LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

GNSS-LAITETESTAUKSEN TESTIPISTEIDEN MITTAUS

Mikko Ylitepsa

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2016

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tekniikka ja Liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Mikko Ylitepsa	Vuosi	2016
Ohjaaja	Pasi Laurila		
Toimeksiantaja	Suomen Metsäkeskus		
Työn nimi	GNSS-laitetestauksen testipisteiden mittaus		
Sivu- ja liitemäärä	35		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa ja mitata testikenttiä Suomen Metsäkeskuksen GNSS-laitetestausta varten. GNSS-laitetestauksen tarkoituksena on selvittää todellisissa mittausolosuhteissa, mikä testattavista laitteista soveltuu parhaiten laserkeilausaineiston tulkinnassa tarvittavien koealojen mittaukseen. Laitetestauksessa mukana olevat laitteet ovat paikkatietotason differentiaalista korjausta käyttäviä GNSS-vastaanottimia, jotka on varustettu maastotallentimilla.

Testikenttien rakentaminen ja mittaustyöt tehtiin Kuopion lähialueen maastossa yhdessä kahden metsäalan opiskelijan sekä Suomen Metsäkeskuksen edustajan kanssa. Mittaustyö toteutettiin pääosin takymetrillä jonomittauksena, jonka lähtöpisteinä käytettiin satelliittimittauksella mitattuja pisteitä. Testikenttien mittaamisessa käytettiin osittain suoraa satelliittimittausta. Testikenttien satelliittimittauksissa oli käytössä testilaitteita tarkempi suhteellista paikannusta käyttävä paikannin.

Testikenttiä mitattiin yhteensä 11 kappaletta ja testikentät sijaitsivat kahdella eri alueella. Testikentät luokiteltiin laitetestin satelliittimittausta ajatellen kolmeen luokkaan, jotka ovat helppo, keskivaikea ja vaikea. Mittaustarkkuus testikenttien osalta jäi odotettua heikommaksi. Mittausten tarkkuutta huononsi osittain pisteiden likimääräinen merkintätapa maastossa.

Testikenttien rakentamisvaiheen mittaustulosten käsittelyssä käytettiin Trimble Business Center-ohjelmistoa. Aineiston käsittelyssä käytettiin apuna myös Microsoft Excel-ohjelmistoa.

Asiasanat monikulmiomittaus, laserkeilaus, satelliittipaikannus

LAPIN AMK
Lapland University of Applied Sciences

Abstract of Thesis

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

Author	Mikko Ylitepsa	Year	2016
Supervisor	Pasi Laurila		
Commissioned by	Finnish Forest Centre		
Subject of thesis	Testpoint Measurements For GNSS Device Test		
Number of pages	35		

The aim of this thesis was to build and measure test fields for the GNSS device testing done by the Finnish Forest Centre. The aim of the GNSS device test was to determine the suitability of the tested devices for surveying the sample plots needed in interpreting the laser scanned data in realistic surveying conditions. The devices included in the test were spatial level GNSS receivers using differential correction. The receivers are equipped with field computers.

Building and measuring of the test fields were done nearby the Kuopio area together with two forestry students and a representative of The Finnish Forest Centre. The Measurements were done mainly as a traverse survey with a total station in which the starting points were measured with satellite navigation. Some of the test fields were measured directly with satellite navigation. The Trimble Business Center software was used in processing the measurement results. In addition, the Microsoft Excel software was used to aid the data.

In total, eleven test fields were measured and the test fields were located in two different areas. For the device test satellite navigation, the test fields were classified in three classes which were easy, medium and hard. The Measurement accuracy of the test fields are weaker than expected. The Measurement accuracy was worsened partly because the points were marked in the terrain approximately.

Keywords traversing, laser scanning, satellite navigation

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 6

2 SUOMEN METSÄKESKUS 7

2.1 Yleistä 7
2.2 Historia 8
2.3 Metsätiedon keruu 8
2.4 Puustotietojen laskenta 8

3 MITTAUSMENETELMÄT 10

3.1 Laserkeilaus 10
3.2 Satelliittimittaus 11
3.2.1 Yleistä 11
3.2.2 Absoluuttinen paikannus 12
3.2.3 Differentiaalinen paikannus 12
3.2.4 Suhteellinen paikannus 13
3.3 Takymetrimittaus 14
3.3.1 Yleistä 14
3.3.2 Toimintaperiaate 14
3.3.3 Mittausmenetelmät 15
3.3.4 Takymetrimittauksessa tehtävät korjaukset 15
3.3.5 Monikulmiomittaus 16
3.3.6 Virheet takymetrimittauksessa 18
3.3.7 Laskentamenetelmät 19

4 GNSS-LAITETESTAUS 21

4.1 Työn tarkoitus 21
4.2 Kalusto 21
4.3 Testikenttien rakentaminen 21
4.4 Testikenttien mittaaminen 23
4.4.1 Testikenttä 1 23
4.4.2 Testikenttä 2 24
4.4.3 Testikenttä 3 25
4.4.4 Testikentät 4 ja 5 26
4.4.5 Testikentät 6 ja 7 27
4.4.6 Testikenttä 8 28

4.4.7 Testikenttä 9 28
4.4.8 Testikenttä 10 29
4.4.9 Testikenttä 11 30
5 YHTEENVETO 32
5.1 Mittaustulokset 32
5.2 Laitetesti 33
6 POHDINTA 34
LÄHTEET 35

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön taustalla on Suomen Metsäkeskuksen tarve päivittää satelliittimittauskalustoaan lähivuosina ja sitä kautta syntyi ajatus tehdä laitetesti todellisissa mittausolosuhteissa. Suomen Metsäkeskuksessa on käytössä paikkatietotason paikannuslaitteita, joita käytetään laserkeilausaineiston käsittelyssä tarvittavien puustotulkintakoealojen mittaamiseen.

Varsinaisen laitetestin tarkoitus on testata laitteiden soveltuvuutta koealamittaukseen. Pääpaino laitetestissä on mittaustarkkuus, koska puustotulkintakoealat pitäisi pystyä paikantamaan alle metrin tarkkuudella kaikissa olosuhteissa. Laitetestissä arvioidaan myös laitteiden käytettävyyttä, painoa ja kokoa, koska koealamittausta pitäisi pystyä tekemään myös yhden mittaajan voimin.

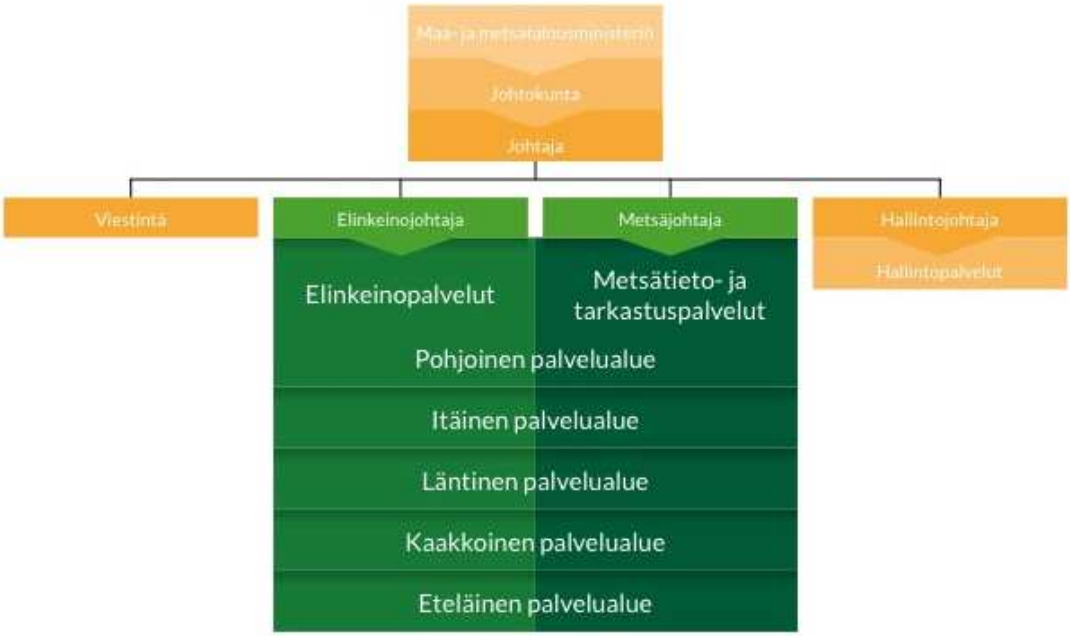
Testissä mukana olevat laitteet ovat myös paikkatietotason satelliittipaikannuslaitteita, joilla mittaustarkkuus on käytännössä samaa luokkaa kuin jo käytössä olevilla laitteilla.

Opinnäytetyön tavoitteena oli rakentaa ja mitata laitetestiä varten useita riittävän laadukkaita testikenttiä, joissa pystytään simuloimaan koealamittaustilannetta usealla testilaitteella samanaikaisesti. Työssä käsitellään testikenttien rakentamista ja mittaamista sekä arvioidaan testipisteiden tarkkuutta.

2 SUOMEN METSÄKESKUS

2.1 Yleistä

Suomen Metsäkeskus on Maa- ja metsätalousministeriön alainen organisaatio, jonka toiminta perustuu lakiin Suomen Metsäkeskuksesta. Metsäkeskus valvoo metsän- ja luonnonhoitotöitä sekä julkisen rahoitustuen lainmukaista käyttöä. Metsäkeskuksen toiminnan keskeisimpänä perustana ovat metsälaki, laki kestävän metsätalouden rahoituksesta sekä metsätuholaki. Metsäkeskus kerää metsävaratietoa Suomen yksityismetsistä ja ylläpitää metsävaratietokantaa. Metsäkeskusta ohjaa ja valvoo johtokunta, jonka asettaa Maa- ja metsätalousministeriö neljäksi vuodeksi kerrallaan. Johtokuntaan kuuluu seitsemän jäsentä yhteiskunnan eri aloilta ja jokaisella on henkilökohtainen varajäsen. Metsäkeskuksen toiminta on valtakunnallisesti jaettu viiteen palvelualueeseen (Kuvio 1) ja sen valtakunnallinen yksikkö sijaitsee Lahdessa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2015; Suomen Metsäkeskus 2015a.)



Kuvio 1. Suomen Metsäkeskus organisaatiokaavio (Suomen Metsäkeskus 2015d)

2.2 Historia

Suomen Metsäkeskuksen historia ulottuu vuoteen 1917, jolloin Suomeen perustettiin läänin metsänhoitolautakunnat valvomaan metsälain toteutumista. Ensimmäiset valtakunnan laajuiset metsien inventoinnit alkoivat vuonna 1922. Vuonna 1928 otettiin käyttöön yksityismetsälaki ja metsänparannuslaki: Metsänhoitolautakunnat ottivat vastuulleen yksityismetsätalouden valvonta- ja neuvontatehtävät. Vuonna 1946 otettiin käyttöön laki metsänviljelyn edistämisestä ja sen jälkeen vuonna 1968 metsänhoitolautakunnat muuttuivat piirimetsälautakunniksi. Piirimetsälautakunnat yhdistyivät keskusmetsälautakuntien metsänparannuspiirien kanssa metsälautakunniksi vuonna 1987. Vuonna 1996 metsälautakunnat lakkasivat ja niistä tuli maakuntien metsäkeskuksia. Vuonna 2012 otettiin käyttöön laki Suomen metsäkeskuksesta ja metsäkeskus muuttui yhdeksi valtakunnalliseksi organisaatioksi. (Suomen Metsäkeskus 2015c.)

2.3 Metsätiedon keruu

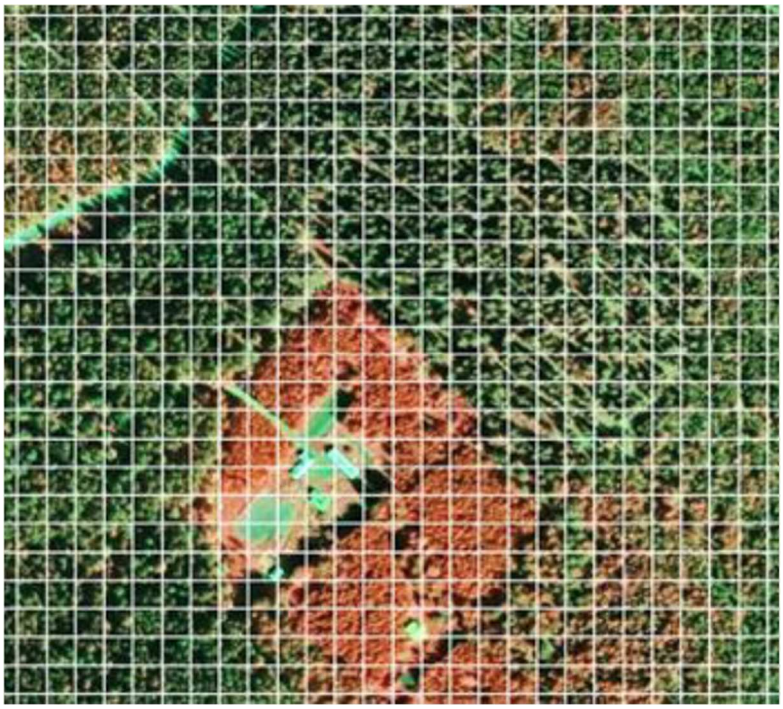
Metsäkeskus ylläpitää metsävaratietoa ja antaa niiden perusteella toimenpideehdotuksia metsänomistajille. Metsävaratiedon inventointikierto on kymmenen vuotta ja tiedonkeruunprosessin kesto 1,5–2 vuotta. Aiemman silmämääräisen tiedonkeruun tilalle on tullut kaukokartoitusmenetelmät. Nykyisin metsävaratietoa kerätään laserkeilauksella, josta saadaan kolmiulotteista tietoa puustosta ja maastosta. Laserkeilausaineiston tueksi alueille tehdään myös ilmakuvaus, joka auttaa puulajien tunnistamisessa. Laserkeilausaineiston puustotulkintaa varten tarvitaan myös koealoja, joiden puusto ja sijainti mitataan maastossa. (Suomen Metsäkeskus 2015b.)

2.4 Puustotietojen laskenta

Puustotietojen laskenta laserkeilausaineistosta tapahtuu tilastollisten laskentamallien pohjalta. Laskentamallit laaditaan laserkeilauksesta saadun aineiston perusteella ja niiden laatu varmistetaan koealoista (Kuvio 2) saatuihin puustotietoihin vertaamalla. (Suomen Metsäkeskus 2015b.)

Kuvio 2. Koealaa vastaavat laserkeilauspisteet (Paananen 2014, 10)

Kaukokartoituksessa mukana oleva metsätalousmaa on jaettu ruutuihin (Kuvio 3), jossa yhden ruudun koko on 16 x 16 metriä. Jokaiselle ruudulle lasketaan puustotieto, joista laaditaan metsikkökuviointi. Kaukokartoitusten perusteella laskettua aineistoa täydennetään maastotarkastuksilla. Metsikkökuvioille lasketaan myös metsänhoito- ja hakkuuehdotukset, jotka ovat metsänomistajien käytössä Metsään.fi-palvelussa. (Suomen Metsäkeskus 2015b.)

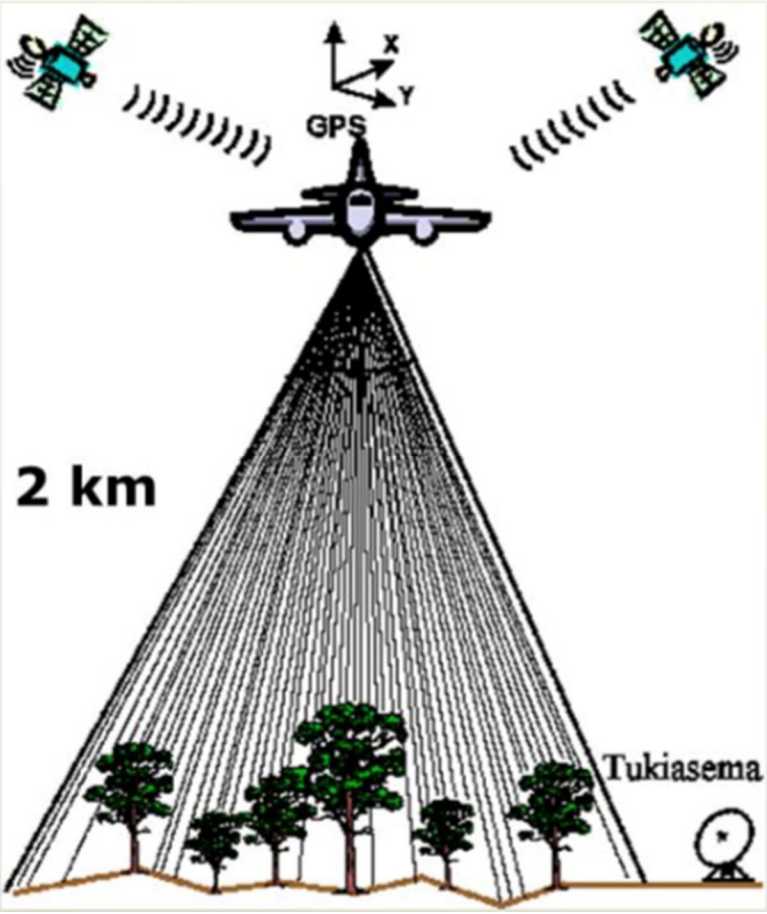


Kuvio 3. Puustotulkinnan hilaruudukko (Paananen 2014, 10)

3 MITTAUSMENETELMÄT

3.1 Laserkeilaus

Laserkeilain on laite, jota voidaan käyttää jalustalla tai se voidaan kiinnittää johonkin liikkuvaan laitteeseen kuten autoon, lentokoneeseen tai helikopteriin. Laserkeilain tuottaa nopeasti ja paljon pistemäisiä havaintoja ympärillä olevista kohteista. Pistemäinen havaintoaineisto muodostuu mittaussignaalin kulkuajan ja lähetyssuunnan perusteella lasketusta sijainnista suhteessa keilaimen sijaintiin. Ajoneuvoon tai ilma-alukseen (Kuvio 4) kiinnitetyn laserkeilaimen havaintoaineiston laskennassa käytetään hyväksi myös satelliittipaikannuksella mitattua sijaintia ja kiihtyvyysantureiden mittaamaa tietoa keilaimen asennosta. Ilma-aluksista tehtävää laserkeilausta tehdään lentojonoina. Lentojonot suunnitellaan ennen lentoa niin, että kohteet tulevat mitattua riittävällä tarkkuudella aineiston käyttöä ajatellen. Havaintoaineisto tarkkuuteen vaikuttaa lentokorkeus ja peitteisyyteen lentojonojen päällekkäisyys. (Laurila 2012, 269–270.)



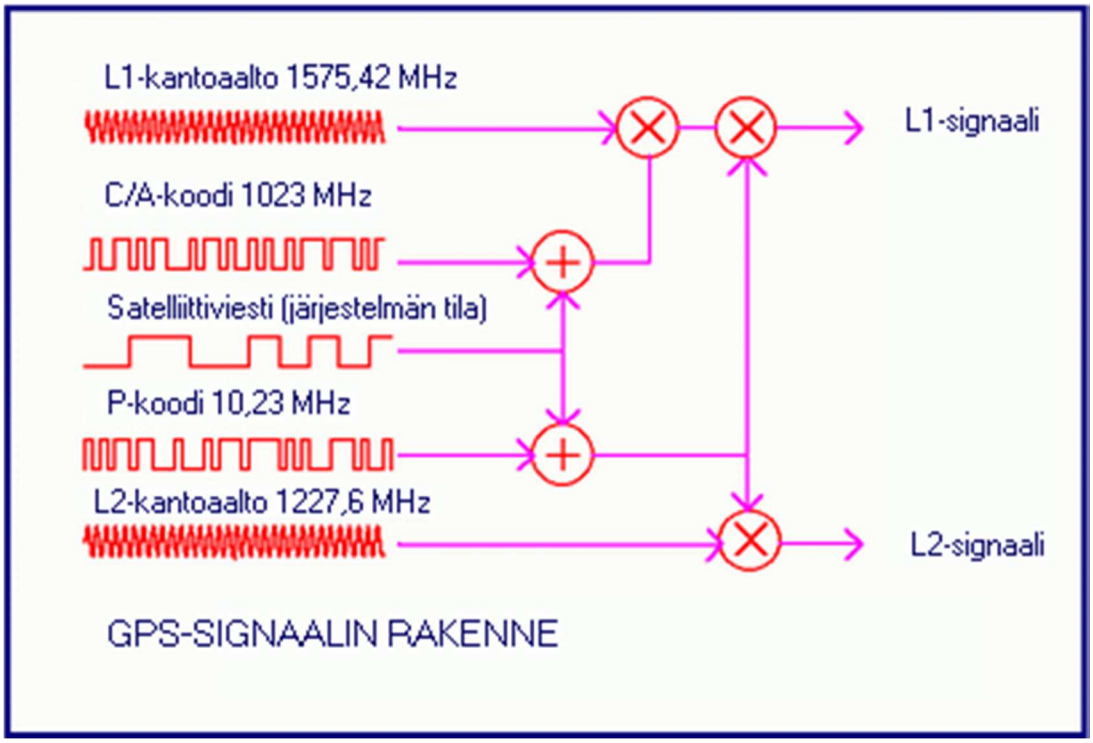
Kuvio 4. Ilmalaserkeilaus (Paananen 2014, 7)

3.2 Satelliittimittaus

3.2.1 Yleistä

Satelliittipaikannuksesta yleensä puhutaan GPS-paikannuksena ja sitä se pitkään olikin. GPS(Global Positioning System) tarkoittaa Yhdysvaltalaista satelliittipaikannusjärjestelmää. Nykyisin on olemassa myös muita paikannussatelliitteja kuten Venäläinen Glonass ja Eurooppalainen Galileo. Nykyisin satelliittipaikannuksesta käytetään nimitystä GNSS(Global Navigation Satellite System). (Laurila 2012, 280–282.)

Paikannussatelliittijärjestelmään kuuluvat satelliitit, satelliitteja valvovat maa-asemat ja paikannusta käyttävät laitteet. Paikannussatelliitit lähettävät paikannussignaalia (Kuvio 5), joka koostuu kantoaallosta, paikannuskoodista ja navigointiviestistä. (Laurila 2012, 286-287.)



Kuvio 5. GPS-signaalin rakenne (VirtuaaliAMK 2015)

Navigointiviesti sisältää tietoa satelliitin radasta, ajasta ja terveydentilasta. Paikannussatelliitit lähettävät paikannussignaalia kahdella ja uudemmissa satelliiteissa kolmella taajuudella. Esimerkiksi GPS –satelliiteilla on käytössä taajuudet

L1, L2 ja L5. L1-signaali sisältää siviilikäyttöön tarkoitetun C/A-koodin(Coarce Acquisition) sekä sotilaskäyttöön tarkoitetun P-koodin(Precise). Vanhemmissa satelliiteissa L2-signaali sisältää vain P-koodin, mutta uudempien satelliittien L2-signaalissa on mukana myös C/A-koodi. Uudemmat satelliitit lähettävät lisäksi myös kokonaan uutta L5-signaalia. (Laurila 2012, 286–287.)

3.2.2 Absoluuttinen paikannus

Yksinkertaisimmillaan satelliittipaikannuksessa paikanmäärittämiseen käytetään satelliittien lähettämää paikannuskoodia. Paikannuskoodin avulla paikannukseen käytettävä laite määrittää etäisyyden paikannussignaalia lähettävään satelliittiin signaalin kulkuajan perusteella. Sijainnin laskemista varten paikannuslaitteen on havaittava vähintään kolmen satelliitin signaali. Vastaanottimen kellovirheen ratkaisemiseksi pitää olla signaali neljästä satelliitista. Absoluuttisen paikannuksen tarkkuus on parhaimmillaan noin 5–10 metriä. Absoluuttista paikannusta käytetään lähinnä autonavigaattoreissa, matkapuhelimissa ja maastonavigaattoreissa. (Laurila 2012, 295–299.)

3.2.3 Differentiaalinen paikannus

Absoluuttista paikannusta voidaan tarkentaa differentiaalikorjauksella, jossa kiinteältä tukiasemalta saadulla tiedolla korjataan tukiaseman ja paikantimen yhteisiä virheitä. Kiinteä tukiasema sijaitsee tunnetulla pisteellä, jonka perusteella se laskee todellisen etäisyyden havaittuun satelliittiin. Tukiaseman korjaustieto perustuu mitatun etäisyyden ja tunnetun etäisyyden erotukseen. Differentiaalinen korjaus voidaan tehdä mittaamisen yhteydessä reaaliaikaisesti jos paikantimen ja tukiaseman välillä on tiedonsiirtoyhteys esimerkiksi radion tai matkapuhelinverkon välityksellä. Differentiaalinen korjaus voidaan tehdä myös jälkilaskentana, jolloin paikantimen tallentama havainto korjataan myöhemmin tukiaseman tallentaman tiedon perusteella. Differentiaalisella paikannuksella voidaan päästä jopa alle metrin tarkkuuteen. (Laurila 2012, 299–301.)

Nykyisin differentiaalisen korjaukseen voidaan käyttää myös tukiasemaverkkojen tarjoamaa laskentapalvelua, jossa lähelle mittauspistettä luodaan virtuaalinen tukiasema. Virtuaalisen tukiaseman korjaustiedon laskemiseen käytetään koko tu-

kiasemaverkon mittaamaa satelliittitietoa. Geotrim Oy ylläpitää Suomessa Trimnet –tukiasemaverkkoa, jonka palveluihin kuuluu Trimble VRS –palvelu. (Geotrim Oy 2015.)

3.2.4 Suhteellinen paikannus

Suhteellisessa paikannuksessa sijainnin määritykseen käytetään satelliittisignaalin kantoaaltoa. Paikannukseen käytetään kahta vastaanotinta, jotka havaitsevat samanaikaisesti samoja satelliitteja. Toinen vastaanottimista sijaitsee pisteellä, jonka sijainti tunnetaan ja toinen vastaanotin mitattavalla pisteellä. Vastaanottimet havaitsevat samanaikaisesti samojen satelliittien kantoaallon vaihetta ja kokonaisten aallonpituuksien määrää. Kun kahden vastaanottimen havaintoaineistot yhdistetään, saadaan selville niiden vaihe-ero satelliitin suuntaan. Kun vaihe-ero havaintoja on vähintään neljästä satelliittista, voidaan niistä laskea vastaanottimien välinen paikkavektori. Suhteellista paikannusta voidaan tehdä staattisena mittauksena ja RTK-mittauksena. (Laurila 2012, 301-303.)

Staattisessa mittauksessa mitattavan pisteen sijaintia ei saada reaaliajassa vaan havaintoaineisto tallennetaan vastaanottimeen. Vastaanottimien aineistot yhdistetään mittauksen jälkeen ja mitatun pisteen koordinaatit lasketaan havaintoaineistosta jälkilaskennassa. (Laurila 2012, 315.)

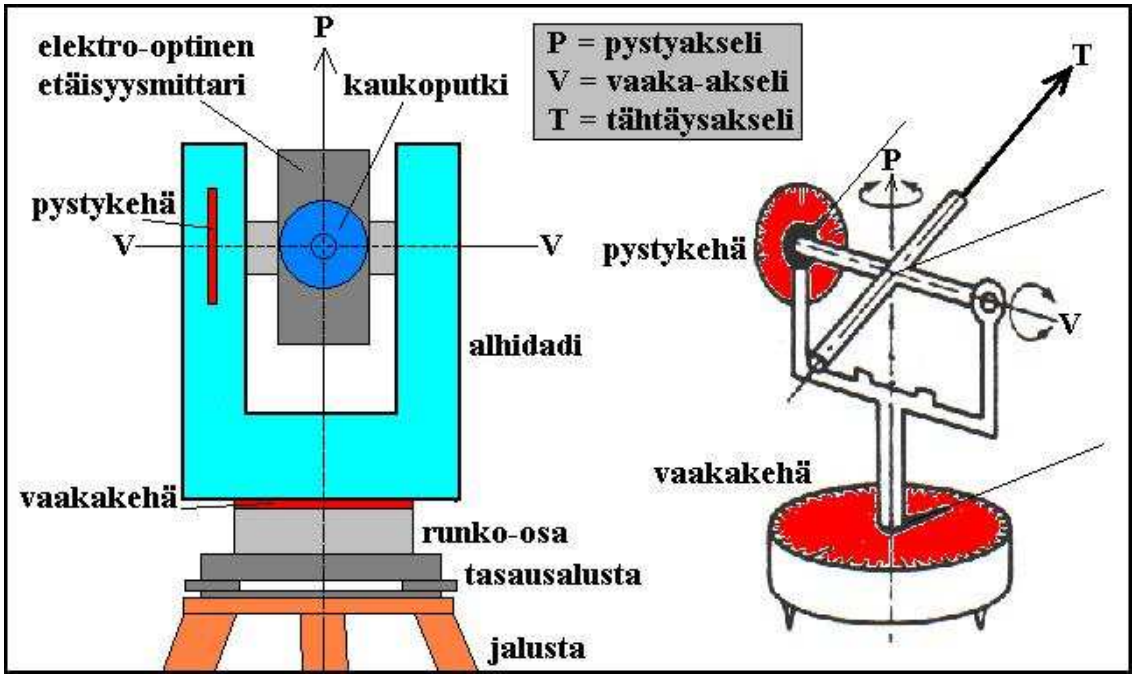
RTK-mittaus tarkoittaa reaaliaikaista kinemaattista mittausta, jossa mitattavan pisteen sijainti saadaan suoraan vastaanottimesta. RTK-mittauksessa tukiasemavastaanottimen ja liikkuvan vastaanottimen välillä on tietoliikenneyhteys. Tietoliikenneyhteyden avulla tukiaseman havaintoaineisto siirtyy liikkuvaan vastaanottimeen, jossa laskenta tapahtuu reaaliajassa. (Laurila 2012, 315, 319.)

RTK-mittausta voidaan tehdä myös tukiasemaverkkoa käyttäen, jolloin mittaajan ei tarvitse pystyttää omaa tukiasemaa. Liikkuvan vastaanottimen ja tukiasemaverkon välillä käytetään matkapuhelinverkon kautta tapahtuvaa tiedonsiirtoa. Tukiasemaverkon avulla mittaamisessa voidaan käyttää esimerkiksi Geotrim Oy:n ylläpitämää Trimnet –verkkoa. Trimnet –verkon VRS –palvelussa mittaaminen tapahtuu laskentakeskuksen mallintaman virtuaalisen tukiaseman suhteen. (Laurila 2012, 320; Geotrim Oy 2015.)

3.3 Takymetrimittaus

3.3.1 Yleistä

Takymetri (Kuvio 6) on maanmittauksessa käytettävä mittauskoje, jolla tehdään kulma- ja etäisyyshavaintoja. Ennen takymetrejä oli käytössä teodoliitti, jolla pystyttiin mittaamaan ainoastaan kulmia. Elektro-optisten etäisyysmittareiden yleistyessä, syntyi takymetri. Nykyisin takymetrien kanssa käytetään usein maastotallenninta, joka tallentaa havainnot ja lähtötiedot sekä suorittaa laskentaa automaattisesti. Mittaustyötä helpottaa myös robottitakymetrit, jolla voidaan suorittaa mittauksia tehokkaasti myös yhden mittaajan voimin. (Laurila 2012, 238.)



Kuvio 6. Takymetrin pääosat ja akselit (Laurila 2012, 239)

3.3.2 Toimintaperiaate

Takymetrimittauksen havaintosuureita ovat vaakakulma, pystykulma ja vinoetäisyys. Kulmahavaintojen luku tapahtuu sähköisesti kojeen akseleilla sijaitsevien antureiden avulla. Etäisyyden mittaus tapahtuu kojeen kaukoputkessa olevalla elektro-optisella etäisyysmittarilla. (Laurila 2012, 247–251.)

Takymetrimittausta tehdään yleensä jossain koordinaatistossa, jolloin havainnoista voidaan laskea koordinaatit mitatuille uusille pisteille. Jotta havainnoista

voidaan laskea koordinaatit, tarvitaan vähintään kaksi koordinaattiarvoiltaan tunnettua pistettä, joiden suhteen mittausta tehdään. Korkeuden laskemista varten on oltava tiedossa myös tunnettujen pisteiden korkeudet ja kojekorkeus. Tunnetulle pisteelle orientoinnista puhutaan silloin, kun takymetri keskistetään toiselle tunnetuista pisteistä ja otetaan havainto toisesta tunnetusta pisteestä. (Laurila 2012, 252–259.)

Takymetrimittaus voidaan orientoida myös vapaan asemapisteen menetelmällä, jolloin kojetta ei tarvitse keskistää ja kojekorkeutta ei tarvitse mitata. Vapaan asemapisteen orientoinnista puhutaan silloin, kun takymetri sijoitetaan tuntemattomalle pisteelle ja sillä tehdään havainto vähintään kahteen tunnettuun pisteeseen. (Laurila 2012, 259–260.)

3.3.3 Mittausmenetelmät

Takymetrillä voidaan tehdä mittausta säteittäisesti tai jonomittauksena. Säteittäisessä mittauksessa koje pysyy samalla paikalla koko mittauksen ajan ja havainnot kojeella tehdään tunnettujen asemapisteiden suhteen säteittäisesti ympärillä oleviin kohteisiin. Jonomittauksessa lähtöpisteiden koordinaattia siirretään säteittäisesti pisteeltä toiselle. Jonomittaus lähtee liikkeelle tunnetulta pisteeltä, josta takymetriä siirretään pisteeltä toiselle mittauksen edetessä. Yhtenäisen mittausjonon avulla voidaan laskea koordinaatit kaikille uusille jonopisteille. (Laurila 2012, 61, 349.)

3.3.4 Takymetrimittauksessa tehtävät korjaukset

Takymetrimittauksessa on tärkeää huomioida mittausolosuhteet, tähyksenä käytettävän prisman parametrit sekä mittauskoordinaatisto. Mittausolosuhteista puhuttaessa tarkoitan lämpötilaa ja ilmanpainetta, jotka vaikuttavat tähtäyssäteen kaareutumiseen. Takymetrillä työskennellessä tähyksenä käytetään yleensä prismaa, joka heijastaa etäisyysmittarin signaalin takaisin laitteeseen. Prismaa käytettäessä on huomioitava prismavakio, joka on kulloinkin käytettävän prisman kanssa tehtävä vakiokorjaus. Prismavakiolla korjataan laitteiden epäkeskisyyden aiheuttama virhe jokaiseen havaittuun etäisyyteen. Kun takymetrimittausta tehdään suorakulmaisessa koordinaatistossa, on huomioitava myös maapallon vai-

kutukset mittaustuloksissa. Maanpinnalla tehtävissä mittauksissa havainnot tehdään kolmioulotteisesti, mutta kuitenkin varsinainen laskenta tehdään käytettävän projektion pinnalla. Merkittävimpänä korjauksena useimmissa mittauksissa on etäisyyksien korjaus ellipsoidin kaareksi ja siitä edelleen käytettävään tasokoordinaatistoon. Kun etäisyyshavaintoihin tehdään projektiokorjaus, puhutaan etäisyyksien redukoinnista projektiotasolle. (Laurila 2012, 330–338.)

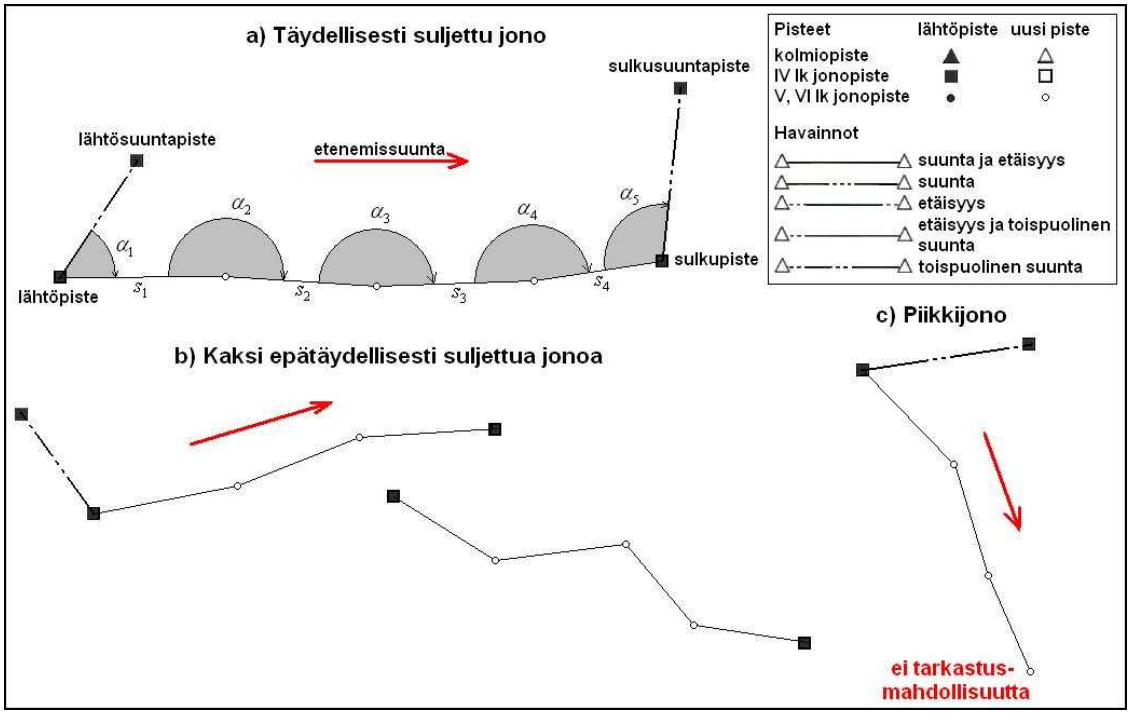
3.3.5 Monikulmiomittaus

Monikulmiomittausta eli jonomittausta tehdään usein kiintopisteverkkojen tihentämiseen paikallisesti. Varsinkin taajamissa, missä satelliittimittausta on vaikea toteuttaa rakennusten aiheuttamien näkemäesteiden vuoksi, on jonomittaus tärkeä menetelmä. (Salmenperä 2004, 77.)

Monikulmiojonojen mittaus lähtee liikkeelle tunnetulta pisteparilta. Takymetri asemoidaan ja keskistetään toiselle pisteparin pisteistä, jota kutsutaan lähtöpisteeksi. Varsinainen mittaaminen aloitetaan ottamalla havainto ensin toiseen tunnettuun pisteeseen eli lähtösuuntapisteen ja sen jälkeen ensimmäiseen jonopisteeseen. Havaintojen jälkeen takymetri siirretään mittausjonossa seuraavalle pisteelle. Seuraavalta pisteeltä tehdään havainto edelliseen pisteeseen ja sen jälkeen seuraavaan. Mittaus etenee pisteeltä toiselle ottamalla havainto aina edelliseen pisteeseen ja sen jälkeen seuraavaan. (Laurila 2012, 349.)

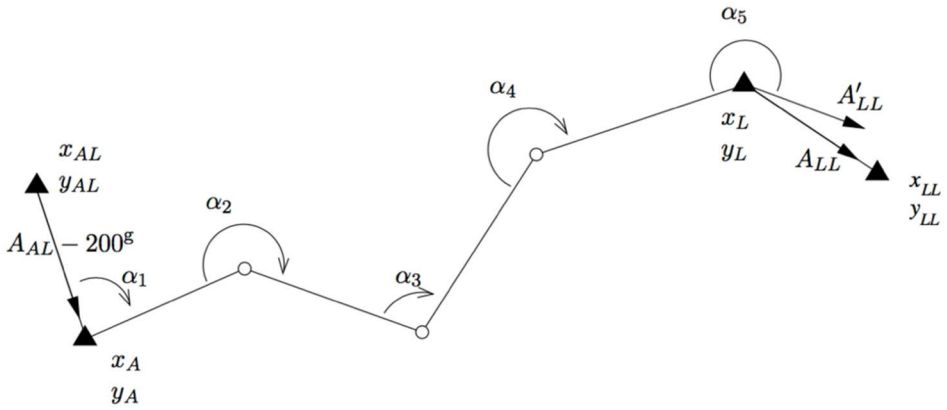
Jonomittaus voidaan päättää tuntemattomalle pisteelle, jolloin mittauksen havainnoista voidaan laskea pelkästään uusien jonopisteiden koordinaatit. Kun mittausjono päättyy tuntemattomalle pisteelle, puhutaan piikkijonosta (Kuvio 7). Piikkijonon mittaamisessa täytyy huomioida se, että mittauksen aikana tulleita kulma- ja etäisyyshavaintojen virheitä ei voida tarkistaa. Kun jonomittauksen tarkkuutta halutaan arvioida, täytyy mittaus sulkea eli tehdä viimeinen havainto tunnetulle pisteelle. Silloin kun mittauksen viimeinen havainto tehdään jonopisteeltä tunnetulle pisteelle eli sulkupisteelle, puhutaan epätäydellisesti suljetusta jonosta (Kuvio 7). Epätäydellisesti suljetusta jonosta voidaan laskea mittauksen koordinaattisulkuvirhe, mutta mittauksen suuntasulkuvirheen laskeminen ei onnistu. Täydellisesti suljetusta jonosta (Kuvio 7) voidaan laskea suuntasulkuvirhe ja koordinaattisulkuvirhe. Jonon täydellinen sulku tehdään niin, että mittaus päättyy sulkupisteelle,

josta otetaan havainto viimeiselle jonopisteelle ja sulkusuuntapisteelle. (Laurila 2012, 349–350.)



Kuvio 7. Erilaisia jonomittauksia (Laurila 2012)

Täydellisesti suljetun monikulmiojonon laskenta lähtee liikkeelle lähtösuunnan ja sulkusuunnan laskemisesta, jotka ratkaistaan geodeettisen käänteistehtävän avulla liitospisteiden koordinaateista. Lähtösuunta on suuntakulma karttapohjoisen suhteen lähtösuuntapisteestä lähtöpisteelle ja sulkusuunta on suuntakulma sulkupisteestä sulkusuuntapisteelle. Alla olevassa kuviossa (Kuvio 8) lähtösuunta on A_{AL}, sulkusuunta A_{LL}, taitekulmahavainto α_n ja sulkusuunnan havaittu arvo A'_{LL}. (Vermeer 2015, 59–60.)



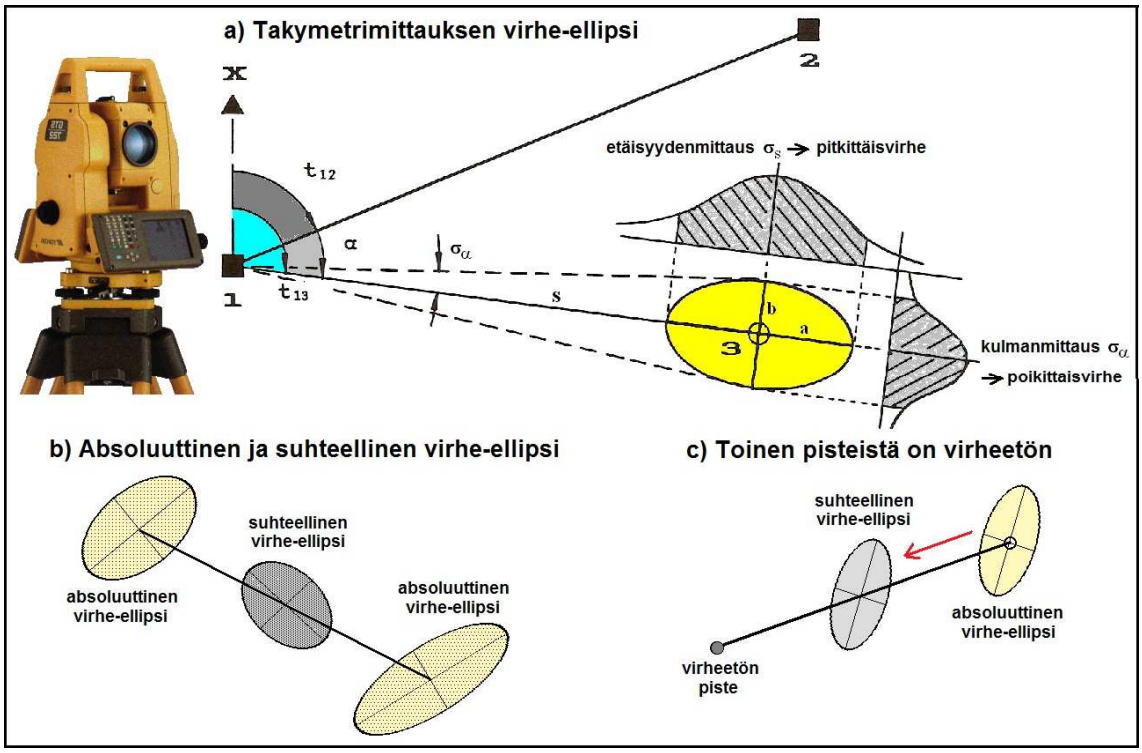
Kuvio 8. Monikulmiojono (Vermeer 2015, 60)

Ensimmäisen pistevälin suuntahavainnon laskenta tapahtuu lisäämällä lähtöliitossuuntaan taitekulmahavainto. Seuraavien suuntahavaintojen laskenta tapahtuu lisäämällä edellisen pistevälin suuntahavaintoon laskettavan pistevälin taitekulmahavainto ja vähentämällä siitä 200 goonia. Jos haluaa, että lasketut suuntakulmahavainnot pysyvät välillä 0–400 goonia, täytyy suuntahavaintoja korjata vähentämällä tai lisäämällä 400 goonia. Suuntasulkuvirhe muodostuu viimeisestä taitekulmahavainnosta lasketun suunnan ja sulkusuunnan erotuksesta. Lasketuista suunnista ja havaituista etäisyyksistä voidaan laskea jonossa oleville uusille pisteille sekä sulkupisteelle koordinaatit geodeettisen päätetehtävän avulla. Koordinaattisulkuvirhe muodostuu sulkupisteen lasketun koordinaatin ja tunnetun koordinaatin erotuksesta. (Vermeer 2015, 60-62.)

3.3.6 Virheet takymetrimittauksessa

Kun puhutaan virheistä, on kyseessä, joko satunnainen virhe, karkea virhe tai systemaattinen virhe. Satunnaiset virheet ovat mittauskojeen tarkkuudesta riippuvaisia aidosti satunnaisia virheitä. Satunnaiset virheet ilmenevät mittaushavaintojen vaihteluna, kun mittausta toistetaan riittävästi. Karkeat virheet ovat mittaajasta tai olosuhteista riippuvaisia virheitä. Karkeille virheille on löydettävissä aina syy ja se vaikuttaa vain yksittäisiin havaintoihin. Systemaattiset virheet ovat mittauslaitteiden asetuksista johtuvia virheitä, jotka toistuvat kaikissa mittaushavainnoissa ja ne esiintyvät saman suuruisina. Mittauksia tehtäessä pyritään siihen, että havainnot sisältäisivät pelkästään satunnaisia virheitä. (Salmenperä 2004, 1–2.)

Jonomittauksessa ja kuten yleensä kaikessa mittaamisessa tulee virheitä tavalla tai toisella. Jonomittauksessa takymetrillä (Kuvio 9) satunnaiset virheet voivat muodostua pystykulmien mittaamisessa, vaakakulman mittaamisessa ja etäisyyden mittaamisessa. Kun jonomittauksessa tehdään enemmän kuin yksi mittaushavainto puhutaan ylimääritetystä mittauksesta. Ylimääritetyistä mittaustuloksista voidaan muun muassa tunnistaa mittauksessa mahdollisesti tehdyt karkeat virheet, jolloin ne voidaan poistaa laskennasta. Karkeat virheet ovat mittaajasta tai olosuhteista riippuvaisia virheitä, kuten huono tähtäys tai puun lehti heiluu tähtäyslinjalla. (Laurila 2012, 35.)



Kuvio 9. Virheet takymetrimittauksessa (Laurila 2012, 327)

Systemaattiset virheet ovat sellaisia virheitä, jotka esiintyvät koko mittauksessa ja niitä ei voida mittaustuloksista tunnistaa. Systemaattiset virheet aiheutuvat mittauskojeen vääristä asetuksista kuten esimerkiksi prismavakiosta, sääkorjauksesta, kojekorkeudesta tai tähyskorkeudesta. Systemaattinen virhe voi muodostua jos kojeen optisen luodin tai prisman kalibrointi on pielessä, jolloin kojeen keskistykseen tai prisman tasaamiseen jää virhe. (Laurila 2012, 35.)

3.3.7 Laskentamenetelmät

Monikulmiojonon tarkkuutta voidaan arvioida sulkuvirheiden perusteella. Sulkuvirheiden laskennan mahdollisuus riippuu siitä, miten monikulmiojono on suljettu. Täydellisesti suljetussa monikulmiojonossa voidaan laskea suuntasulkuvirhe sekä koordinaattisulkuvirhe. Monikulmiojonon suunta- ja koordinaattisulkuvirheistä voidaan tarkistaa, että miten mittaus on kokonaisuutena onnistunut. Uusien pisteiden koordinaatteina voidaan käyttää suoraan havainnoista laskettuja arvoja, mutta silloin viimeisen pistevälin suuntahavaintoa rasittaisivat aiemmin mittauksessa syntyneet virheet. Tämän vuoksi monikulmiojonojen laskennassa suunta- sekä koordinaattisulkuvirheet yleensä tasoitetaan kaikille pisteväleille, jolloin mittauksen aikana syntyneet virheet jakaantuvat kaikille pisteväleille. Se

miten virheet jakautuvat riippuu käytettävästä tasoitusmenetelmästä. Usein käytetty tasoitusmenetelmä on kaksivaiheinen suuntien ja koordinaattien tasoittaminen, joko sivunpituuksien suhteessa, tasakorjauksin tai koordinaattierojen varianssien suhteen. (Laurila 1993, 21–22.)

4 GNSS-LAITETESTAUS

4.1 Työn tarkoitus

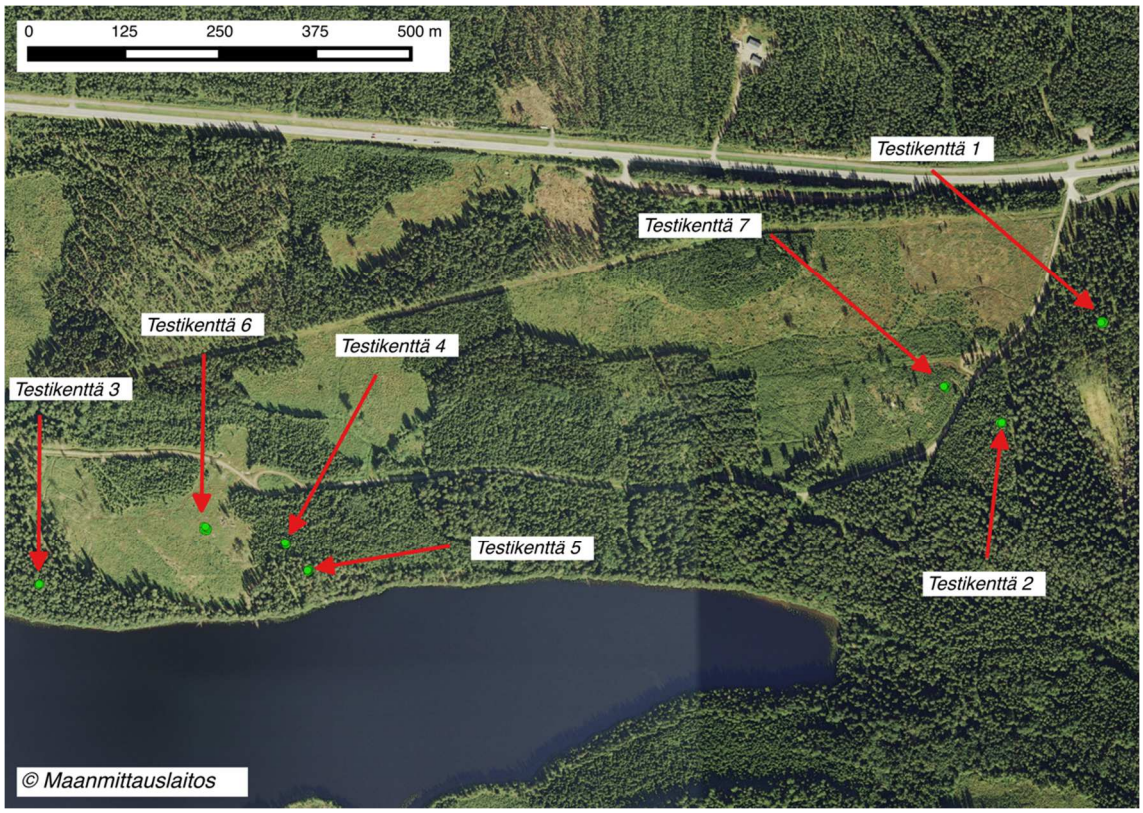
Työn tarkoituksena oli rakentaa useita testikenttiä erilaisiin mittausolosuhteisiin Kuopion lähialueelle DGNSS-paikannuslaitetestausta varten. Testauksen tarkoituksena oli selvittää mikä mukana olleista laitteista soveltuu parhaiten laserkeilausaineiston puustotulkinnassa käytettävien koealojen mittaamiseen. Koealojen mittaamisessa käytettävien laitteiden pitäisi pystyä mittaamaan koealojen sijainti alle metrin tarkkuudella, jotta koealoja voidaan luotettavasti käyttää puustotulkinnassa. Testissä oli mukana yhteensä kuusi kappaletta paikkatietotason satelliittipaikannuslaitetta, joilla päästään hyvissä mittausolosuhteissa noin kymmenen senttimetrin tarkkuuteen. Testaukseen oli tarkoitus ottaa mukaan myös yksi tarkempi RTK-paikannin, jolla päästään noin yhden senttimetrin tarkkuuteen hyvissä mittausolosuhteissa. Laitetestauksessa mittaukset oli tarkoitus toteuttaa kaikilla laitteilla samanaikaisesti samanlaisissa olosuhteissa. Testausta varten testikenttiä tuli rakentaa useita, jotta voitiin verrata laitteiden suorituskykyä erilaisissa mittausolosuhteissa.

4.2 Kalusto

Mittauskalustona oli Trimble M3 DR 5” –takymetri, joka on varustettu laserluodilla ja tähtäyslinjan laserosoittimella. Takymetri oli perinteinen mekaaninen takymetri ilman robottitoimintoja. Takymetrimittauksia varten oli käytössä kaksi prismaa, joiden kanssa käytettiin tukijalkoja. Satelliittimittauksia varten kalustona oli Trimble R10 –vastaanotin. Takymetrin ja satelliittivastaanottimen kanssa käytettiin Trimble Tablet maastotietokonetta.

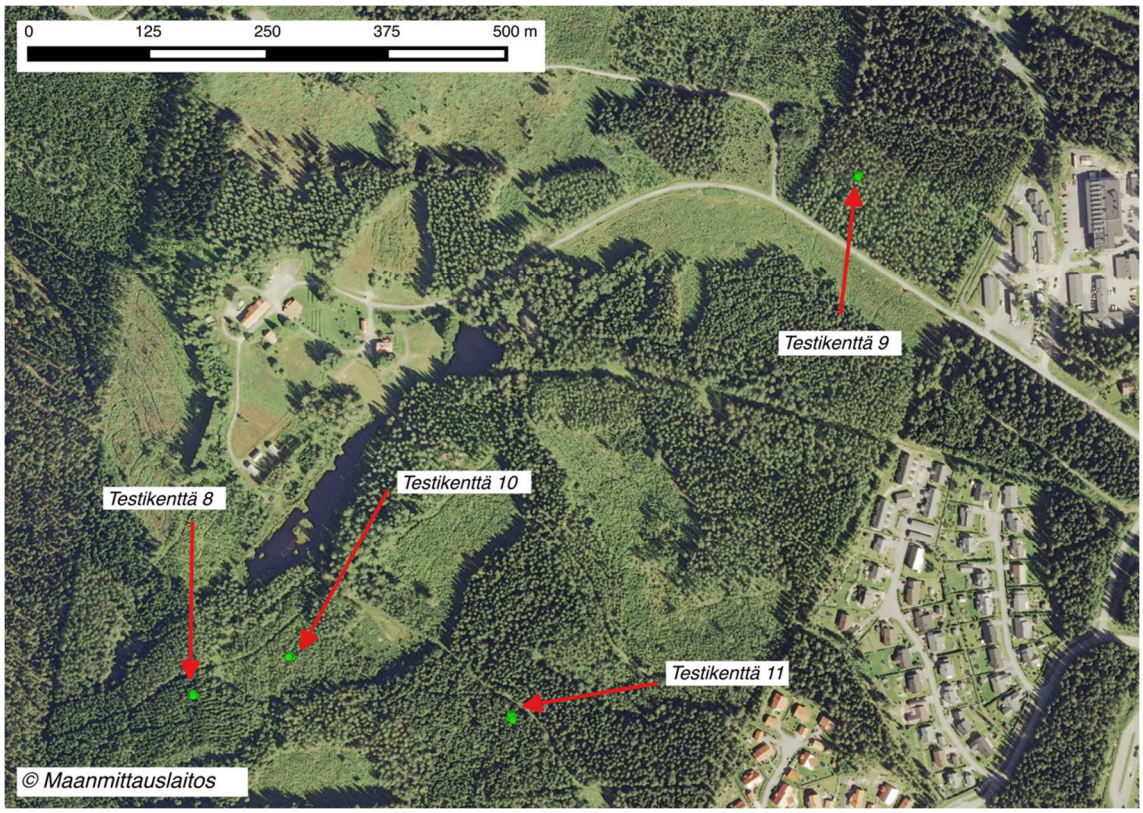
4.3 Testikenttien rakentaminen

Testikenttiä rakennettiin Kuopion lähialueella Suuri-Majoisen (Kuvio 10) läheisyyteen yhteensä seitsemän kappaletta ja Haapamäen (Kuvio 11) alueelle neljä kappaletta. Testikenttiä rakennettiin erilaisiin mittausolosuhteisiin puuston ja maaston kannalta. Helppoja testikenttiä rakennettiin kolme kappaletta, keskivaikeita testikenttiä viisi kappaletta ja vaikeita testikenttiä kolme kappaletta.



Kuvio 10. Suuri-Majoisen testikentät

Helpot testikentät sijaitsivat matalassa taimikossa tai aukealla, joiden läheisyydessä ei ollut tiheää metsikköä. Keskivaikeat testikentät sijaisivat hieman varttuneemmassa metsässä, jossa puusto oli noin 3–5 metriä pitkää tai harvaa kookkaampaa puustoa. Vaikeat testikentät sijaitsivat tiheässä metsikössä, jossa kasvaa kookasta puustoa tai erittäin tiheää nuorempaa puustoa. Jokaiseen testikenttään rakennettiin seitsemän testipistettä lähekkäin, jotta testauksessa voitiin mitata kaikilla testilaitteilla samanaikaisesti. Testikenttien pisteet merkittiin maastoon pääosin puutikuilla, jotka näkyvöitettiin kuitunauhalla. Kalliolla käytettiin merkintään keltaista liitua. Alkuperäinen suunnitelma oli toteuttaa testikenttien mittaus niin, että siitä muodostuisi yhtenäinen verkko. Verkkomainen mittaus olisi vaatinut enemmän mittauksia yhtä testikenttää kohti ja tiukasta aikataulusta johtuen olisi testikenttien määrä jäänyt silloin liian pieneksi, joten mittaus päätettiin toteuttaa jonomittauksena lähtöpisteiltä testikentän läheisyyteen. Jonomittauksessa muodostuneet uudet pisteet merkittiin maastoon käyttäen puupaaluja ja maastossa olevia kiviä. Puupaaluihin pisteen paikka merkittiin tussimerkinnällä paalun päähän ja kiviin pisteen paikka merkittiin liidulla.



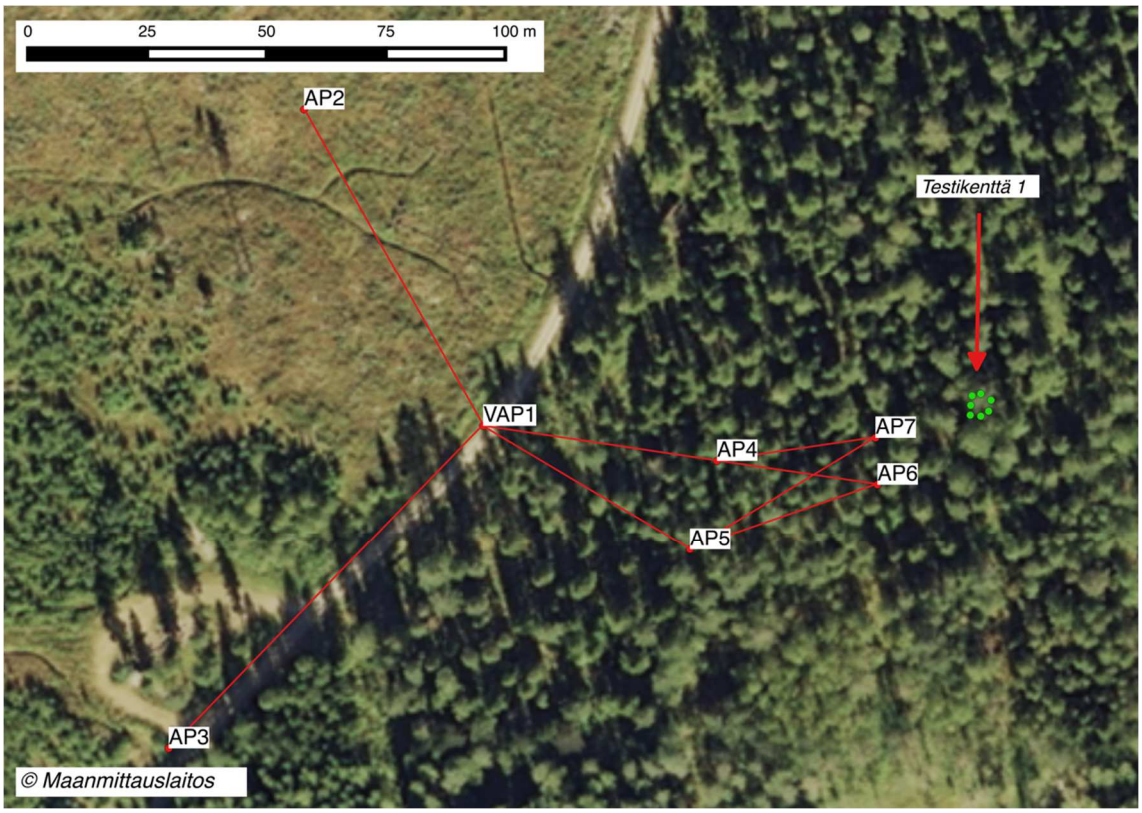
Kuvio 11. Haapamäen testikentät

Varsinainen mittaus toteutettiin niin, että suunnitellun testikentän läheisyyteen tuli vähintään kaksi mittausjonossa olevaa pistettä. Testikenttien läheisiltä jonopisteiltä tehtiin säteittäiset havainnot kaikkiin testipisteisiin, jolloin jokaisesta testipisteestä saatiin havainto kahdelta eri pisteeltä. Jonomittaus päätettiin takaisin lähtöpisteille, jolloin jono saatiin suljettua.

4.4 Testikenttien mittaaminen

4.4.1 Testikenttä 1

Mittaukset aloitettiin Suuri-Majoisen alueelta ja ensimmäisenä mittauspäivänä mitattiin testikenttä 1 (Kuvio 12). Ensimmäisenä mittauspäivänä ehdittiin mittaamaan ainoastaan yksi testikenttä, koska laitteiston käyttöönottoon ja tutustumiseen meni aikaa. Takymetriä ei ollut varustettu optisella luodilla eikä mittausryhmällä ollut tiedossa, että laite on varustettu laserluodilla ja sen vuoksi suunnitellun jonomittauksen sijaan päädyttiin ensimmäinen testikenttä mittaamaan vapaan asemapisteen menetelmällä.

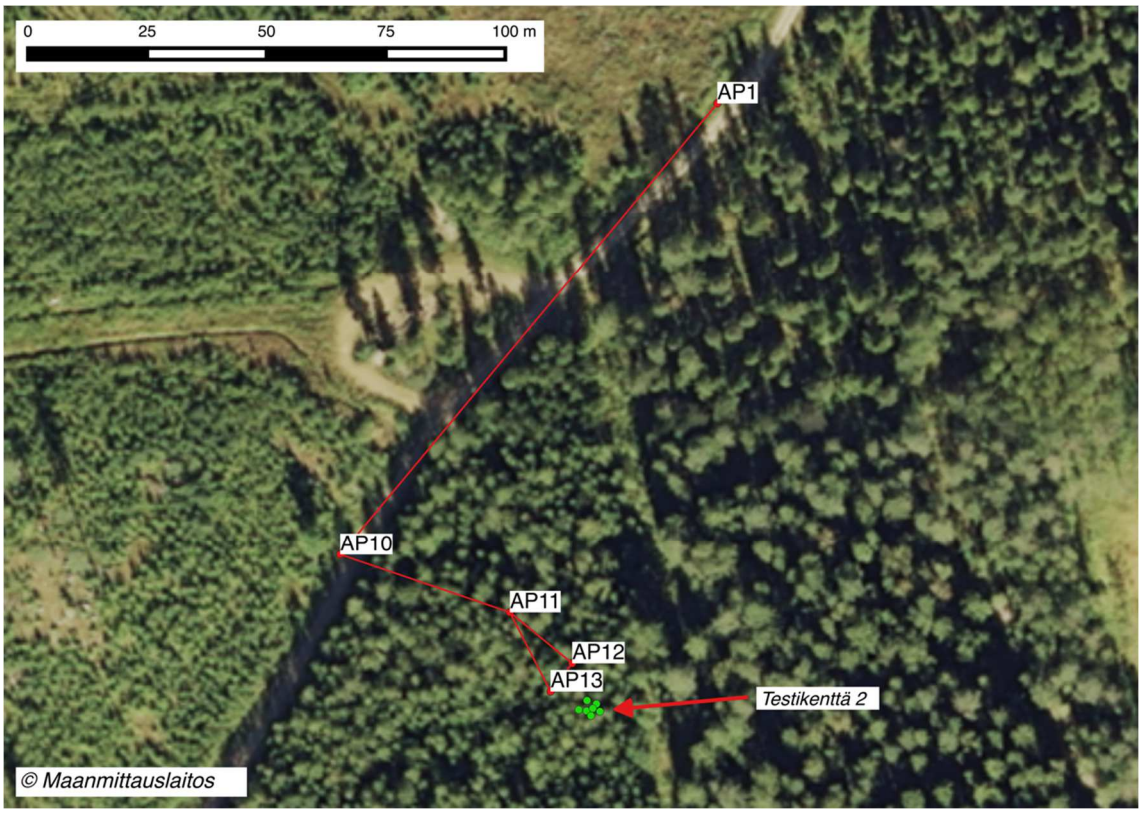


Kuvio 12. Testikenttä 1

Mittausta siirrettiin pistepareittain kohti testikenttää. Takymetrimittauksen lähtöpisteet pyrittiin sijoittamaan sellaiselle paikalle, jossa on mahdollisimman esteetön näkymä taivaalle ja näin ollen mahdollisimman edullinen satelliittimittaukselle. Lähtöpisteet mitattiin VRS –mittauksena, jolloin lähtöpisteiden koordinaatit saatiin käyttöön välittömästi. Lähtöpisteiden keskinäistä etäisyyttä pyrittiin kasvattamaan riittävästi, jotta VRS-mittauksen virhe vaikuttaisi mahdollisimman vähän takymetrimittauksen lähtösuuntaan. Varsinaisille testipisteille havainnot tehtiin pisteiltä AP6 ja AP7, joista laskettiin keskiarvokoordinaatit pisteille.

4.4.2 Testikenttä 2

Testikentästä 2 (Kuvio 13) alkaen mittaukset päästiin toteuttamaan suunnitelman mukaisesti jonomittauksena, koska tässä vaiheessa mittausryhmä oli ehtinyt tutustua takymetrin käyttöohjeisiin ja oli huomattu, että käytössä oleva koje on varustettu laserluodilla. Testikentän mittaus lähti liikkeelle tunnetulta pisteparilta AP1 ja AP10. Mittausjono eteni lähelle suunniteltua testikenttää, jonka lähelle sijoittui kaksi jonopistettä.

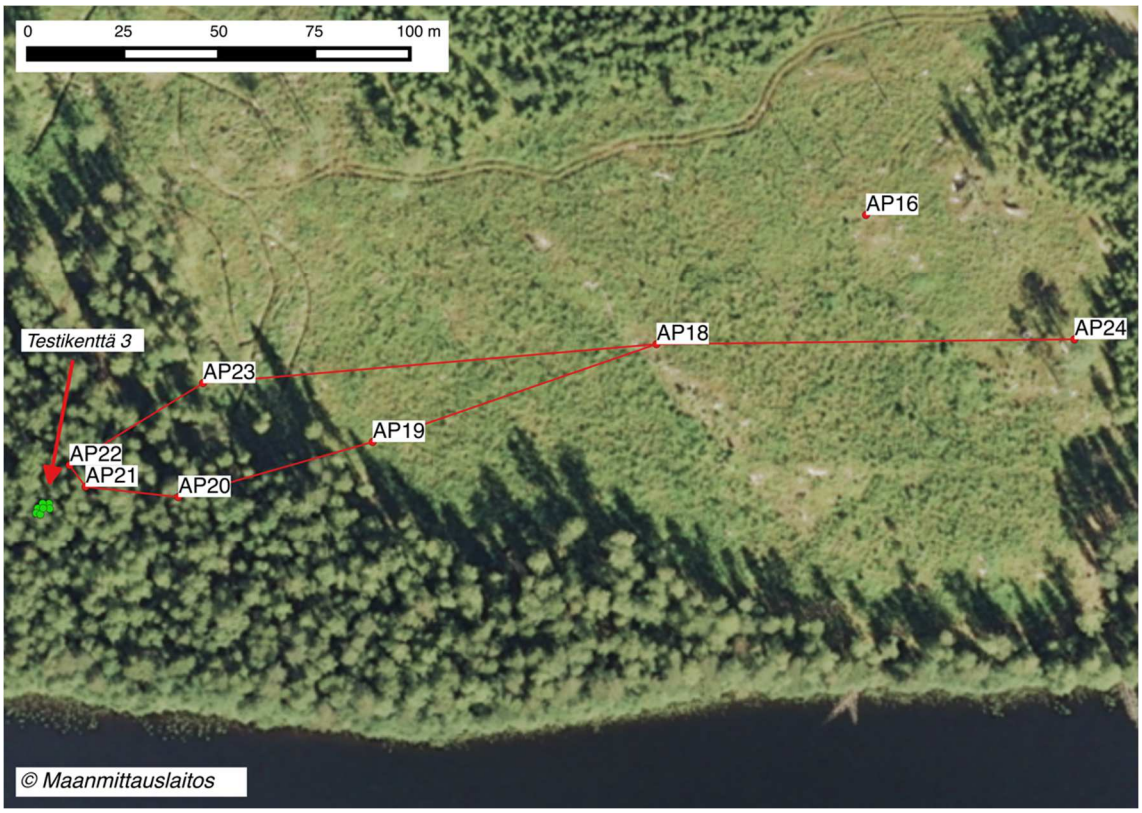


Kuvio 13. Testikenttä 2

Laskennassa jonomittauksen suuntasulkuvirheeksi muodostui –0,052 goonia ja pistesulkuvirheeksi muodostui 0,020 metriä. Suuntasulkuvirheen tasoituksen jälkeen pistesulkuvirheeksi jäi 0,006 metriä. Koordinaattisulkuvirheet tasoitettiin sivunpituuksien suhteen mittaussivuille. Pisteiltä AP12 ja AP13 tehtiin havainnot jokaiseen testipisteeseen, joista laskettiin keskiarvokoordinaatit pisteille. Testipisteille tehtyjen havaintojen perusteella laskettujen koordinaattien poikkeamat olivat keskimäärin 0,018 metriä, joka johtuu pisteiden likimääräisestä merkitsemistavasta. Laitetestiä ajatellen pisteiden tarkkuus on noin kaksi senttimetriä, joka täyttää tavoitteena olleen kymmenen senttimetrin tarkkuusvaatimuksen.

4.4.3 Testikenttä 3

Testikenttä 3 (Kuvio 14) mitattiin jonona ja mittaus suljettiin palaamalla takaisin lähtöpisteille. Mittauksien lähtöpisteenä oli aluksi AP16 ja lähtösuuntapisteenä AP15, mutta havainnoissa tapahtuneiden virheiden johdosta ne hylättiin laskennasta. Myöhempien mittausten ohessa piste AP18 mitattiin suoraan satelliittimittauksena, jolloin sitä voitiin käyttää lähtöpisteenä.

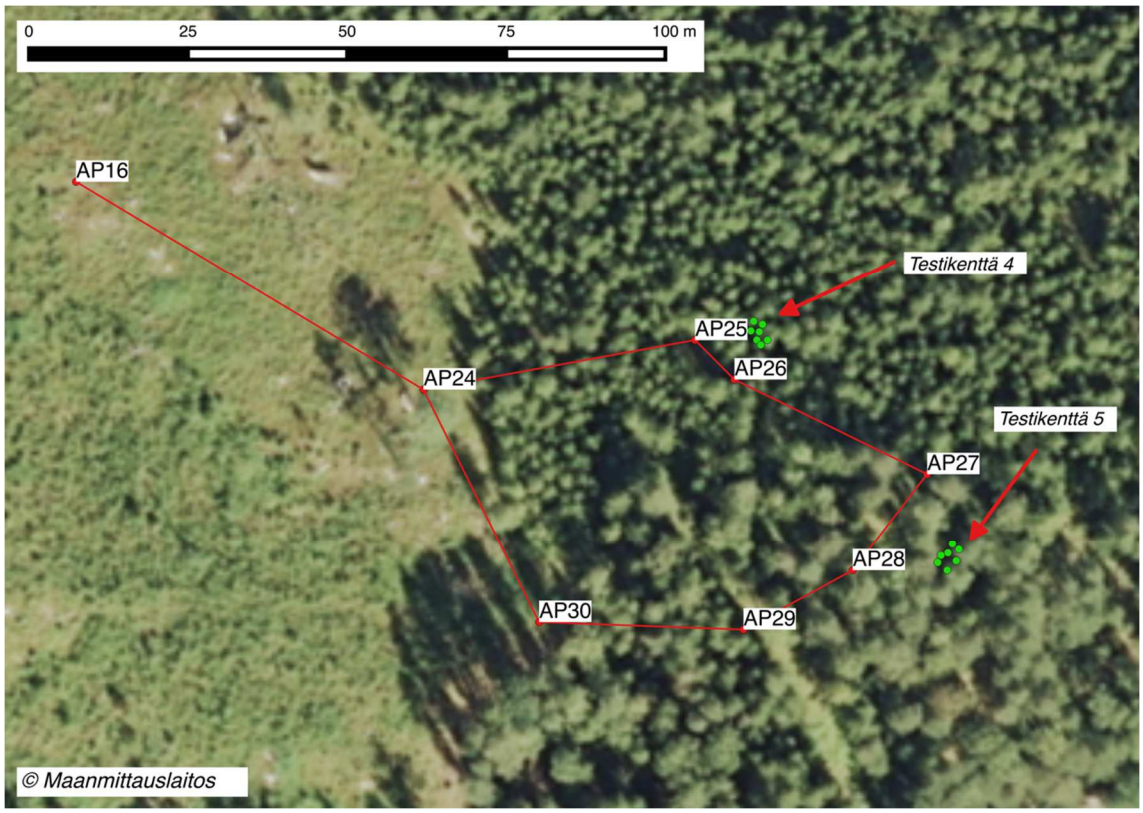


Kuvio 14. Testikenttä 3

Mittauksen lähtöpiste AP18 sijaisi aukealla kalliolla ja lähtöliitoshavainto otettiin pisteeltä AP24. Aukealla mittausta häiritsi lämpöväreily ja voimakas tuuli, joka heilutti mittauslinjalla olevia koivun taimia. Laskennassa mittauksen suuntasulkuvirheeksi saatiin 0,049 goonia ja pistesulkuvirheeksi ennen tasoitusta 0,139 metriä. Suuntien tasoituksen jälkeen pistesulkuvirheeksi muodostui 0,069 metriä. Koordinaattisulkuvirheet tasoitettiin sivunpituuksien suhteen mittaussivuille. Varsinaisten testipisteiden mittauksessa havaintojen poikkeamat olivat keskimäärin 0,017 metriä. Testipisteille annettu tavoitetarkkuus saavutettiin, vaikka mittauksen pistesulkuvirhe jäi melko suureksi.

4.4.4 Testikentät 4 ja 5

Testikentät 4 ja 5 (Kuvio 15) mitattiin saman jonomittauksen yhteydessä. Testikenttien 4 ja 5 varsinaiset testipisteet mitattiin kahdelta jonopisteeltä säteittäisesti jonomittauksen yhteydessä.



Kuvio 15. Testikentät 4 ja 5

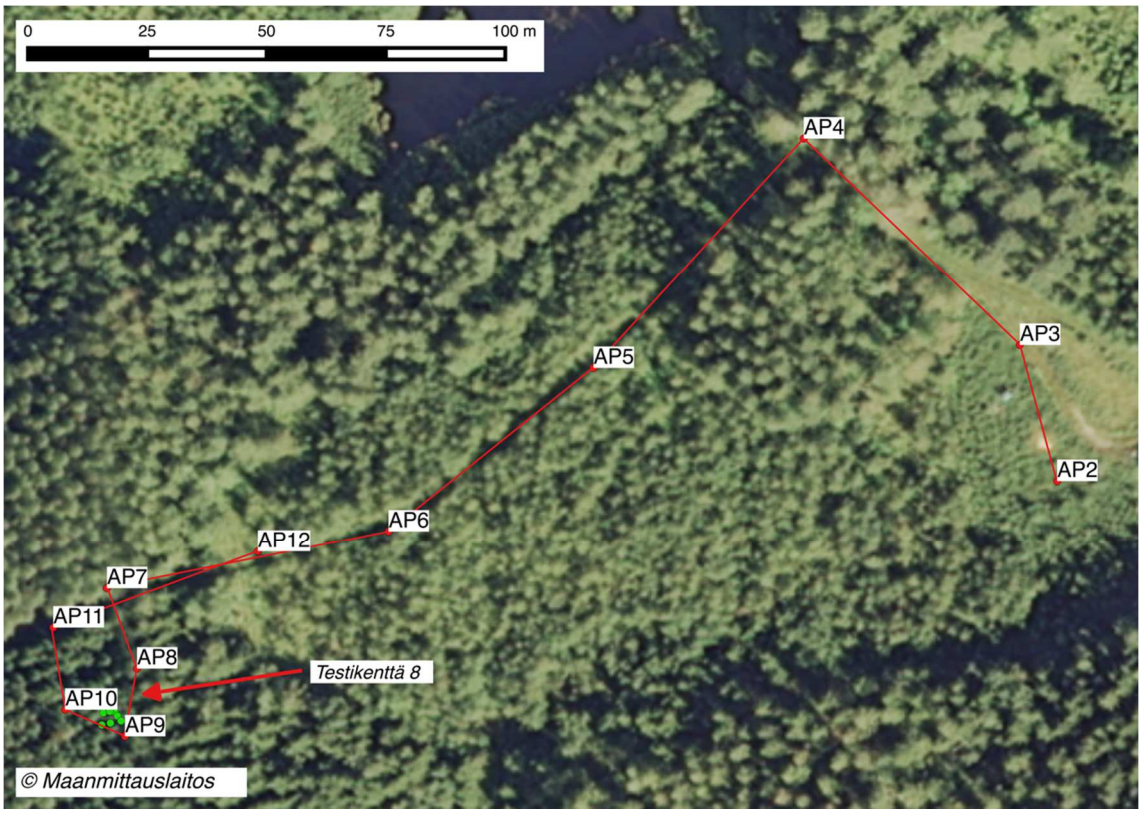
Testikentät sijoittuivat eri kohtaan mittausjonoa, jolloin samoja jonopisteitä ei käytetty molempien kenttien testipisteiden mittaamiseen. Mittauksen lähtöpisteinä olivat pisteet AP24 ja AP16. Jonomittaus suljettiin epätäydellisenä pisteelle AP24, jolloin mittauksen suuntasulkuvirhettä ei voitu laskea. Mittauksen pistesulkuvirheeksi muodostui 0,015 metriä, joka tasoitettiin koordinaattierojen suhteen. Testikentän 4 testipisteisiin tehtyjen havaintojen keskimääräinen poikkeamaksi muodostui 0,026 metriä ja testikentän 5 poikkeamaksi 0,013 metriä. Testikenttien 4 ja 5 osalta mittaukselle asetettu tavoitetarkkuus saavutettiin.

4.4.5 Testikentät 6 ja 7

Testikentät 6 ja 7 mitattiin suoraan VRS-mittauksena, koska ne sijaitsivat satelliittimittaukselle edullisella paikalla. Jokaiselta testipisteeltä mitattiin viiden minuutin pituinen havaintojakso. Testikenttä 6 sijaitsi aukealla kalliolla, josta oli esteetön näkyvyys taivaalle. Testikentän 6 mittauksessa vastaanottimen antennikorkeutena mittauksen aikana oli 1,950 metriä. Testikenttä 7 sijaitsi taimikossa, josta oli myös esteetön näkyvyys taivaalle. Testikentän 7 mittauksessa antennikorkeutena käytettiin 2,430 metriä.

4.4.6 Testikenttä 8

Testikenttä 8 (Kuvio 16) mitattiin jonomittauksena, joka suljettiin epätäydellisesti. Varsinaiset testipisteet mitattiin säteittäisesti jonopisteiltä. Jononimittauksen lähtöpisteiksi mitattiin VRS-mittauksena pisteet AP2 ja AP3. Mittaus eteni tieuraa pitkin lähelle suunniteltua testikenttää, joka sijaitsi tiheässä kuusikossa. Ajan säästämiseksi jonomittaukselle mitattiin sulkupiste AP12 VRS-mittauksena.



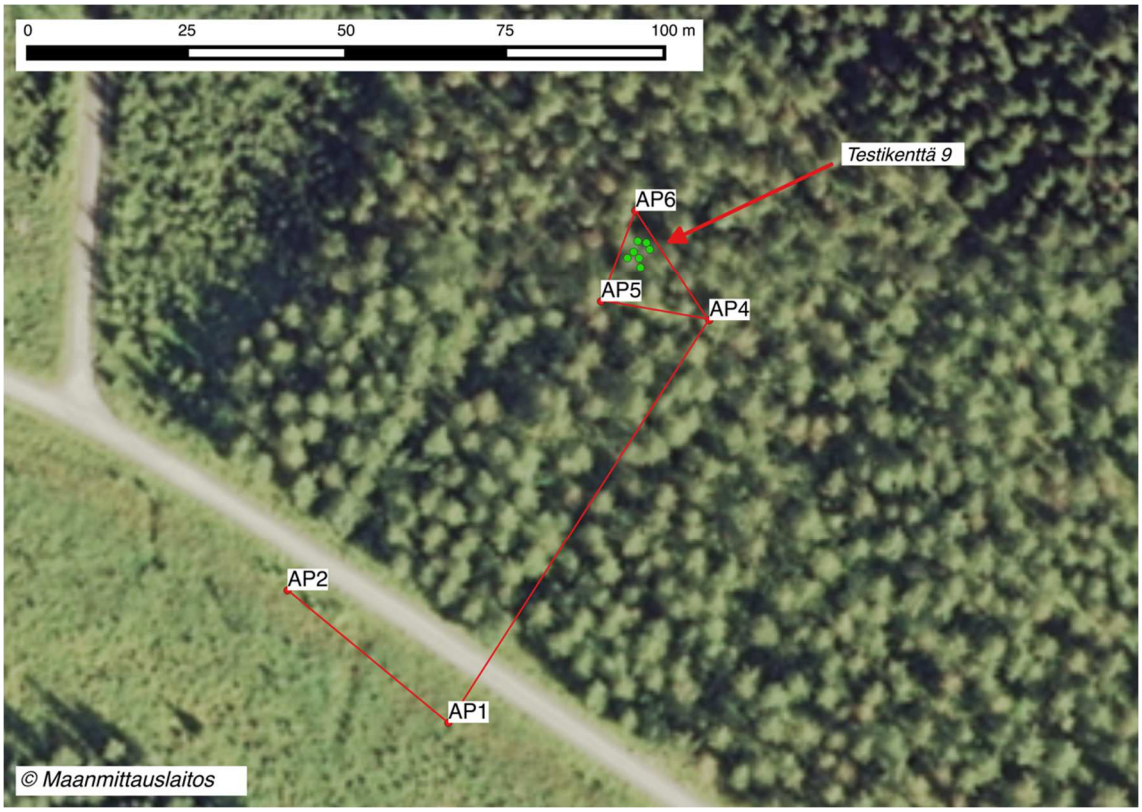
Kuvio 16. Testikenttä 8

Varsinaiset testipisteet mitattiin säteittäisesti pisteiltä AP8 ja AP9. Laskennassa jonomittauksen pistesulkuvirheeksi muodostui 0,100 metriä, joka tasoitettiin sivunpituuksien suhteen laskettuina korjauksina mittaussivuille. Testipisteille tehtyjen havaintojen keskimääräiseksi poikkeamaksi 0,018 metriä.

4.4.7 Testikenttä 9

Testikenttä 9 (Kuvio 17) mitattiin jonomittauksena, jonka lähtöpisteinä käytettiin pisteitä AP1 ja AP2. Varsinaiset testipisteet mitattiin säteittäisesti jonopisteiltä AP4 ja AP5. Laskennassa jonon suuntasulkuvirheeksi muodostui 0,069 goonia

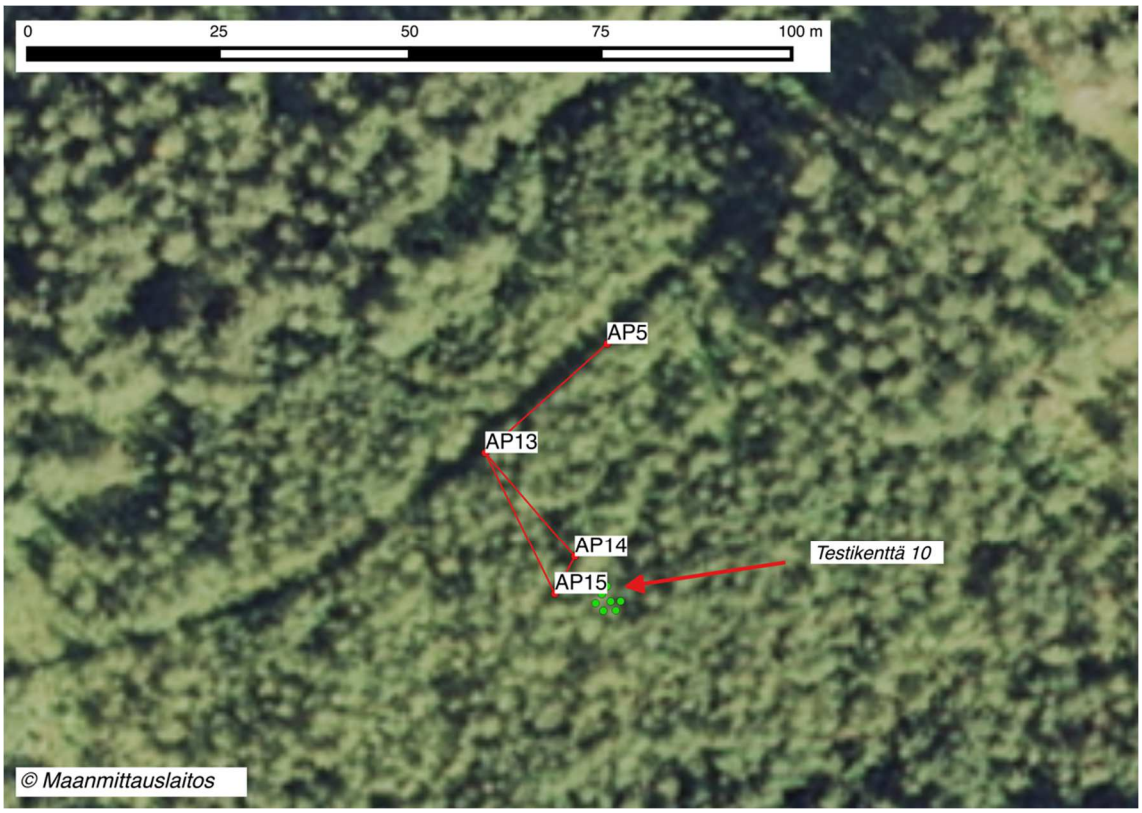
ja pistesulkuvirheeksi ennen suuntien tasoitusta 0,078 metriä. Suuntasulkuvirheiden tasoituksen jälkeen pistesulkuvirheeksi jäi 0,027 metriä, joka tasoitettiin sivunpituuksien suhteen laskettuina korjauksina mittaussivuille. Testipisteiden keskimääräiseksi poikkeamaksi muodostui 0,016 metriä.



Kuvio 17. Testikenttä 9

4.4.8 Testikenttä 10

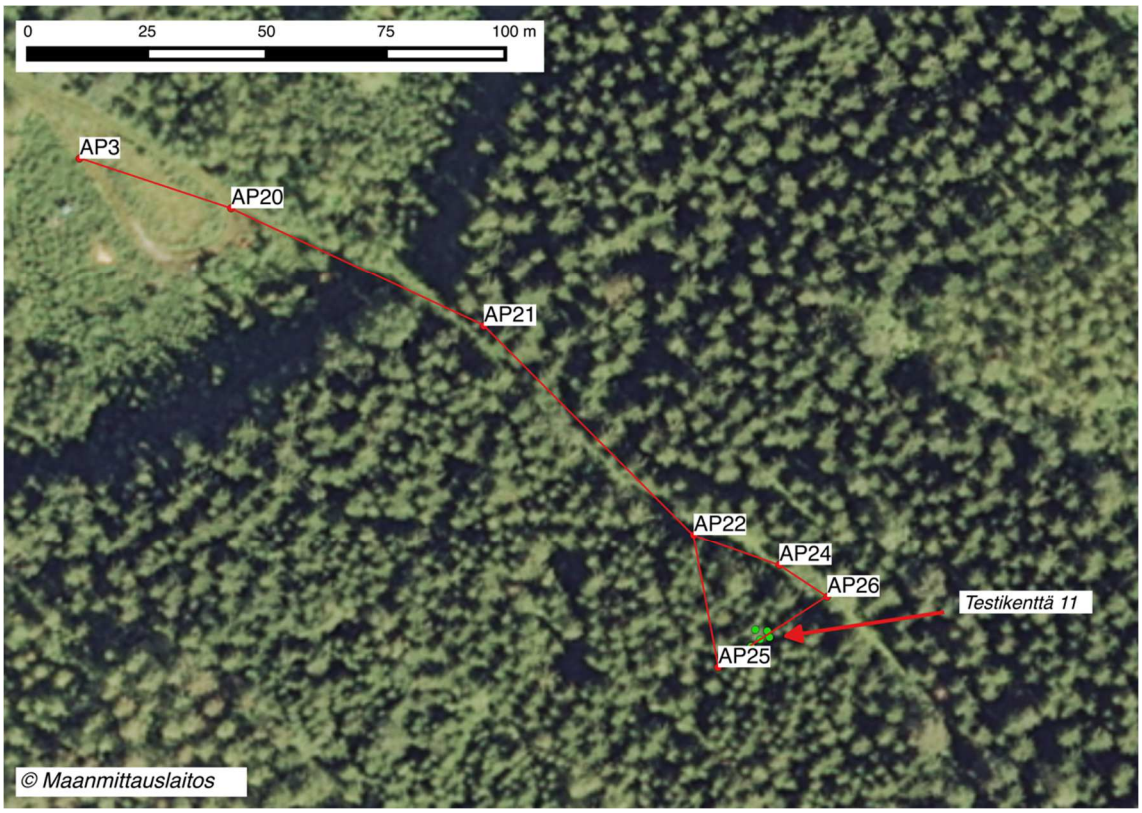
Testikenttä 10 (Kuvio 18) mitattiin jonomittauksena, jonka lähtöpisteinä käytettiin testikentän 8 yhteydessä mitattua jonopistettä AP5 ja VRS–mittauksena mitattua pistettä AP13. Varsinaiset testipisteet mitattiin säteittäisesti jonopisteiltä AP14 ja AP15. Mittauksen suuntasulkuvirheeksi laskennassa muodostui 0,016 goonia ja pistesulkuvirheeksi 0,006 metriä. Suuntien tasoituksen jälkeen pistesulkuvirheeksi muodostui 0,008 metriä, joka tasoitettiin sivunpituuksien suhteen laskettuina korjauksina mittaussivuille. Testipisteiden keskimääräiseksi poikkeamaksi muodostui 0,007 metriä.



Kuvio 18. Testikenttä 10

4.4.9 Testikenttä 11

Testikenttä 11 (Kuvio 19) mitattiin jonomittauksena, jonka lähtöpisteinä olivat AP3 ja AP20. Mittaus eteni aukealla sijaitsevilta lähtöpisteiltä tienpohjaa pitkin lähelle varsinaista testikenttää. Testipisteille havainnot tehtiin jonomittauksen yhteydessä pisteiltä AP24 ja AP26. Mittaus suljettiin palaamalla pisteen AP25 kautta takaisin lähtöpisteille AP20 ja AP3. Mittauksen suuntasulkuvirheeksi muodostui laskennassa –0,030 goonia ja koordinaattisulkuvirheeksi ennen suuntien tasoitusta 0,074 metriä. Suuntien tasoituksen jälkeen koordinaattisulkuvirheeksi jäi 0,034 metriä, joka tasoitettiin sivunpituuksien suhteessa laskettuina korjauksina mittaussivuille. Testipisteille tehtyjen havaintojen keskimääräiseksi poikkeamaksi muodostui 0,011 metriä.



Kuvio 19. Testikenttä 11

5 YHTEENVETO

5.1 Mittaustulokset

Jonomittauksissa (Taulukko 1) testikenttien 3 ja 8 osalta pistesulkuvirheet kasvoivat yli kymmenen senttimetrin, jolloin laitetestin havaintojen tulkinnassa täytyy ottaa huomioon niiden aiheuttama epävarmuus. Testikentissä 9 ja 11 pistesulkuvirheet jäivät alle kymmenen senttimetrin, mutta ovat lähes kahdeksan senttimetriä. Testikentät 2, 4 ja 5 osalta jonomittauksissa päästiin riittävälle tasolle virheiden muodostumisen kannalta. Testikenttä 1 mittausten osalta sulkuvirheitä ei pystytty laskemaan johtuen mittaustavasta. Testikentät 6 ja 7 mitattiin suoraan VRS-mittauksena.

Taulukko 1. Yhteenveto jonomittauksista

	Suuntasulkuvirhe	Jonon pituus	Pistesulkuvirhe	ppm
Testikenttä 1	VAP	VAP	VAP	VAP
Testikenttä 2	-0,052	118,012	0,020	174
Testikenttä 3	0,049	323,188	0,139	429
Testikenttä 4	Ei sulkua	197,450	0,015	74
Testikenttä 5	Ei sulkua	197,450	0,015	74
Testikenttä 6	VRS	VRS	VRS	VRS
Testikenttä 7	VRS	VRS	VRS	VRS
Testikenttä 8	Ei sulkua	352,195	0,100	285
Testikenttä 9	0,069	204,367	0,078	384
Testikenttä 10	0,016	44,038	0,007	154
Testikenttä 11	-0,03	327,684	0,074	225

Testikentät mitattiin jonomittauksien yhteydessä kahdelta jonopisteeltä, jolloin kaikista testipisteistä on kaksi havaintoa. Testipisteille tehtyjen havainnoista laskettujen keskiarvojen keskiarvot ovat näkyvissä alla olevassa taulukossa (Taulukko 2). Testipisteille tehtyjen havaintojen poikkeamat jäävät pääosin alle kahden senttimetrin, mutta testikentän 4 osalta poikkeama on lähes kolme senttimetriä. Testipisteille tehtyjen havaintojen poikkeamat johtuvat suurimmaksi osaksi pisteiden merkitsemistavasta. Pisteiden merkintä tapahtui puusta tehdyillä tikuilla, joiden viereen prismasauva asemoitiin. Tämän vuoksi toista havaintoa tehdessä prismasauva ei välttämät asettunut juuri täsmälleen samaan kohtaan kuin aiempaa mittausta tehdessä.

Taulukko 2. Testikenttien keskipoikkeamat

	Testikenttien keskipoikkemat
Testikenttä 1	VAP
Testikenttä 2	0,018
Testikenttä 3	0,013
Testikenttä 4	0,027
Testikenttä 5	0,013
Testikenttä 6	VRS
Testikenttä 7	VRS
Testikenttä 8	0,016
Testikenttä 9	0,016
Testikenttä 10	0,007
Testikenttä 11	0,011

5.2 Laitetesti

Testimittauksissa oli mukana kuusi kappaletta paikkatietotason DGNSS vastaanotinta, joista viisi oli Trimble merkkisiä ja yksi TopCon merkkinen laite. Vertailun vuoksi mukana oli myös testikenttien mittaamisessa käytetty Trimble R10. Testimittaukset toteutettiin puolen tunnin jaksoissa ilman reaaliaikaista korjausta, jotta jälkilaskennassa pystyttiin vertaamaan eri korjauspalveluiden tuottamaan korjaustietoa. Jokaisen havaintojakson jälkeen vaihdettiin mittauspaikka, jolloin jokaisena mittauspäivänä saatiin jokaisesta testikentästä vähintään kaksi mittausjaksoa. Testimittausten ohessa kirjattiin havaintoja laitteiden akun kestävyydestä ja ergonomiasta sekä kartoitettiin tarkemmin testikenttien puustotiedot.

Testimittausten jälkeen mittausaineisto ladattiin laitteista tietokoneelle jälkilaskentaa varten. Mittausaineiston jälkilaskenta tapahtui paikkatietotason laitteissa differentiaalikorjauksena ja Trimble R10 osalta suhteellisen paikannuksen vektorilaskentana. Jälkilaskennassa tarvittava tieto saatiin Geotrim Oy:n ylläpitämän VRS-palvelun kautta tiedostoina. Paikkatietotason laitteilla korjaus tapahtui Trimble Pathfinder Office-ohjelmiston avulla ja Trimble R10 osalta Trimble Business Center-ohjelmiston avulla.

6 POHDINTA

Testikenttien rakentaminen onnistui tyydyttävästi ja suurelta osin päästiin testipisteissä tavoitetarkkuuteen. Testikenttien rakentamisesta oli ennen työn aloitusta jo jonkinlainen suunnitelma ja pisteiden merkintää oli mietitty etukäteen. Varsinaista mittaussuunnitelmaa ei ollut etukäteen laadittu, mutta alustava ajatus oli tehdä verkkomaisia mittauksia. Käytännössä kuitenkin ilmeni, että verkkomainen mittaus olisi vaatinut enemmän aikaa varsinaiseen mittaustyöhön ja testikenttien määrä olisi tuolloin jäänyt liian pieneksi.

Testikenttien rakentaminen vei aikaa yllättävän paljon ja mittausvälineiden opettelu hidasti jonkin verran mittauksen toteutusta. Itse mittaaminen oli selkeää, mutta mittauslinjojen suunnitteluun kannattaa jatkossa käyttää aikaa, jotta itse mittaamisesta tulee selkeä ja helposti hallittava työvaihe. Mittausten toistettavuuteen kannattaa jatkossa panostaa eli toisin sanoen merkitä pisteet maastoon niin, että ne säilyvät riittävän kauan. Hyvin merkityiltä pisteiltä voidaan tehdä tarvittaessa lisämittauksia, jos laskennassa ilmenee jotain poikkeavaa.

Mittausaineiston käsittelyyn meni odotettua enemmän aikaa, koska käytössä olleeseen Trimble Business Center-ohjelmistoon tutustuminen vei aikaa varsinaiselta aineiston käsittelyltä.

LÄHTEET

Geotrim Oy. 2015. Trimnet VRS. Viitattu 28.1.2016 http://www.geotrim.fi/index.php/palvelut/trimnet-vrs.

Laurila, P. 1993. Täydellisesti suljetun jonomittauksen laskentamenetelmien vertailua. Maanmittaus 1–2/1993, 21–22.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Jyväskylä: Kopijyvä Oy.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2015. Metsähallinto. Viitattu 11.11.2015 http://mmm.fi/metsat/metsahallinto.

Paananen, R. 2014. Metsävaratieto ja sen käytön mahdollisuudet. Viitattu 1.3.2016 http://www.metla.fi/hanke/7497/pdf/Paananen-Raito.pdf.

Salmenperä, H. 2004. Maasto- ja rakennusmittausten perusteet. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Suomen Metsäkeskus. 2015a. Organisaatio. Viitattu 11.11.2015 http://www.metsakeskus.fi/organisaatio.

Suomen Metsäkeskus. 2015b. Metsätiedon keruu. Viitattu 11.11.2015 http://www.metsakeskus.fi/metsatiedon-keruu.

Suomen Metsäkeskus. 2015c. Historia. Viitattu 28.1.2016 http://www.metsakeskus.fi/historia.

Suomen Metsäkeskus. 2015d. Organisaatiokaavio. Viitattu 28.1.2016 http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/smk-organisaatiokaavio-2015.pdf.

Vermeer, M. 2015. Käytännön geodesia. Viitattu 10.5.2015 https://users.aalto.fi/~mvermeer/kayt.pdf.

VirtuaaliAMK. 2015. GPS-signaalin rakenne. Viitattu 28.1.2016 http://kronos.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/PaikkatietoWWW/paikannus/gps4.html.