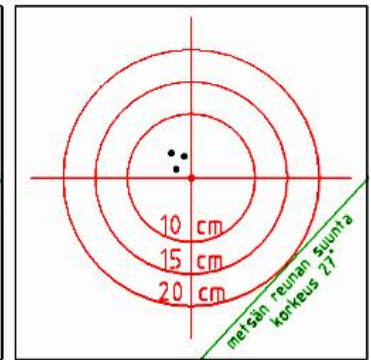
Paalu V, mitta 2 3.8.2012



Paalu T, mitta 3 6.8.2012



Paalu U, mitta 3 6.8.2012



Paalu V, mitta 3 6.8.2012

