

Joonas Käsnänen, Teemu Laaksonen

# Staatintinen satelliittimittausvertailu Trimnetin ja SmartNetin verkoissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

21.1.2016

Tekijät Otsikko	Joona Käsnänen, Teemu Laaksonen Staattinen satelliittimittausvertailu Trimnetin ja SmartNetin verkoissa
Sivumäärä Aika	45 sivua + 3 liitettä 21.1.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaaja	lehtori Reijo Aalto
<p>Tämän insinööriyön aiheena oli tehdä tasapuolinen staattisen satelliittimittauksen vertailu Trimnet- ja SmartNet-tukiasemaverkkojen välillä sekä samalla tutustua koordinaatistoihin, satelliittimittauksiin ja verkkoihin. Vastaavaa vertailua ei meidän selvityksen mukaan ollut aiemmin tehty, joten ennakko-odotuksia tulosten suhteen ei ollut. Suuria eroja tukiasemaverkkojen välillä ei odotettu, mutta tavoitteena oli saada tuloksia, jotka mahdollistaisivat jonkinlaisten johtopäätösten tekemisen.</p> <p>Vertailu tehtiin siis staattisella satelliittimittauksella. Kaikki mittaukset on tehty samalla Trimble R8 GNSS -vastaanottimella ja laskennat Trimble Business Center -ohjelmalla. Olimme valinneet referenssipisteiksi kolme ensimmäisen luokan kolmiopistettä, joilla kaikilla tehtiin kaksi kahden tunnin havaintojaksoa. Mittauksissamme keräsimme vain satelliittien lähettämää dataa ja mittausten jälkeen laskensimme valituilta Trimnetin ja SmartNetin tukiasemilta saman ajanjakson havaintodataa. Jokaisen pisteen laskentaa varten otettiin Trimnetiltä ja SmartNetilta kolme tukiasemaa, jotka on valittu niin, että ne muodostaisivat mahdollisimman samanlaiset verkot pisteiden ympärille. Laskennasta saatuja uusia koordinaatteja verrattiin sitten referenssipisteiden koordinaatteihin.</p> <p>Kuitenkaan emme saaneet yhdeltä suunnitellulta SmartNetin tukiasemalta havaintodataa ladattua, joten jouduimme käyttämään yhdellä pisteellä vaihtoehtoista SmartNetin verkkoa. Korvaava verkko ei ollut yhtä laadukas kuin alun perin suunniteltu, mutta tämän ei kuitenkaan katsottu vaikuttavan lopullisten johtopäätösten tekemiseen.</p> <p>Tuloksemme olivat hyvin systemaattisia. Kovin suuria eroja tukiasemien välillä ei odotetusti ollut. Kuitenkin jokaisella pisteellä Trimnet voitti tasotarkkuudessa ja SmartNet korkeudessa. Myös erojen suunnat referenssipisteestä olivat systemaattisia. Yhtä poikkeusta lukuun ottamatta erot menivät suunnilleen kaakkoon. Työmme siis osoitti, että Trimnet- ja SmartNet-tukiasemaverkkojen välillä on systemaattisia eroja.</p>	
Avainsanat	satelliittimittaus, staattinen, Trimnet, SmartNet, verkko

Author Title	Joona Käsnänen, Teemu Laaksonen Satellite relative positioning in Trimnet and SmartNet networks
Number of Pages Date	45 pages + 3 appendices 21 January 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Reijo Aalto, Senior Lecturer
<p>The aim of this thesis was to compare the SmartNet and Trimnet reference networks in static satellite surveying and introduce coordinate systems, satellite surveying and GNSS-networks.</p> <p>The comparison was made with the static surveying method. Three first class triangulation points were chosen as reference points. At each point, two two-hour survey sessions were recorded. Furthermore, three reference stations from both networks were chosen for each of the three reference points. The reference stations were chosen to form as similar networks as possible around the reference points. The new, calculated coordinates were compared to the given coordinates.</p> <p>The results were systematic. As expected, there were no major differences between the two networks. However, the 2-dimensional accuracy was always better with the Trimnet reference stations, and the SmartNet reference stations always showed better accuracy in height. The project established that there are systematic differences between the Trimnet and SmartNet solutions.</p>	
Keywords	satellite surveying, static, Trimnet, SmartNet, network

## Sisällys

### Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	EUREF ja Suomi	1
2.1	Koordinaattijärjestelmät ja koordinaatistot	2
2.2	European datum 1950 (ED50)	3
2.3	Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ)	3
2.4	World Geodetic System 1984 (WGS84)	3
2.5	International Terrestrial Reference System (ITRS)	4
2.6	European Terrestrial Reference System (ETRS89) ja EUREF	4
2.7	EUREF Suomeen	4
2.8	EUREF89	5
2.9	GPS-Suomi 1992	5
2.10	FinnRef	5
2.11	Euroopan pysyvä GPS-verkko (EPN)	5
2.12	EUREF-FIN-koordinaatisto	6
2.13	EUREF-FIN-tihennyspisteet	6
2.14	EUREF89:n ja EUREF-FIN:n erot	7
3	Satelliittijärjestelmät	7
3.1	GNSS (Global Navigation Satellite Systems)	7
3.2	GPS	8
3.3	GLONASS	9
3.4	Galileo	10
3.5	BEIDOU	11
4	Staattinen mittaus	12
4.1	Avainasiat	12
4.2	Havaintoajat sekä verkon suunnitteluperusteita	14
4.3	Pistehierarkiasta	14
4.4	Laskenta	15
4.5	Virhelähteitä	15

4.5.1	Ilmakehä	15
4.5.2	Kello- ja ratavirheet	16
4.5.3	Satelliittigeometria	17
4.5.4	Ympäristö	18
4.5.5	Monitieheijastukset	18
4.5.6	Ratatietojen tarkkuus	19
5	Verkkoratkaisut	20
5.1	Trimnet	20
5.2	SmartNet	21
6	Trimnetin ja SmartNetin vertailu	22
6.1	Tutkimusasetelma	22
6.2	Referenssipisteiden sekä tukiasemien valinta	24
6.3	Mittaus	31
6.4	Laskenta	33
6.4.1	Vektorien valinta	33
6.4.2	Vektorien ratkaisu	36
6.4.3	Tasointi	37
6.5	Tulokset	37
6.5.1	Tulosten analysointi	39
6.5.2	Johtopäätökset	42
7	Yhteenveto	42
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. Referenssipisteiden pistekortit	
	Liite 2. Mittauspöytäkirjat	
	Liite 3. Tasointilaskentaraaportit	

## Lyhenteet ja käsitteet

ARP	Antenna Reference Point. Kohta antennissa, johon koordinaatit määritetään. [4, s. 3.]
CMR	Compact Measurement Record. Trimblen oma korjausdataformaatti. [18; 7, s. 11–12.]
DGPS	Differential GPS. Satelliittipaikannuksen tarkennusmenetelmä. Se hyödyntää tukiasemia, jotka vastaanottavat satelliittisignaaleja ja lähettävät liikkuvalla vastaanottimelle korjausdataa. [10, s. 7–9.]
DMA	Defence Mapping Agency. Yhdysvaltojen armeijan karttavirasto.
DOP	Dilution of Precision. Luvut, jotka kuvaavat satelliittigeometrian tarkkuutta.
ED50	European Datum 1950. Eurooppalaisten kolmioverkkojen yhteistasoitus 1950-luvulta. Länsi-Euroopan kattava koordinaatisto. [1, s. 1–9.]
Epookki	Ajanhetki.
ESA	European Space Agency. Euroopan avaruusjärjestö.
ETRF	European Terrestrial Reference Frame. ERTS-järjestelmän realisaatio. [7]
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989. Euraasian mannerlaattaan kiinnitetty koordinaattijärjestelmä. Kiinnitetty ITRS-järjestelmään epookissa 1989.0. [1, s. 10.]
EUREF-FIN	ETRS89-datumin realisoinnin tuloksena saatu kansallinen koordinaattijärjestelmä. ETRS89 on realisoitu Suomessa GPS-mittausten avulla ja tästä realisaatiosta käytetään nimeä EUREF-FIN. [4, s. 3.]
EUREF89	European Terrestrial Reference System 1989. ITRF-järjestelmän ensimmäinen realisaatio. [1, s. 11–13.]

FKP	Flächen-Korrektur Parameter. Korjausdatamenettely. [19.]
GDOP	Geometric Dilution of Precision. Luku, joka kuvaa satelliittigeometrian vaikutusta sijainnin ja ajan tarkkuuteen. GDOP-arvossa on PDOP-arvon lisäksi vastaanottimen kellovirheen vaikutus sijaintitarkkuuteen huomioituna. [4, s. 3.]
GNSS	Global Navigation Satellite Systems. Yhteisnimitys maailmanlaajuisille satelliittipaikannusjärjestelmille, esimerkiksi: <ul style="list-style-type: none"> <li>• GPS, Global Positioning System, yhdysvaltalainen satelliittipaikannusjärjestelmä</li> <li>• GLONASS, Global Navigation Satellite System, venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä</li> <li>• Galileo, eurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä</li> <li>• Beidou/Compass, kiinalainen satelliittipaikannusjärjestelmä [4, s. 3.]</li> </ul>
GPRS	General Packet Radio Service. GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu. [18; 7, s. 11–12.]
GPS	Global Positioning System. Yhdysvaltojen puolustusministeriön satelliittipaikannusjärjestelmä.
IAG	International Association of Geodesy. Kansainvälinen geodeettinen assosiaatio.
IERS	International Earth Rotation Service. Kansainvälinen organisaatio, joka vastaa kahdesta koordinaattijärjestelmästä; ITRS:stä, joka on maakeskinen sekä ICRS:stä, joka on tähtitieteellinen. Näihin liittyen se myös seuraa maapallon asentoa avaruudessa. [1, s. 8–10.]
IGS	International GNSS Service.

i-MAX	Individualised Master Auxiliary Corrections. Vanhemmille vastaanottimille oleva MAX-korjaus. [7, s. 13–15; 19.]
ITRF	International Terrestrial Reference Frame. Kansainvälinen maakeskinen koordinaatisto. ITR-järjestelmän realisaatio. [7]
ITRS	International Terrestrial Reference System. Globaali 3D-koordinaattijärjestelmä, perussuureet ovat GRS80-järjestelmän mukaisia ja koordinaatiston orientointi on BIH:n (Bureau International de l'Heure) vuoden 1984.0 orientoinnin mukainen. Pisteille on määritelty suorakulmaiset avaruuskoordinaatit ja niiden vuotuinen liike. [7]
JHS	Julkisen hallinnon suositus.
Karkea virhe	Yksittäinen virhe, useimmiten huolimattomuutta, esimerkiksi kirjoitusvirhe tai huono keskistys. Voi olla myös laitteiston hetkellinen toimintahäiriö.
KKJ	Kartastokoordinaattijärjestelmä.
MAC	Master Auxiliary Concept. Leican verkko-RTK-korjauskonsepti. [7, s. 13–15; 19.]
MAX	Leican verkko-RTK-korjausmenetelmä. Perustuu oikeisiin tukiasemiin ja on jäljitettävämpi kuin VRS-menetelmä. [7, s. 13–15; 19.]
PCO	Phase Center Offset. ARP:n ja antennin vaihekeskipisteen välinen keskimääräinen ero. [4, s. 4.]
PCV	Phase Center Variation. Antennin vaihekeskipisteen vaihtelu joka riippuu signaalin tulokulmasta. [4, s. 4.]
PDOP	Position Dilution of Precision. Paikannuksen taso- ja korkeustarkkuuden yhdistetty epävarmuus. [4, s. 4.]
PRS	Pseudo-Reference Station. VRS-tyyppinen menetelmä.



RINEX	Receiver Independent Exchange Format. GNSS-havaintodatan yhtenäisformaatti.
RMS	Root mean square. Neliöllinen keskiarvo.
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services. Maailmanlaajuinen viestintään keskittynyt organisaatio. [18; 7, s. 11–12.]
RTK	Real Time Kinematic. Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus. Siinä käytetään satelliittisignaalin kantoaallon vaihetta ja tukiasemia tarkan mittaustuloksen saavuttamiseen. [4, s. 4.]
Satelliittigeometria	Satelliittien keskinäinen sijainti taivaalla. Satelliittigeometrian mittarina käytetään DOP-lukuja. [7]
Satelliittikonstellaatio	Satelliittien keskinäiset asemat avaruudessa. Ne satelliitit, joita vastaanotin käyttää sijaintinsa laskemiseen tietyllä hetkellä. Geometria vaikuttaa paikannuksen tarkkuuteen. [7]
Triviaalivektori	Yhden GPS-havaintojakson aikana, jossa käytetään N määrä vastaanottimia, voidaan mitata N-1 riippumatonta vektoria. Jos laskentaan taikka taasoitukseen otetaan havaintojaksosta useampia vektoreita, jotka muodostavat sulkeutuvia kuvioita yhden havaintojakson aikana, kutsutaan näitä vektoreita triviaalivektoreiksi. [4, s. 4.]
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System. Maailmanlaajuinen liikkuvan televiestinnän järjestelmä, 3G-matkapuhelinteknologia. [7]
VRS	Virtual Reference Station. Verkko-RTK-korjausdatamenetelmä.
VVJ	Vanha valtion järjestelmä
WGS84	World Geodetic System 1984. GPS-satelliittien käyttämä koordinaattijärjestelmä ja koordinaatisto. WGS84 on Yhdysvaltojen puolustushallinnon karttalaitoksen määrittelemä järjestelmä. [1, s. 8–10.]

YKJ

Yhtenäiskoordinaatisto

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on tutkia Trimnet- ja SmartNet-verkkoratkaisujen eroja ja tarkkuuksia staattisessa mittauksessa. Pohdimme myös, mistä erot syntyvät. Mittaamme yhdellä laitteella, joten laitteita emme vertaile keskenään. Teemme staattisen relatiivisen mittauksen kolmella ensimmäisen luokan kiintopisteellä. Kiintopisteiden koordinaatteja käytämme vertailussa. Päädyimme käyttämään referenssipisteinä ensimmäisen luokan kiintopisteitä, koska ne oletettavasti ovat valtakunnan tarkimpia. Teimme kaksi havaintojaksoa jokaisella kiintopisteellä. Verrannollisvastaanottimina toimivat Trimnet- ja SmartNet-verkkojen tukiasemat, jotka mittaavat koko ajan. Mittauksessa tallensimme vain satelliiteilta saatua raakadataa. Sen jälkeen latasimme laskentaa varten valitsemillamme Trimnetin ja SmartNetin tukiasemilta niiden tallentaman raakadatan samalta ajanjaksolta. Näin erot tuloksissa tulevat vain ja ainoastaan tukiasemaverkoista ja niiden ratkaisuista. Tällaista vertailua ei meidän selvityksen mukaan ole aikaisemmin suoritettu Suomessa.

Tulokset antavat suuntaa tarkkuuksille, joita kaupallisissa verkoissa toteutettavassa staattisessa mittauksessa saadaan aikaan. Ne myös kertovat tukiasemaverkkojen yhteensopivuudesta EUREF-FIN-koordinaatiston kanssa.

## 2 EUREF ja Suomi

Satelliittipaikannusjärjestelmien käyttöönotto on ollut mullistus maanmittausalalla. Vanhempiin menetelmiin verrattuna mittausten tarkkuus ja nopeus paranivat oleellisesti. Tämä on tuonut mukanaan myös uusia haasteita, sillä satelliittijärjestelmien käyttämistä globaaleista koordinaateista karttakoordinaatteihin siirtyminen vaatii koordinaattimuunnosten käyttämistä.

Suomen kartoissa aiemmin pääsääntöisesti käytetty kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) perustuu Suomen ensimmäisen luokan kolmioverkon tasoitukseen vuodelta 1966. KKJ:n orientointi on perua sen edeltäjästä Helsingin järjestelmästä, joka tunnetaan myös nimellä Vanha valtion järjestelmä (VVJ), joka puolestaan on otettu käyttöön jo vuonna

1922. KKJ:n pohjana oleva Suomen ensimmäisen luokan kolmioverkko oli omana aikanaan maailman tarkimpia.

GPS (Global Positioning System) -satelliitit lähettävät ratatietonsa WGS84 (World Geodetic System 1984) -järjestelmässä. Tämä poikkeaa merkittävästi KKJ-järjestelmästä. Ero ei myöskään ole sama koko Suomen alueella. WGS84-järjestelmän perusta luotiin 1980-luvun alkupuolella. Sen realisaatio eli kiintopisteverkko on harva. Suomessa ei ole ollenkaan sen kiintopisteitä.

Tarkka globaali kiintopisteverkko ITRF (International Terrestrial Reference Frame) on realisoitu ympäri maailman. Tämän pohjalta luotiin 1990-luvulla Eurooppaan koordinaatisto, jonka realisoivat pisteet ovat Euraasian mannerlaatan deformatiomattomassa osassa. Niiden koordinaatit eivät muutu mannerlaatan liikkuesssa. Ensimmäistä realisaatiota kutsuttiin nimellä EUREF89. Tämän jälkeen Euroopan eri maihin on tehty kiintopisteverkkoja, joissa on hyvin pieniä eroja alkuperäiseen verkkoon nähden; niitä voisi pitää tihennysmittauksina.

Geodeettinen laitos mittasi vuosien 1996–1997 Suomeen sadan pisteen verkon, joka sidottiin eurooppalaiseen koordinaatistoon Suomessa olevan pysyvän GPS-verkon välityksellä. Nämä sata pistettä realisoivat EUREF-FIN-koordinaatiston ja ovat sen peruspisteistö. Vuosina 1998–1999 pisteistöä tihennettiin mittaamalla noin 350 pisteen verkko. Tihennyspisteet on sidottu alkuperäisiin pisteisiin.

Vuosina 1998–1999 vaikuttanut koordinaatistouudistusta pohtinut työryhmä päätyi lausunnossaan yksimielisyyteen EUREF-FIN-koordinaatiston käyttöönottamisen suosittelemisesta. KKJ poikkeaa paljon globaalista koordinaatistosta, ja sen sisäinen tarkkuus on liian heikko. [1, s. 8–13.]

## 2.1 Koordinaattijärjestelmät ja koordinaatistot

Koordinaatistojen lähtökohtainen ymmärtäminen on tärkeää alalla työskenteleville henkilöille. Geodeettista koordinaattijärjestelmää luotaessa päätetään, mihin järjestelmän origo sijoitetaan, mihin suuntaan akselit kulkevat sekä millä tavalla ja minkälainen vertausellipsoidi siihen liitetään. Koordinaattijärjestelmä itsessään on pelkästään teoreetti-

nen. On paljon vaikeampaa realisoida se. Täytyy mitata kiintopisteitä maahan, eli pisteitä, joiden koordinaatit tunnetaan kyseisessä koordinaattijärjestelmässä. Korkeamman luokan kiintopisteistö määrittää koordinaatiston, joka on ikään kuin koordinaattijärjestelmän realisaatio. Jos halutaan maantieteelliset koordinaatit karttatasolle, tarvitaan kartta-projektio. Geodeettisen järjestelmän koordinaatit voidaan projisoida tasolle mitä tahansa projektiota käyttäen. [1, s. 9.]

## 2.2 European datum 1950 (ED50)

ED50 perustuu eurooppalaisten kolmioverkkojen yhteistasoitukseen 1950-luvulla. Tällä saatiin koko länsi-Euroopalle yhtenäinen koordinaatisto. Suomen ED50 perustuu valtakunnallisen ensimmäisen luokan kolmioverkon vuonna 1966 tehtyyn kansalliseen tasoitukseen. Tässä oli mukana 291 kolmiopistettä, ja lähtöpisteenä käytettiin Simsiön kolmiopistettä. Suomen ED50-koordinaatit poikkeavat jonkun verran yleiseurooppalaisista ED50-koordinaateista. [1, s. 9.]

## 2.3 Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ)

Helsingin järjestelmä oli ensimmäinen itsenäisen Suomen kartoituksen pohjaksi määriteltä koordinaattijärjestelmä, se tunnetaan myös nimellä Vanha valtion järjestelmä. Helsingin järjestelmän lähtöpisteen koordinaatit ovat Helsingin tähtitorninmäen tähtitornin tähtitieteellisetkoordinaatit. Vuoden 1966 ensimmäisen luokan kolmioverkon tasoitukseen valmistuessa päätettiin maanmittaushallituksessa siirtyä uuteen KKJ-koordinaatistoon. Gauss-Krüger-projektiolle laskettua ED50-koordinaatistoa siirrettiin ja käännettiin niin, jotta se sopisi mahdollisimman hyvin Helsingin järjestelmän koordinaatteihin. KKJ otettiin käyttöön vuonna 1970. KKJ-koordinaatit esitetään joko kolmen asteen kaistoissa tai yhdessä kaistassa yhtenäiskoordinaatistona (YKJ). [1, s. 8–9.]

## 2.4 World Geodetic System 1984 (WGS84)

WGS84-järjestelmä ja sen realisaatio on määritelty Yhdysvaltojen armeijan karttaviraston (Defence Mapping Agency, (DMA)) julkaisussa (DMA1987). WGS84 on kolmiulottei-

nen geosentrinen järjestelmä. Origo on maan massakeskipisteessä, Z-akseli on yhdensuuntainen maan pyörähdysakselin kanssa, X-akseli on ekvaattori- ja nollameridiaanitasoissa.

## 2.5 International Terrestrial Reference System (ITRS)

IERS (International Earth Rotation Service) ylläpitää koko maailmanlaajuisia koordinaattijärjestelmää ITRS. Tämän realisaatiota kutsutaan nimellä International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Järjestelmän määrittely on samanlainen kuin WGS84:ssä. Realisaatio on toteutettu satelliittilaser-, kuulaser- sekä myöhemmin GPS-havaintojen avulla.

Havaintoasemat sijaitsevat eri puolilla maapalloa, näin ollen ne liikkuvat ajan myötä. Tämän takia ne on kiinnitettävä tiettyyn ajanhetkeen eli epookkiin. Verkon peruspisteet yhtyvät WGS84-järjestelmän mukaisiin koordinaatteihin metritarkkuudella. [1, s. 8–10.]

## 2.6 European Terrestrial Reference System (ETRS89) ja EUREF

ITRF-koordinaatit eivät sovellu käytännön töihin, sillä ne ovat sidottuna aikaan. Kansainvälinen Geodeettinen Assosiaatio (IAG) perusti vuonna 1987 Vancouverissa komission (European Reference Frame of the Commission X on Continental Networks, EUREF). Komission tehtävänä oli saada aikaan Euroopan mantereeseen yli kulkeva koordinaattijärjestelmä. Vuosina 1990 (Firenze) ja 1992 (Bern) pidetyissä kokouksissa EUREF-komission suositteli siirtymistä tähän koordinaattijärjestelmään, jonka nimeksi tuli European Terrestrial Reference System (ETRS89). Sen realisaatioita ovat esimerkiksi EUREF89 ja EUREF-FIN. [1, s. 10.]

## 2.7 EUREF Suomeen

Suomessa on kahdenlaisia EUREF-koordinaatteja. Vanhimmat ovat ensimmäisestä EUREF89-kampanjasta peräisin olevat neljän pisteen koordinaatit. Tätä verkkoa tihennettiin vuonna 1992 suoritetulla GPS-projektilla.

Toiset koordinaatit ovat EUREF-FIN-koordinaatit, pitäen sisällään pysyvän GPS-verkon ja 100 E1-luokan EUREF-FIN-kiintopistettä. Näistä sadasta pisteestä 19 on hyväksytty

viralliseksi EUREF89:n lisäykseksi Prahassa vuonna 1999 pidetyssä EUREF-kokouksessa. [1, s. 10.]

## 2.8 EUREF89

EUREF89-koordinaatisto pohjautuu vuonna 1989 tehtyyn Euroopan laajuiseen kampanjaan, johon kuuluu 93 pistettä. Laskennassa kiinnitettiin 32 pistettä. Kampanjan lopputulos oli Euroopan laajuinen koordinaatisto, ensimmäinen ETRS89-realisaatio.

## 2.9 GPS-Suomi 1992

Vuonna 1992 Geodeettinen laitos, Merenkululaitoksen merenmittaustoimisto ja Maanmittauslaitos tekivät yhteistyötä ja mittasivat 22 pisteen GPS-verkon, joka kattaa koko Suomen. Kaikki mitatut pisteen olivat ensimmäisen luokan kolmiopisteitä. Mukana oli myös Metsähovin piste, jossa oli aikansa ainoa Suomen pysyvä GPS-asema. Kolme pistettä oli myös ollut mukana alkuperäisessä EUREF89-kampanjassa. Näin kiinnittämällä nämä kolme pistettä saatiin pistejoukolle EUREF89:n mukaiset koordinaatit.

## 2.10 FinnRef

Vuonna 1992 Geodeettinen laitos päätti rakentaa 12 GPS-asemaa, näin alkoi Suomen pysyvän GPS-verkon suunnittelu. Asemat valmistuivat vuosina 1994–1996. Näistä neljä on Euroopan pysyvän GPS-verkon (EUREF Permanent Network (EPN)) asemia. Metsähovin asema kuuluu myös International GNSS Service (IGS) verkkoon. Suomen GPS-verkko on siis sidottu suurempiin kansainvälisiin koordinaattijärjestelmiin. Geodeettinen laitos analysoi FinnRef-asemien datan ja valvoo asemien ja koordinaatiston tilaa. Nykyään FinnRef-verkkoon kuuluu 20 pistettä. Termiä GPS-verkko ei enää käytetä, koska useampia satelliittipaikannusjärjestelmiä on tässäkin käytössä. [1, s. 11–13; 2.]

## 2.11 Euroopan pysyvä GPS-verkko (EPN)

IAG:n komissio EUREF on vastuussa Euroopan koordinaattijärjestelmä ETRS89:n ylläpidosta. EUREF koordinoi myös Euroopassa toimivia pysyviä GNSS-asemia. Osa näistä

asemista muodostaa Euroopan pysyvän GNSS-verkon (EUREF Permanent Network, (EPN)). [1, s. 12; 3.]

## 2.12 EUREF-FIN-koordinaatisto

Geodeettinen laitos mittasi vuosina 1996–1997 sadan pisteen EUREF-verkon. Lähes kaikki pisteet olivat ensimmäisen luokan kolmiopisteitä. Tällä tavoin pystytään myös parantamaan yhteyttä EUREF:FIN ja vanhempien koordinaatistojen välillä. Havainnot suoritettiin Ashtech Z-12 -vastaanottimilla ja Dorne Margolin -merkkisillä vaimennusrenkailla (choke ring) varustelluilla antennilla. Tallennusvälinä oli 30 sekuntia, ja havaintojakson pituus oli vähintään 48 tuntia. Data käsiteltiin Bernese 4.0 -ohjelmistolla kahdessa osassa käyttäen IGS:n tarkkoja ratatietoja. Aluksi laskettiin koordinaatit pysyville GPS-asemille, tässä käytettiin 23 viikkoa GPS-dataa. Päivittäisratkaisut tehtiin vapaana verkona kiinnittäen Metsähovin koordinaatit ITRF94-koordinaatteihin havaintohetken epookkiin, minkä jälkeen lopullisessa tasoituksessa Sodankylän, Metsähovin, Vaasan ja Joensuun koordinaatit kiinnitettiin ITRF96-koordinaatistoon epookkina 1997.0. Toisessa vaiheessa EUREF-pisteiden koordinaatit ratkottiin havaintojakso kerrallaan. Lopullisessa tasoituksessa koko Finnref-verkon pisteet kiinnitettiin ITRF96-koordinaatteihin epookkina 1997.0. Lopuksi koordinaatit muutettiin ITRF96(1997.0):sta ETRS89-koordinaateiksi. Maankohoamisen osin koordinaatit ovat havaintohetken epookissa.

Tulokset esiteltiin EUREF-kokouksissa ja Prahassa vuonna 1999. Kaikkiaan 19 pistettä hyväksyttiin virallisiksi ETRS89-pisteeksi. Kokonaisuutena tämä sadan pisteen ryhmä realisoi EUREF-FIN-koordinaatiston. [4, s. 5; 1, s. 12–13.]

## 2.13 EUREF-FIN-tihennyspisteet

Aiemmassa luvussa mainitut sata EUREF-FIN-pistettä ovat harvassa ja monesti vaikeasti saavutettavissa olevissa paikoissa. Tämän takia Geodeettinen laitos mittasi vuosina 1998–1999 uusia kiintopisteitä helpommin saavutettavissa oleviin paikkoihin. Nämä 350 pistettä sidottiin suoraan E1-luokkaan, ja ne muodostavat E1b-luokan. E1- ja E1b-pisteet tasoitettiin yhtenä verkkona sisäisen tarkkuuden varmistamiseksi. [4, s. 5; 1, s. 12–13.]

Pisteet on mitattu seuraavalla tavalla:



- 2-taajuusvastaanottimet mallia Ashtech Z-12.
- Chokering-antennit mallia Dorne Margolin.
- havaintojakson pituus minimissään kuusi tuntia ja havaintoväli 30 sekuntia.
- sidonta E1-luokan EUREF-FIN-koordinaatteihin.
- vektoreiden laskenta Topcon Positioning System Inc:in Pinnacle-ohjelmistolla.
- verkkotasointus Inpho Technology Oy:n Global-X ohjelmistolla. [1, s. 13; 5.]

#### 2.14 EUREF89:n ja EUREF-FIN:n erot

EUREF-FIN-koordinaatiston määrittelevistä pisteistä kolme oli mukana myös EUREF89-kampanjassa. Jos mukaan otetaan vuoden 1992 GPS-Suomi-kampanja, on yhteisiä pisteitä 15. Sopivuus on yleensä hyvä. Suurimmat erot ovat 48 millimetriä pituudessa, –77 millimetriä leveydessä ja –59 millimetriä korkeudessa. Monet ovat käyttäneet näiden kampanjoiden pisteitä mittauksissa. Tämän takia GPS-Suomi-pisteille on muunnosparametrit EUREF-FIN-koordinaatistoon ja muunnoksen jälkeiset jäännösvirheet. [1, s. 11–13.]

### 3 Satelliittijärjestelmät

#### 3.1 GNSS (Global Navigation Satellite Systems)

GNSS on satelliittijärjestelmä, joka pitää sisällään useita erillisiä satelliittijärjestelmiä. Järjestelmään kuuluu Yhdysvaltojen puolustushallinnon GPS-järjestelmä ja Venäjän armeijan ylläpitämä GLONASS-satelliittijärjestelmä. Kumpikin järjestelmä toimii koko maapallon alueella. Lisäksi GNSS-järjestelmä käyttää Kiinan Beidou-järjestelmän toiminnassa olevia satelliitteja sekä EU:n Galileo-järjestelmän toiminnassa olevia satelliitteja. Nämä järjestelmät eivät vielä ole käytössä täydessä laajuudessaan. Myös Intia ja Japani kehittävät omia järjestelmiään. Tällä hetkellä GNSS-järjestelmä koostuu siis hyvin pitkälti GPS- ja GLONASS-satelliiteista sekä geostationäärisistä satelliiteista. GPS- ja GLONASS-järjestelmien yhteiskäytöstä käytetään myös nimitystä GNSS 1.

Etuna GNSS-monisatelliittijärjestelmässä verrattuna yksittäiseen järjestelmään on satelliittien parempi näkyvyys ja käytön tarkkuus ja luotettavuus. Yleisesti ottaen voi todeta, että mitä enemmän on satelliitteja, sen parempi on mittaustulos. [6, s. 5–7; 7, s. 15–16; 8, s. 1; 9, s. 21; 10, s. 7-9.]

Kun suunnitteilla olevat järjestelmät lopulta valmistuvat, voi samanaikaisesti olla näkyvissä jopa 50 satelliittia.

Satelliittipaikannus perustuu havaittuihin etäisyyksiin. Kun satelliittien sijainti tunnetaan, voidaan tästä laskea havaitsijan paikka. Etäisyyden mittaukseen on kaksi eri menetelmää. Voidaan käyttää satelliitin lähettämässä signaalissa olevaa koodia, jonka avulla lasketaan signaalin kulkuaika ja tästä etäisyys. Toinen tapa on käyttää signaalin kantoaaltoa. Menetelmässä lasketaan, kuinka monta kokonaista aallonpituutta satelliitin ja vastaanottimen välissä on. Suhteellisissa mittauksissa kantoaaltoa hyväksikäyttäen päästään senttimetrien tarkkuuteen, koodin avulla noin metriin. Paikatuntemattomien havaitsemiseksi ja vastaanottimen kellovirheen ratkaisemiseksi tarvitaan havainnot vähintään neljään satelliittiin. Parhaimmat vastaanottimet pystyvät havainnoimaan kaikkia käytössä olevia satelliitteja, halvemmat vain yhtä, joka useimmiten on GPS.

Näkyminen on kuitenkin täysin riippuvainen ympäristöstä. Satelliittisignaali ei läpäise esteitä, eli esimerkiksi taloja tai puita. Näin ollen satelliittipaikannusta ei voi käyttää sisätiloissa, ja metsässäkin näkyvyys voi olla todella heikkoa. [10, s. 7–9.]

### 3.2 GPS

Tunnetuin ja käytetyin satelliittijärjestelmä on Yhdysvaltain puolustusministeriön (Department of defence, (DoD)) ylläpitämä ja kehittämä Navstar (navigation system using timing and ranging) GPS.

Vuonna 1973 hyväksyttiin Pentagonin asettaman työryhmän suunnitelma, myöhemmin tästä kehittyi GPS. Lähtökohtina olivat esimerkiksi muutaman metrin tarkkuus, häiriösieltoisuus ja yksisuuntaisuus. Vuonna 1978 Block 1 -satelliittien laukaisu alkoi, ja vuotta myöhemmin tulivat ensimmäiset siirrettävät vastaanottimet. Kuitenkin vasta vuonna 1995 oli järjestelmä täysin valmis. [10, s. 14–17; 6, s. 309–310.]

Järjestelmä koostuu noin 30 satelliitista. Ne kulkevat kuudella eri radalla. Satelliittien määrä vaihtelee sen mukaan, miten vanhoja korvataan uusilla. Järjestelmässä on 24 operatiivista satelliittia, muut ovat varasatelliitteja. Alun perin GPS-järjestelmä kehitettiin sotilaallisiin tarkoituksiin. Voidaan sanoa, että GPS-järjestelmällä oli pitkään monopoli- asema satelliittipaikannuksessa, nyt tämä tilanne on kuitenkin muutoksessa. [6, s. 309–310; 9, s. 2–4; 8, s. 2; 7, s. 16–17; 10, s. 19.]

GPS-järjestelmä on jaettu kolmeen osaan, eli avaruusosaan, kontrolliosaan ja käyttäjiin. Avaruusosassa ovat satelliitit. Kontrolliosassa ovat keskusasema, maa-asemat ja maa-antennit. Keskusasema sijaitsee Yhdysvaltojen Colorado Springsissa. Sen tehtävä on valvoa ja ohjata järjestelmän toimintaa sekä tehdä tarvittavat korjaukset ja päivitykset järjestelmään. Maa-asemat seuraavat satelliitteja keräävät niistä tietoa keskusasemaan. Kontrollijärjestelmä myös määrittää kellovirheet ja rataelementit. Maa-antennit välittävät dataa. [6, s. 322–326; 9, s. 8–12; 8, s. 2; 7, s. 17; 10, s. 19–20.]

Satelliitit lähettävät kantoaaltoja kahdella eri taajuudella L1 ja L2. Koodit C/A- ja P on moduloitu kantoaaltoihin. C/A-koodi on julkinen, P-koodi on tarkempi ja sen on varattu ainoastaan sotilaalliseen käyttöön. C/A-koodi on moduloitu L1-taajuuteen. P-koodi on moduloitu kumpaankin, sekä L1- ja L2-taajuuteen. [6, s. 315–316 ja 327–338; 9, s. 30–33; 8, s. 2–3; 7, s. 17; 10, s. 14–17.]

GPS-satelliitit kiertävät lähes ympyränmallista rataa. Niiden kiertoaika on 11 tuntia ja 58 minuuttia. Satelliitit kiertävät maata noin 20 200 kilometrin korkeudella. [7, s. 16–17; 9, s. 4–6; 8, s. 2.]

### 3.3 GLONASS

GLONASS-satelliittijärjestelmä on Venäjän avaruusjärjestön Roskosmoksen, aikaisemmin Neuvostoliiton kehittämä ja ylläpitämä satelliittijärjestelmä. Järjestelmän kehittäminen alkoi 1970-luvun puolivälissä. Ensimmäinen satelliitti laukaistiin taivaalle vuonna 1982. Järjestelmän piti olla kokonaan valmis vuonna 1994, kuitenkin vasta 1996 oli järjestelmä suunnitelmien mukainen. Järjestelmä kehitettiin alun perin luonnollisesti sotilaallisiin tarkoituksiin.

Järjestelmä rappeutui rahoituksen puutteen takia 1990-luvun loppupuolella, näin ollen järjestelmä oli vuosien ajan käytössä vain rajoitetusti. Heikoin kohta oli vuonna 2001, jolloin operatiivisessa käytössä oli vain 6 satelliittia. 2000-luvulla GLONASS priorisoitiin uudelleen Venäjän hallituksessa. Puutteet korjattiin vuoteen 2011 mennessä, ja siitä saakka järjestelmä on ollut täydessä käytössä.

GLONASS-järjestelmä sisältää noin 24 satelliittia, näistä 21 on käytössä ja loput ovat varasatelliitteja. Järjestelmän inkliinaatiokulma on erilainen kuin GPS-järjestelmässä, joten se peittää napa-alueet paremmin kuin GPS-järjestelmä. Satelliitit kiertävät maata noin 19 100 kilometrin korkeudella. Kiertoaika on noin 11 tuntia ja 15 minuuttia.

Suurin ero GLONASS:n ja GPS:n välillä on satelliittien signaaleissa. GLONASS-satelliiteilla on sama koodi, mutta eri taajuudet, ja näin ne erotetaan toisistaan. GPS-satelliiteilla taas on sama taajuus, ja erottelu tapahtuu koodin perusteella. GLONASS tarjoaa armeijan käyttöön tarkempaa signaalia kuin siviilikäyttöön oleva maksuton signaali. Kantoaaltoina ovat L1 ja L2. Koodit vastaavat GPS:n käyttämiä C/A- ja P-koodeja.

GLONASS-järjestelmän kontrolliasemia on vain entisen Neuvostoliiton alueella ja Brasiliassa. Näinpä satelliittien itsensä lähettämät ratatiedot ovat epätarkempia kuin vastaavat GPS-satelliittien lähettämät ratatiedot.

GLONASS-satelliitit lähettävät kahta erilaista koodia. Ne eivät ole salattu, eikä niissä ole lisättyä virheitä. [7, s. 17–18; 8, s. 3; 12; 6, s. 341–343; 6, s. 348–349; 6, s. 354–360; 10, s. 18–20.]

### 3.4 Galileo

Galileo on Euroopan unionin ja Euroopan avaruusjärjestön (European Space Agency (ESA)) tällä hetkellä kehityksen alla oleva globaali satelliittipaikannusjärjestelmä. Sen tarkoitus on olla sekä täydennys- että vaihtoehto jo olemassa oleville järjestelmille. Ohjelman ensimmäisestä asteesta päätettiin virallisesti 2003, mutta vaihtoehtoja pohdittiin jo vuonna 1999. Projekti on nimetty Italianlaisen tähtitieteilijä Galileo Galilein mukaan.

Tarkoituksena on luoda paikannusjärjestelmä, joka ei ole riippuvainen Venäjän GLONASS-järjestelmästä tai Yhdysvaltojen GPS-järjestelmästä. Näin paikannus Euroopassa ei olisi enää riippuvainen muun maailman politiikasta, taloudesta tai maiden välisistä suhteista. Alemman tarkkuustason palvelut on tarkoitus pitää ilmaisina ja tarkempi paikannus maksullisena. Järjestelmä on tarkoitettu lähtökohtaisesti siviilikäyttöön, toisin kuin monet muut satelliittipaikannusjärjestelmät, jotka on lähtökohdiltaan tehty sotilaalliseen käyttöön. Sen suunnittelussa on otettu huomioon esimerkiksi ilmailun vaatimukset.

Ensimmäinen testisatelliitti laukaistiin vuonna 2005 ja toinen vuoden 2007 lopulla. Kaksi ensimmäistä tuotantosatelliittia laukaistiin vuonna 2011. Tämän jälkeen on satelliittien lähettäminen jatkunut, viimeisimmät satelliitit laukaistiin syyskuussa 2015. Tällä hetkellä (16.10.2015) on taivaalla 10 operatiivista Galileo-satelliittia.

Valmiissa järjestelmässä tulee olemaan 30 satelliittia, joista 24 on operatiivisessa käytössä ja kuusi varalla. Järjestelmän odotetaan olevan valmis vuonna 2020. Satelliitit lentävät kolmella eri kiertoradalla 23 222 kilometrin korkeudessa. Järjestelmä antaa napalueille paremman peiton kuin GPS-järjestelmä. Satelliittien kiertoaika on 11 tuntia ja 58 minuuttia. Palveluita aletaan tarjoamaan vuoden 2016 aikana. [13; 6, s. 365–367 ja 370; 10, s. 21–22; 7, s. 19; 8, s. 4.]

### 3.5 BEIDOU

Beidou on Kiinan kansantasavallan satelliittinavigaatiojärjestelmä. Järjestelmiä voisi sanoa olevan kaksi. Ensimmäisen eli Beidou 1-järjestelmän toiminta alkoi 2000-luvun alussa. Navigointipalveluita siviilikäyttöön alettiin tarjota 2004. Tämä järjestelmä on paikallinen, ja kaikki sen satelliitit ovat geostationäärisellä radalla.

Toinen järjestelmä on Beidou 2, joka tunnetaan myös nimellä Compass. Sen rakentaminen alkoi vuonna 2007. Valmistuessaan siihen kuuluu 35 satelliittia, joista viisi sijaitsee geostationäärisillä radoilla. 30 satelliittia kiertää samantapaisilla keskikorkeilla (MEO) kiertoradoilla kuin GPS-satelliitit noin 21 000 kilometrin korkeudessa. Niiden kiertoaika on 12 tuntia.

Joulukuussa 2011 alkoi Beidou-järjestelmä toimia Kiinassa 10 satelliitin voimin. Joulukuussa 2012 järjestelmä alkoi toimia paikallisesti Aasian ja Tyynenmeren alueella. Vuoteen 2020 mennessä on tarkoitus, että järjestelmä toimii ympäri maapallon. [14; 7, s. 19; 8, s. 4–5.]

## 4 Staattinen mittaus

### 4.1 Avainasiat

Runkoverkkoa mitattaessa JHS-ohjeiden mukaisesti käytetään staattista suhteellista mittausta. Staattisessa mittauksessa hyödynnetään satelliittisignaalin kantoaallon vaiheita. Staattisessa relatiivisessa GNSS-mittauksessa määritetään vielä tuntemattoman pisteen paikka suhteessa tunnettuun pisteeseen. Mitattaessa staattisesti ei määritellä yksittäisiä pisteitä vaan vektoreita ja koordinaattieroja. Mittaukset tehdään jaksoittain, eli siis yhdessä mittauksessa on useampi laite havainnoimassa samanaikaisesti ja laitteet ovat paikallaan koko mittauksen ajan. Havaintojakso tarkoittaa samaan aikaan havaitsevien vastaanottimien yhteistä havaintoaikaa. Havaintojakson pituus riippuu pisteiden luokituksesta. Lähtöpisteinä käytetään koordinaateiltaan tunnettuja lähtöpisteitä, jotka valitaan siten, että ulommaiset pisteet jäävät mitattavan verkon ulkopuolelle sulkien sen.

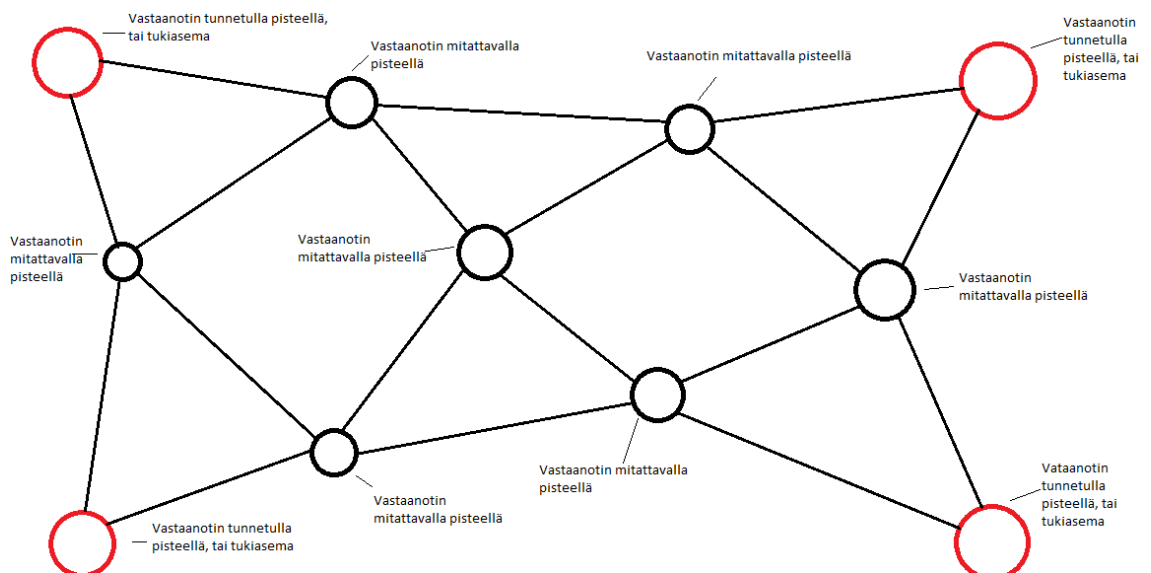
Kaikki lähtöpisteet on syytä valita harkiten. Uusien pisteiden määrään vaikuttaa alueen laajuus ja infrastruktuuri. Yleensä kaupunkimaiselle alueelle tarvitaan enemmän kiintopisteitä. Muutoin on syytä tehdä pisteet tasavälein. Staattisessa relatiivisessa mittauksessa rata- ja kellovirheet kumoutuvat sekä atmosfäärin vaikutus minimoituu.

Verkko mitataan havaintojaksoittain. Verkko ja sen mittaus suunnitellaan mittamiesten ja laitteiston määrän mukaan. Staattisen mittauksen muodostama verkko muistuttaa muodoltaan suuresti perinteisen kolmiomittauksen verkkoa. [4, s. 9–10; 16, s. 308.] Kuvassa 1 on esimerkki staattisen mittauksen verkosta. Kuvassa mustat ympyrät ovat uusia mitattavia pisteitä ja punaiset ovat joko kiintopisteitä tai pysyviä tukiasemia.

Staattisen mittauksen avainasiat:

- Sitä käytetään runkomittauksiin.

- Siinä on pidemmät mittausjaksot sekä parempi tarkkuus ja luotettavuus.
- Siinä on samanaikaiset havainnot paikallaan olevien vastaanottimien välillä.
- Normaalisti käytetään yhden tunnin mittausjaksoja.
- Mittauspaikan näkyväisyys ei saa olla liian huono.
- Aikataulutus on tärkeää.
- Mittaus on rakenteeltaan verkko eikä jono.
- Se on nopea ja tehokas tapa mitata uusia pisteitä.
- Tarkkuus on 5–10 mm + 1–3 ppm.
- Rata- ja kellovirheet poistuvat sekä atmosfäärin vaikutus minimoituu. [15; 16, s. 294.]



Kuva 1. Staattisen mittauksen verkko

## 4.2 Havaintoajat sekä verkon suunnitteluperusteita

Antenni on oltava tukevasti esimerkiksi kolmijalalla. Havaintoaika riippuu vektoreiden pituuksista ja havaintopaikasta. EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä havaintoaikaan vaikuttaa myös pisteluokka eli tarkkuusvaatimukset. Tulevan pisteen luokka asettaa tarkkuusvaatimuksen ja vaikuttaa havaintojakson vähimmäispituuteen. Havaintojakson pituuden määrää session pisin vektori ja sen mittaamiseen vaadittu havaintoaika koordinaattiluokassaan.

Eritoten lyhyillä havaintojaksoilla tarkkuuteen vaikuttaa satelliittigeometria sekä satelliittien määrä. Mittaus olisi mahdollisuuksien mukaan tehtävä satelliittigeometrialtaan parhaaseen aikaan. Satelliittigeometrioita voi tutkia GPS-almanakan ja mittaussuunniteluohjelmien avulla.

Verkon huolellinen suunnittelu on tärkeää staattisessa mittauksessa. Jos verkko ei ole kunnollinen, ei voi olettaa saavansa luotettavia tuloksia. Suunnitteluperusteina ovat seuraavat lähtökohdat:

- Vektorit ovat yhtä pitkät.
- Silmukka ei sulkeudu samassa sessiossa vaan toisessa sessiossa.
- 15 % vektoreista on kahteen kertaan mitattuja.
- Verkossa ei ole piikkipisteitä.
- Viereisillä silmukoilla on vähintään 2 yhteistä pistettä. [4, s. 9–11; 15.]

## 4.3 Pistehierarkiasta

Mittauksia tehtäessä ja tarkkuuksia arvioitaessa on otettava huomioon hierarkia, joka vallitsee koordinaateissa. Aiemmin kiintopisteet tehtiin jonomittauksina eli toimittiin niin, että mittaukset sidottiin ylempään luokkaan ja lopputuloksena oli alempi luokka. GPS-mittauksissa ei aina toimita samalla tavalla. Vaikka voimme tehdä sadan kilometrin mittaisen vektorin ja näin saada sille millitarkat koordinaatit, eivät ne välttämättä käy yhteen



alueella olevan koordinaatiston kanssa. Alueelliseen yhteensopivuuteen päästään mittaamalla hierarkkisesti. Huomatkaamme ero sisäisen ja ulkoisen tarkkuuden välillä. [4, s. 4–9.]

#### 4.4 Laskenta

Laskenta tehdään laskentaohjelmalla, eli vektorit tasoitetaan ja ratkaistaan virheyhtälöta-soituksena. Laskentaohjelmissa on, eroja ja ne voivat vaikuttaa lopputulokseen. Laskentaohjelman täytyy osata huomioida antennien ominaisuuksista ainakin sähköisen keskipisteen ja referenssipisteen (Antenna Reference Point (ARP)) ero (Phase Center Offset (PCO)), näin sen takia, että ratkaistavat koordinaatit osoittavat oikeaan kohtaan. Ohjelma voi ottaa huomioon myös antennin sähköisen keskipisteen paikan vaihtelun signaalin tulosuunnan mukaan (Phase Center Variation (PCV)). Laskennassa, samoin kuin jo mittauksia tehdessä tulee olla tarkkana erityyppisten antennien ja antennikorkeuksien kanssa, esimerkiksi käytetäänkö suora- vai vinoetaisyttä.

Havaintojen ollessa hyvin tehtyjä parantaa verkkotasointu koordinaattien tarkkuutta. Tuloksena tasoituksesta on pisteiden koordinaatit ja kovarianssimatriisit sekä vektorikomponenttien jäännösvirheet ja painoyksikön keskivirhe. Monet ohjelmat löytävät havainnoista selkeästi poikkeavat havainnot ja testaavat painoyksikön varianssin tilastollisesti. Sisäisen ja ulkoisen tarkkuuden laskenta kuuluu verkkotasointuun. [4, s. 10–11.]

#### 4.5 Virhelähteitä

##### 4.5.1 Ilmakehä

Erilaiset kerrokset ilmakehässä vaikuttavat signaali etenemiseen. Ilmakehä toimii signaalin etenemisen väliaineena ja nopeus on riippuvainen ilmakehän tilasta. Ionosfääri on 80–400 km:n korkeudella ja troposfääri on 0–15 km:n korkeudella.

Ionosfäärin elektronitiheys ja sen muutokset vaikuttavat signaalin etenemiseen. Ionosfääri on dispersiivinen eli eri taajuudet kulkevat eri nopeudella siinä. Dispersiivisyys johtaa siihen, että radioaaltojen ryhmä- ja vaihenopeudet eroavat. Ionosfääri vaikuttaa eri määrällä eri taajuuksilla lähetettyihin satelliittisignaaleihin. Käytettäessä kahta eri aallonpituutta ionosfäärin vaikutus lähestulkoon poistuu laskennassa.

Ionosfääri on monikerroksinen. Eri kerrokset taivattavat ja heijastelevat signaalia. Vaikutus on suurimmillaan silloin kun vastaanottimesta katsottuna satelliitti on lähellä horisonttia. Tällöin signaali kulkee pidemmän matkan ionosfäärissä. Sekä röntgen- että ultraviolettisäteily vaikuttaa ionosfääriin, se ionisoi molekyyliä ja atomeja. Ionisoituneet atomit ja molekyylit vaikeuttavat ja hidastavat signaaleiden kulkua ja myös vääristelevät laskettua etäisyyttä vastaanottimen ja satelliitin välillä. Ionosfäärin ollessaan aktiivisimmillaan signaaleiden kulkumatkat voivat vaihdella niin nopeasti, että mittaaminen käy mahdottomaksi.

Troposfääristä tulevan virheen mallintaminen on vaikeampaa. Satelliittisignaaliin vaikuttavat sääilmiöt tapahtuvat troposfäärissä. Toisin kuin ionosfääri, troposfääri ei ole radioaaltoille dispersiivinen eli sen vaikutus ei riipu satelliittitaajuudesta. Troposfääri jaetaan kahteen osaan, kuivaan ja kosteaan. Yleensä erilaiset mallit pystyvät poistamaan noin 90 % troposfäärin vaikutuksesta, eli kuivan osan. Jäljelle jäävä 10 %, eli kostea osa, jää laskennassa tuntemattomaksi, jota yritetään ratkaista, tai ei. Kuivaa osaa pystytään mallien avulla hallitsemaan, kosteaa osaa ei, koska ilmakehän vesihöyrypitoisuuden ennustaminen on lähes mahdotonta. Ilmanpaine ja lämpötila vaikuttavat myös troposfäärivirheeseen. Troposfäärin aiheuttama virhe satelliittipaikannukseen on kuitenkin melko vähäinen.

Ilmakehän aiheuttamat virheet ovat suuremmat alemmilla korkeuskulmilla, koska tällöin signaali kulkee pidemmän matkaa ilmakehässä. Mitatessa pystyy säätämään korkeuskulmavaippaa (katkaisukulmaa) havaintolaitteen horisontin yläpuolelle. Tämän kulman alapuolella lentäviä satelliitteja ei oteta enää huomioon mittauksessa. Kulmavaipan käyttö ehkäisee myös esineistä tulevia vaikutuksia sekä monitieheijastuksia. [8, s. 12–13; 7, s. 20–22.]

#### 4.5.2 Kello- ja ratavirheet

Satelliitit liikkuvat noin 4 km/s. Havaintaja liikkuu ja pyörii maapallon mukana koko ajan. Virhe satelliitin tai vastaanottimen kellossa aiheuttaa ison karkean virheen. Näiden kellojen tulisi olla samassa ajassa. Satelliittien atomikellot ovat tarkempia kuin vastaanotimissa olevat kellot. Tämä aikaero on synkronoitava. Kellojen aikaero on suhteessa paikannuksen tarkkuuteen. Signaalin kulkuajassa näkyy kellovirhe. Kellovirheet voidaan pit-

kälti kumota kaksoiserotushavainnoilla. Satelliitin sijaintitietojen virhe vaikuttaa tarkkuuteen. Satelliittien itsensä lähettämät ratatiedot eivät ole yhtä tarkkoja kuin IGS:n tarkat ratatiedot.

Pelkän radiosignaalin kulkuajan perusteella laskettuja välimatkoja kutsutaan näennäisetäisyyksiksi. Kun kellovirhe tunnetaan ja poistetaan, saadaan aikaan geometrinen etäisyys ja paikannuksen virhe. Paikannus on sitä parempi, mitä paremmin kellovirhe tunnetaan. Satelliitissa olevaa atomikelloa vertaillaan kokoajan satelliittijärjestelmän yhteiseen aikaan, joka tulee GPS-järjestelmän pääkellosta Floridasta.

Satelliitissa olevan atomikellon aikaa ei siis korjata, vaan navigointisignaaliin tulee tieto eroista atomikellojen ja pääkellon referenssiajan välillä milläkin hetkellä ja kuinka suuri eron odotetaan olevan seuraavina hetkinä. Tämä navigointisignaali ja kellokorjaus kulkevat aina vastaanottimelle saakka. Kaikkea kellovirhettä ei pystytä poistamaan, ja kellovirheestä tulee aina virhettä paikannukseen, toisinaan enemmän ja toisinaan vähemmän.

Satelliitit on sijoitettu kiertoradoille siten, että niiden kiertoradat olisivat mahdollisimman vakiot eli siis myös helposti ennustettavat. Kuitenkaan satelliitit eivät ole täsmällisesti kiertoradoillaan. Aurinkotuulet sekä auringon vetovoima saavat aikaan sen että satelliitit poikkeavat niiden lasketuilta kiertoradoiltaan. Toisinaan satelliittien todelliset paikat saattavat siirtyä lasketuilta kiertoradoilta niin paljon, että joudutaan tekemään kiertoratojen korjaus. Tämän operaation aikana satelliittia ei voi käyttää. [8, s. 13;7, s. 26–27.]

#### 4.5.3 Satelliittigeometria

Satelliittigeometria tarkoittaa satelliittien jakautumista taivaalla suhteessa vastaanottiin. Huonossa satelliittigeometriassa satelliitit ovat jakautuneet esimerkiksi siten, että kaikki näkyvät satelliitit ovat toisella puolella taivasta tai ne ovat jonossa. Huonolla satelliittigeometrialla mitatessa lasketun sijainnin tarkkuus on yleensä huonompi kuin hyvällä satelliittigeometrialla mitatessa.

Satelliittigeometrian tarkkuutta kuvaavat Dilution of Precision (DOP) -luvut. Käytössä eniten ovat GDOP (geometric dilution of precision) ja PDOP (positional dilution of precision). PDOP-arvo tulee korkeus- ja tasotarkkuuden epävarmuudesta. GDOP-arvossa on

PDOP-arvon lisäksi vastaanottimen kellovirheen vaikutus sijaintitarkkuuteen huomioituna.

Paikantamisen tarkkuus on suoraan verrannollinen DOP-lukuihin. Pienempi DOP-arvo tarkoittaa parempaa satelliittigeometriaa mittaamiselle. Saamme arvion sijaintitarkkuudesta, kun kerromme PDOP-arvon havainnon keskihajonnalla.

Korkeuden määrittäminen satelliittimittauksella on vaikeampaa kuin tason. Tämä johtuu satelliittigeometriasta, emme voi havaita satelliitteja horisontin alapuolelle. Näin ollen geometriat korkeuden määrittämiseen ovat huonommat kuin tason määrittämiseen. Myös ionosfäärin ja troposfäärin aiheuttamat virheet vaikuttavat suuremmin korkeustarkkuuteen kuin tasotarkkuuteen. [8, s. 14; 7, s. 22–25; 17.]

#### 4.5.4 Ympäristö

Mikäli haluat tehdä satelliittimittauksen, täytyy satelliitteja olla näkyvissä taivaalla. Mittauspaikan valintaa ei voi kyllin korostaa satelliittimittauksessa. Signaali ei kulje esteiden läpi. Mittauksia suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon esimerkiksi puut, rakennukset ja maaston korkeuserot.

#### 4.5.5 Monitieheijastukset

Monitieheijastus (multipath error) tarkoittaa satelliitista tulevan signaalin saapumista vastaanottimeen heijastuneena. Satelliittisignaalin tulisi tulla vastaanottimeen suoraan. Yleistä on, että esimerkiksi sama signaali saapuu vastaanottimeen kaksi kertaa. Toinen signaaleista on heijastunut esimerkiksi ikkunasta tai vedestä. Mitä matalammasta korkeuskulmasta mitataan, sitä suurempi on todennäköisyys monitieheijastuksille. Voi olla myös, että vastaanotin saa sellaisen satelliittisignaalin, jota se oikeasti ei kykene havaitsemaan, tällainen signaali on heijastunut.

Olisi siis syytä valita vastaanottimelle mahdollisuuksien mukaan sellainen paikka, jossa ei ole lähellä heijastavia pintoja. Vastaanottimissa pyritään myös eliminoimaan maasta tulevat heijastukset ja monet vastaanottimet kykenevät poistamaan suurimman osan horisontin alapuolelta tulevista heijastuksista. [10, s. 178–180.]

#### 4.5.6 Ratatietojen tarkkuus

Satelliittien lähettämät ratatiedot (broadcast ephemeris/orbits) eivät ole absoluuttisen tarkkoja. Kuitenkin valtaosaan mittauksista ja sovelluksista ne ovat riittävän tarkkoja. Tarkimmissa sovelluksissa voidaan käyttää myöhemmin laskettuja tarkkoja ratatietoja (final orbits/precise ephemeris). Käytetään esimerkiksi staattisessa mittauksessa, kun määritetään kiintopisteille koordinaatteja.

Satelliittimittausten alkuaikoina käyttäjät joutuivat itse laskemaan haluamansa tarkemat rataelementit. Oikeanlaisen ohjelmiston lisäksi se vaati myös tarpeeksi laajalta alueelta havaintodataa, unohtamatta tietenkään käyttäjällä olevan tietotaidon merkitystä. Näin ollen tämä ei ollut kovin monille käyttäjille mahdollisuus.

Vuodesta 1992 toiminut IGS-palvelu laskee GNSS-satelliittien tarkat rataelementit, nämä ovat saatavilla internetistä. GPS-satelliittien lähettämät ratatiedot ovat luokkaa 1–2 metriä. Tarkat ratatiedot ovat muutaman senttimetrin tarkkuusluokassa. GLONASS-satelliiteilla tarkkuus on hieman huonompi, vastaavasti Galileon tarkkuus on hieman parempi.

Lyhyillä eli alle 50 kilometrin vektoreilla muut virhelähteet ovat merkittävämpiä kuin ratavirheet. Näissä tapauksissa radan tarkkuudella ei ole suurta vaikutusta mittausten virheisiin. Muutamaa kymmentä kilometriä pidemmällä vektoreille sekä tietenkin haluttaessa päästä mahdollisimman hyvään tarkkuuteen on käytettävä tarkkoja efemeridejä. Nyrkkisääntönä voidaan ilmaista, että 25 metrin ratavirhe aiheuttaa 1 ppm:n virheen mitatussa vektorissa.

Ratavirheet muuttuvat hitaasti. Niitä ei yleensä näe muutaman tunnin havainnoissa, vaan ne jäävät tuloksiin systemaattisena virheenä. Toistettaessa mittauksia eri päivinä voidaan nähdä ratavirheen vaikutus mittauksen huonompana toistettavuutena. Ratavirheet monesti sekoittuvat muihin virhelähteisiin, eivätkä ole helposti erotettavissa [10, s. 143–145.]

## 5 Verkkoratkaisut

### 5.1 Trimnet

Trimnet on Geotrim Oy:n ylläpitämä tukiasemaverkko, joka valmistui Suomen kattavaksi vuonna 2005. Sen laskentakeskus sijaitsee Vantaalla, ja siihen on yhdistetty yli sata GNSS-tukiasemaa. Tukiasemien data välittyy laskentakeskukseen, jossa niiden laatu tarkastetaan. Tukiasemaverkon alueelle mallinnetaan GNSS-virheiden vaikutukset. Tukiasema muodostaa vastaanottimelle virtuaalista GNSS-dataa. Vastaanotin on yhteydessä laskentakeskukseen.

Tukiasemaverkoston avulla muodostetaan virtuaalinen tukiasema liikkuvan vastaanottimen välille. Vastaanotin laskee sijaintinsa virtuaaliaseman suhteen. Virtuaalinen data lähetetään vastaanottimelle esimerkiksi Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) tai Compact Measurement Record (CMR/CMR+) -formaateilla, General Packet Radio Service (GPRS)- tai Universal Mobile Telecommunications System (UTMS) -tekniikoilla.

Pääkohdat:

- Satelliitit lähettävät havaintodataa tukiasemille, ja tukiasemilta se lähetetään laskentakeskukseen.
- Vastaanotin lähettää sijaintinsa laskentakeskukseen.
- Laskentakeskus käsittelee tukiasemien lähettämää dataa ja käyttää vastaanottimelta saatua likimääräistä sijaintia virtuaalitukiaseman muodostamiseen.
- Tukiasema muodostaa virtuaalisen tukiaseman vastaanottimen läheisyyteen ja lähettää korjausdataa vastaanottimeen.

Virtuaalinen tukiasema ei ole fyysinen piste, vaan se on kuvitteellinen. Se lasketaan erikseen jokaiseen mittaustilanteeseen. Ympäröivistä pysyvistä tukiasemista generoidaan data virtuaaliseen tukiasemaan. Tällä yritetään saada mahdollisimman samanlaista dataa kuin lähellä oleva fyysinen tukiasema antaisi käyttöön.

Trimnetin käyttäjiä ovat valtion ja kuntien organisaatiot ja yksityiset mittausyritykset. Käyttäjä tarvitsee vastaanottimen ja lisenssin. Palvelussa on tarjolla dataa sekä DGPS- ja RTK/VRS-tarkkuudella. [18; 7, s. 11–12.]

## 5.2 SmartNet

Leica julkisti koko Suomen kattavan Real Time Kinematic (RTK) -tukiasemaverkkonsa paikkatietomarkkinoilla 2012. Verkon rakennus alkoi 2011. SmartNet-tukiasemaverkossa on noin 100 tukiasemaa.

SmartNet-korjausdataa on tarjolla sopimuksesta riippuen Differential GPS (DGPS)- ja RTK-tarkkuuksilla. Järjestelmää voi käyttää myös vanhemmilla vastaanottimilla, koska Master Auxiliary Concept (MAC) -korjausten lisäksi järjestelmä lähettää myös Individualised Master Auxiliary Corrections (i-MAX)-, Pseudo-Reference Station (PRS)-, VRS- ja Flächen-Korrektur Parameter (FKP) -korjausta.

Sovellusmahdollisuudet ovat järjestelmässä laajat. Perinteisen verkko-RTK-mittauksen lisäksi myös koneohjaus, erilaiset paikkatiedon keruun sovellukset sekä maatalouden järjestelmät voivat käyttää verkkoa hyväkseen.

MAC on Leican uusi menetelmä, jonka ovat kehittäneet Leica ja Geo++. Korjaukset lähetetään RTCM v3.1 –muodossa, ja menetelmä on kansainvälisesti standardoitu. Näin ollen vastaanottimille tuleva tietoa on standardoitua, samanmuotoista ja läpinäkyvää riippumatta valmistajasta. MAX-korjaukset pystytään jäljittämään, koska ne perustuvat fyysisiin tukiasemiin.

Raakahavainnot, alkutuntemattomat sekä sijaintitiedot lähetetään yhdelle verkon tukiasemalla. Tämä asema on verkon pääasema (Master). Muille asemille (Auxiliary) lähetetään alkutuntemattomilla korjatut havainnot ja koordinaattierot.

- Tukiasemat vastaanottavat satelliiteista tulevaa havaintodataa ja välittävät sen laskentakeskukseen.
- Ohjelmisto ratkoo alkutuntemattomat, laskee ionosfäärin virheet ja tuottaa ja lähettää MAX-korjaukset.

- MAX-data-muotona havainnot, korjaukset ja koordinaattierot lähetetään pääasemalle ja apuasemille.
- Vastaanotin saa datan ja laskee verkkoratkaisun käyttäen sijaintiinsa nähden sopivia korjausarvoja.

VRS-menetelmässä palvelin kontrolloi verkkoratkaisua. MAX-ratkaisussa kontrolli on vastaanottimella. Ideana on, että vastaanotin voi arvioida RTK-ratkaisun laatua ja valvoa etäisyydestä riippuvien virheiden korjausten tehokkuutta. Mikäli vastaanotin huomaa, että RTK-ratkaisu ei ole tarpeeksi hyvä, voi vastaanotin vaihtaa strategiaansa ja laskea paremman ratkaisun.

Verkkoratkaisussa, joka puolestaan on palvelimen kontrolloima, käytetään useimmiten samaa strategiaa kaikille vastaanottimille. Näin ratkaisu on suunnattu koko verkolle eikä yksittäiselle liikkuvalla vastaanottimelle. [7, s. 13–15; 19.]

## 6 Trimnetin ja SmartNetin vertailu

### 6.1 Tutkimusasetelma

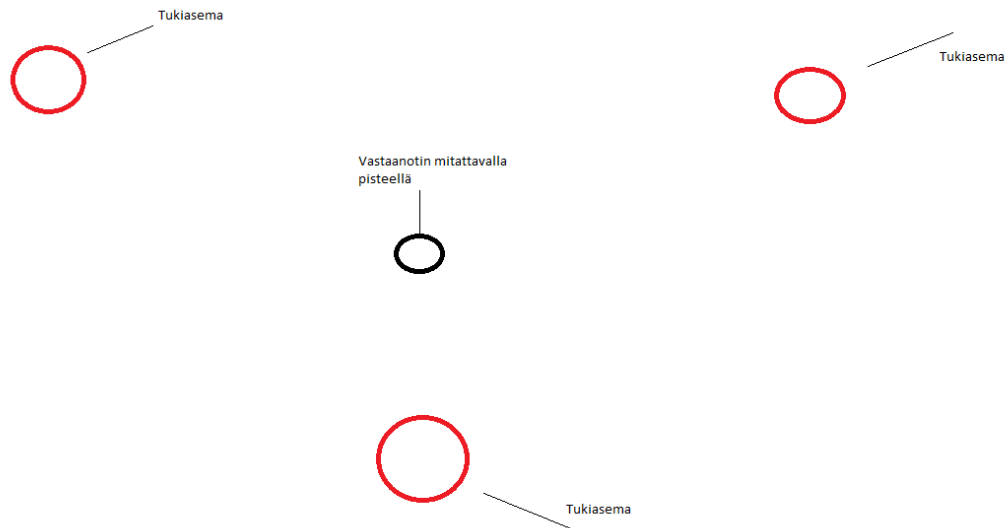
Työssämme vertaamme Trimnetin ja SmartNetin tarkkuutta. Referenssipisteinä käytimme kolmea E1b-luokan EUREF-FIN-kiintopistettä. Mittaamme staattisesti näillä pisteillä ja haemme tukiasemahavainnot samalta ajalta sekä SmartNetistä että Trimnetistä. Tukiasemahavainnoista ja vastaanottimemme havainnoista saamme laskennassa uudet koordinaatit kiintopisteille. Näitä puolestaan vertaamme niille annettuihin koordinaatteihin. Vertailu on tasapuolinen, sillä satelliittihavainnot ovat täysin samat. Erot tuloksiin tulevat eri tukiasemaverkkojen havaintodatasta.

Toteutamme mittauksen ja laskennan kuten staattisen mittauksen verkolle kuuluu. Tosi- asia on kuitenkin, että meidän ”verkossamme” on vain yksi mitattava piste, verkkomme ovat siis perin suppeat. Tästä johtuen osa verkkomittauksen ohjeista vaikuttaa hyvin vähän koordinaatteihin, jotka saamme tulokseksi.

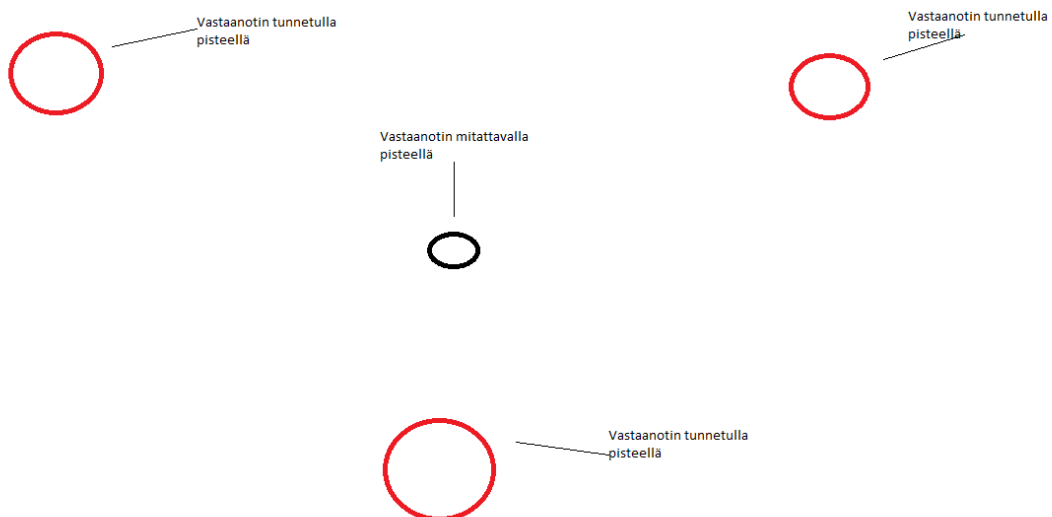
Mittauksissa oli käytössä vain yksi vastaanotin. Vastaanottimet jotka perinteisessä staattisessa relatiivisessa mittauksessa olisivat kiintopisteillä, on mittauksissamme korvattu



Trimnetin ja SmartNetin tukiasemilla, jotka mittaavat jatkuvasti. Kuvissa 2 ja 3 näkyy ero tässä asiassa sekä verkkojemme suppeus. Kuva 2 esittää meidän mittauksia ja kuva 3 kuvastaa samanlaista mittausta, mutta perinteisellä staattisen mittauksen menetelmällä. Mittaustapamme ei ole laajasti käytössä, eikä sitä ole juurikaan tutkittu. Mielestämme se on kuitenkin erittäin potentiaalinen, ja uskomme, että sen käyttö tulee tulevaisuudessa yleistymään.



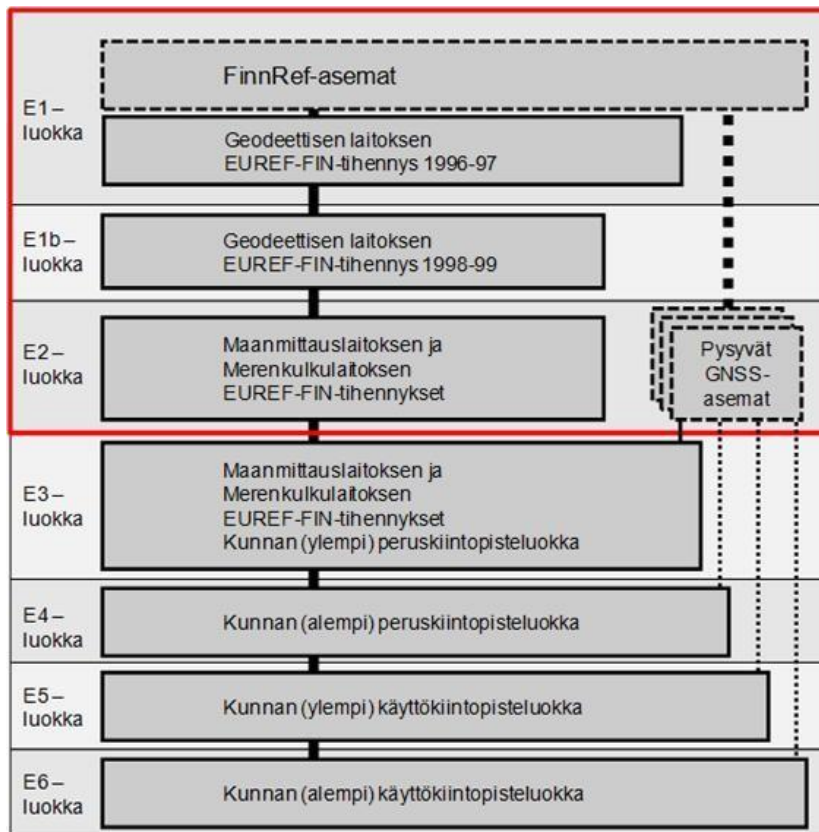
Kuva 2. Piirros verkkojemme rakenteesta



Kuva 3. Tällainen olisi verkkomme mitattuna perinteisellä staattisen mittauksen menetelmällä

## 6.2 Referenssipisteiden sekä tukiasemien valinta

Alun perin tarkoituksena oli käyttää referenssipisteinä Espoossa olevia kolmannen luokan kiintopisteitä. Työn edetessä päätimme kuitenkin, että olisi parempi käyttää vertailuun pisteitä, jotka ovat pistehierarkiassa tukiasemia ylempänä. Kuten kuvassa 4 näkyy, tukiasemat luokitellaan JHS:ssä E2-luokkaan. Tästä syystä päädyimme valitsemaan referenssipisteet E1b-luokasta. Asiaan vaikutti myös se, että pääkaupunkiseudulla ei ollut mahdollista saada tukiasemista hyviä kolmioita pisteiden ympärille. Kuvassa 5 on Salossa käyttämämme kiintopiste.



Kuva 4. EUREF-FIN-kiintopisteiden luokittelu [4]



Kuva 5. Salon piste

Ehkä tulevaisuudessa tullaan rakentamaan tukiasemaverkkoja myös Viroon, ja näin tämä asia ei ole enää ongelma. Tämä parantaisi verkkosatelliittimittauksien tarkkuutta pääkaupunkiseudulla.

Tukiasemat valittiin siten, että ne muodostavat kummastakin tukiasemaverkosta keskenään vertailukelpoiset kolmiot pisteiden ympärille. Verkon suunnittelussa noudatettiin JHS:n ohjeita. Tietenkään pisteiden etäisyydet eri verkkojen tukiasemiin eivät ole tismalleen samat. Taulukossa 1 näkyvät käyttämämme tukiasemat sekä niiden etäisyydet pisteisiin. Tukiasemien etäisyydet mitattaviin pisteisiin ovat kuitenkin sellaiset, että millään pisteellä mitattaessa ei tule toiselle verkolle selvää hyötyä paremmasta sijainnista. Kuvissa 7 ja 8 näkyy käyttämämme Trimnetin ja SmartNetin tukiasemien muodostamat verkot vektorien pituuksineen. Kuva 9 on yhdistelmä.

Kuitenkaan emme saaneet Leica SpiderWeb-sovelluksesta ladattua SmartNetin Hangon tukiaseman havaintoja kummallekaan kerralle, kun olimme mittaamassa. Kuva 6 on kuvakaappaus SpiderWeb-sivustolta, ja siinä näkyy, että emme saaneet tukiasemahavaintoja ladattua.

The screenshot shows the Leica Geosystems SpiderWeb web application. The interface includes a navigation menu on the left with options like 'Home', 'RINEX download guide', 'Site overview', 'RINEX Job Service', 'Configuration', 'Results', 'Statistics', 'Leica Geosystems', and 'SpiderWeb'. The main content area is titled 'Results' and contains a search bar with the following filters:

- User name: Joona Käsänen (loppu)
- Show transactions: Downloads
- Start date: 04/22/2015
- End date: 04/29/2015

Below the filters is a 'Show' button and 'Select all' / 'Deselect all' buttons. A table displays the results:

Date/Time	Download	Sites	Job Name	Status	User	Del
04/29/2015 11:15		<a href="#">SOME_NURM_KARJ</a>	once only	✓	loppu	<input type="checkbox"/>
04/29/2015 11:10		<a href="#">SALO_TURK_HANK</a>	once only	⚠	loppu	<input type="checkbox"/>
04/29/2015 11:01		<a href="#">SALO_TURK_HANK</a>	once only	⚠	loppu	<input type="checkbox"/>

A tooltip is visible over the 'SALO\_TURK\_HANK' site entry, indicating missing data: "Missing data for site HANK from 04/21/2015 12:59 to 04/21/2015 15:59". Below the table is a legend:

- Click on the symbol for RINEX file download
- Not all data available, drag mouse over the symbol for an error description
- Request in progress, server is busy
- Transaction successfully processed

At the bottom right, there is a 'Delete' button with the text: "To delete the selected Transaction(s) press: Delete".

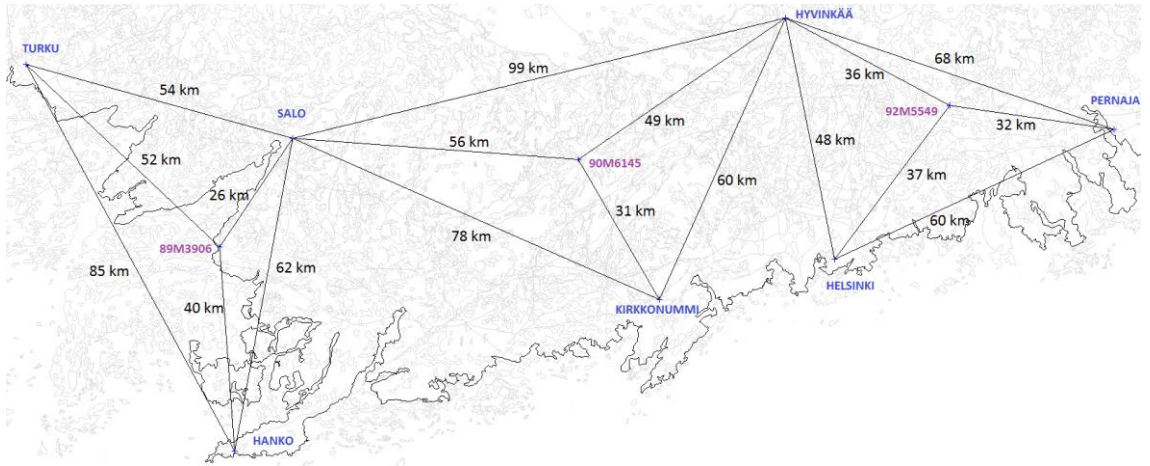
Kuva 6. Kuvakaappaus SpiderWeb-sivustolta

Tukiasema oli ilmeisesti poissa käytöstä. Käytimme vaihtoehtoista tukiasemaa. Näin meidän SmartNetin ”Salon” verkostamme ei tullut yhtä vertailukelpoinen Trimnetin ”Salon” verkkoon nähden. Saimme Salon pisteelle toimivan SmartNet-verkon, mutta se ei ole rakenteeltaan yhtä hyvä kuin alun perin suunniteltu verkko. Todennäköisesti tästä johtui se, että juuri Salon pisteillä oli suurin laatuero SmartNetin ja Trimnetin välillä. Kuvassa 10 on alun perin Salon pisteelle suunnittelemaamme verkot.

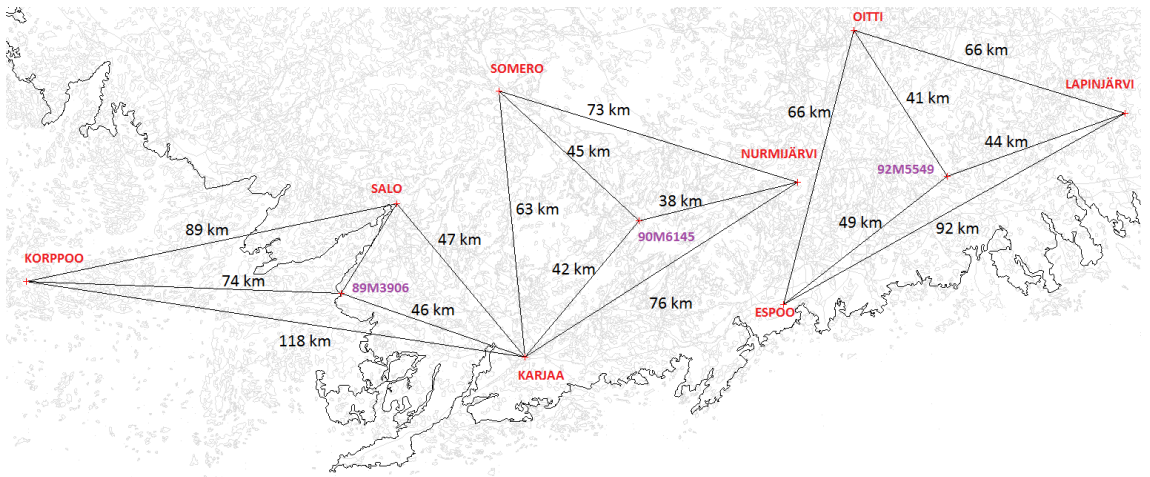
Taulukko 1. Pisteillä käyttämämme tukiasemat sekä niiden etäisyydet pisteisiin

	Smartnet	Trimnet
92M5549 (Askola)	Oitti, 41 km	Pernaja, 32 km
	Lapinjärvi, 44 km	Hyvinkää, 36 km
	Espoo, 49 km	Helsinki, 37 km
90M6145 (Lohja)	Nurmijärvi, 38 km	Kirkkonummi, 31 km
	Karjaa, 42 km	Hyvinkää, 49 km
	Somero, 45 km	Salo, 56 km
89M3906 (Salo)	Salo, 25 km	Salo, 26 km
	Karjaa, 46 km	Hanko, 40 km
	Korppoo, 74 km	Turku, 52 km

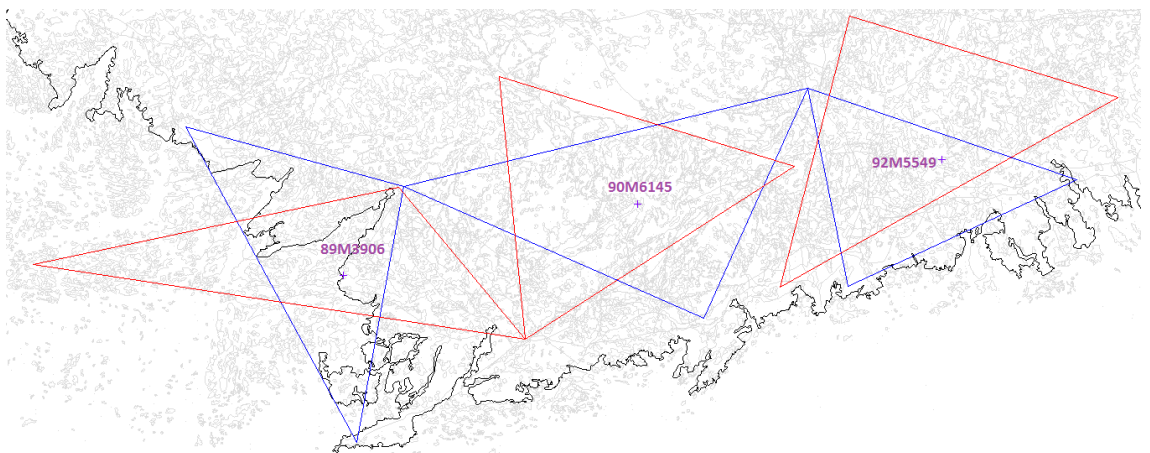




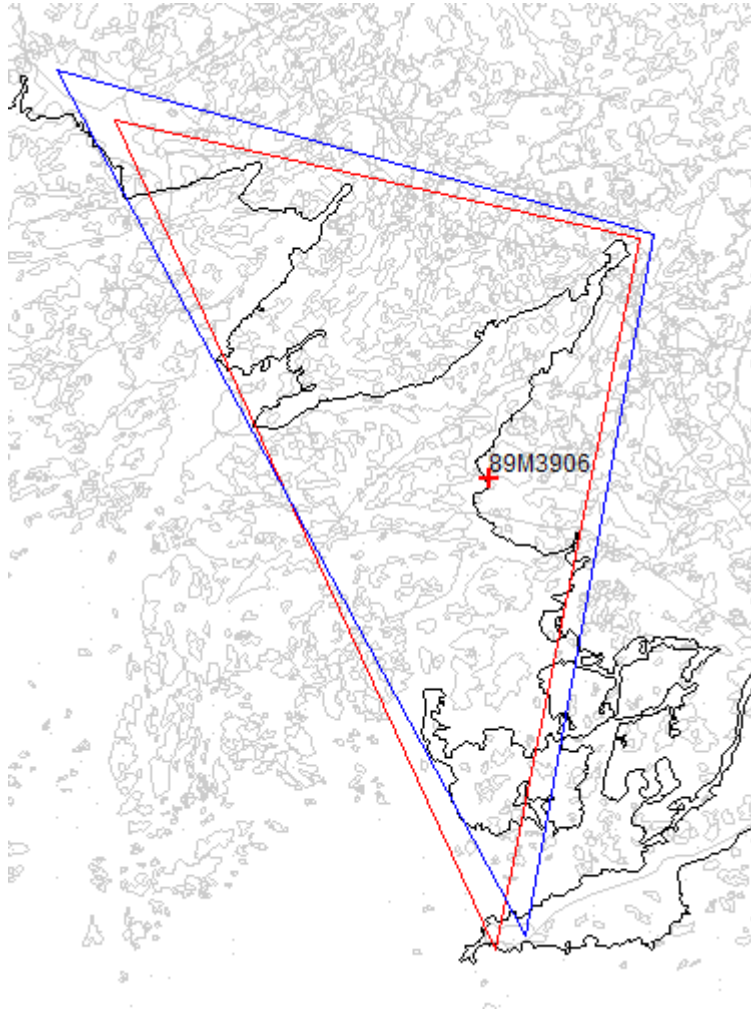
Kuva 7. Käyttämämme Trimnetin verkot sekä vektorien pituudet



Kuva 8. Käyttämämme SmartNetin verkot sekä vektorien pituudet

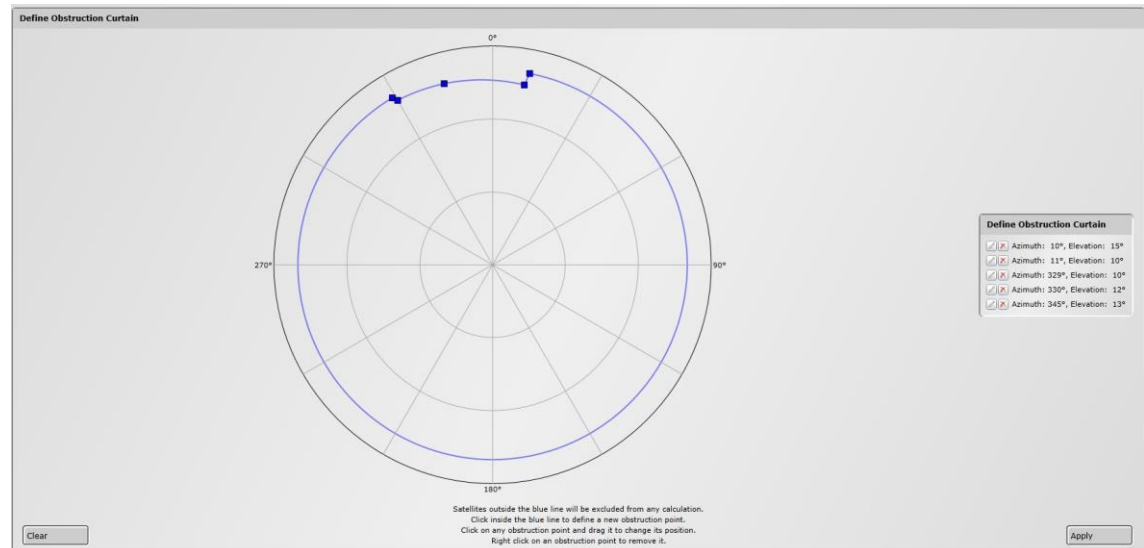


Kuva 9. Sekä Trimnetin että SmartNetin verkot (SmartNet punaisella ja Trimnet sinisellä)

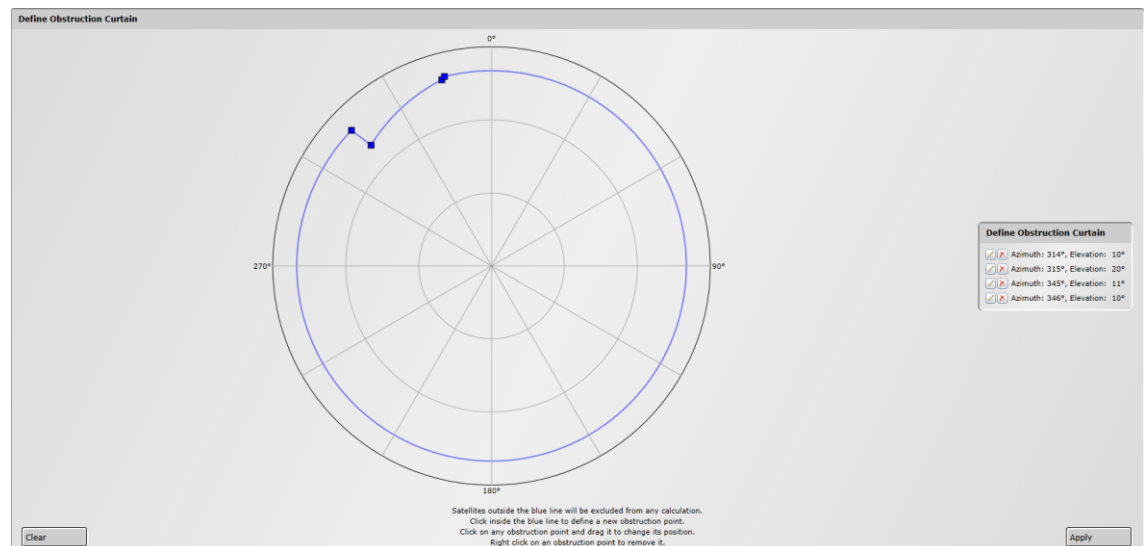


Kuva 10. Alkuperäinen Salo-pisteen verkkosuunnitelma

Kaikki pisteet oli luonnollisesti rakennettu liikkumattomiin rakenteisiin, meidän tapauksissa peruskallioon. Kaikilla pisteillä näkyvyys oli satelliittimittauksia varten todella hyvä, joskin Lohjan pisteen yläpuolella kulki sähkölinja. Peitteellisyysskuivissa 11–13 näkyy, että pisteillä on todella hyvä satelliittinäkyvyys. Peitteellisyys ei aiheuta staattiseen mittaukseen aivan yhtä suuria vaikeuksia kuin verkko-RTK-mittaukseen, jossa alkutuntematmat jäävät helposti ratkaisematta tai yhteys pätkee jatkuvasti.

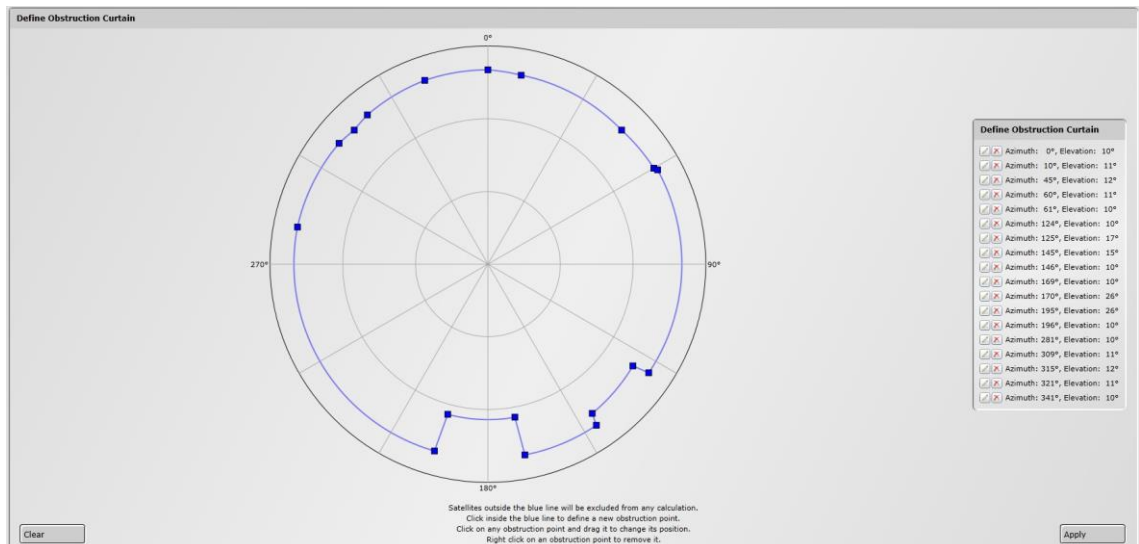


Kuva 11. Estepiirros Askolan kiintopisteeltä



Kuva 12. Estepiirros Lohjan kiintopisteeltä





Kuva 13. Estepiirros Salon kiintopisteeltä

Sähkölinjojen vaikutuksia on vaikea arvioida. Yleinen ajatus tuntuu olevan, että jonkinlaisia vaikutuksia voi olla mittauksiin. Aihetta on jonkin verran tutkittu Mikkelin ammattikorkeakoulussa, mutta siinä tutkimuksessa ei havaittu sellaisia vaikutuksia, joilla olisi mitään todellista merkitystä. [20.]

### 6.3 Mittaus

Mittaukset suoritettiin 21.–22. ja 27.–28. huhtikuuta. Teimme kaikilla kolmella pisteellä kaksi kahden tunnin havaintojaksoa. Näin tehtiin sen takia, kuten tekstissä aiemmin mainittu, että triviaalivektoreita ei haluta mukaan. Vektoreista 15 % on mitattava kahteen kertaan. Kuvio ei saa sulkeutua samassa sessiossa, vaan se suljetaan toisen session havainnoilla. [4, s. 4 ja 9–10.]

Käytössämme oli Metropolia AMK:n Trimble R8 GNSS -vastaanotin. Kuvassa 14 näkyy mittauskalustomme.



Kuva 14. Mittauskalusto

Katkaisukulmana oli 10 astetta. Havaintoväli oli 15 sekuntia. Geodeettinen laitos on tutkinut tätä asiaa, ja tulokset ovat sellaisia, että havaintovälin tihentämisen ei havaittu vaikuttavan geodeettiseen tarkkuuteen tai vaadittavaan havaintoaikaan. Meille olisi hyvin riittänyt myös 30 sekunnin havaintoväli. [11, s. 15.]

Tarkastimme käyttämämme pakkokeskisen alustan ennen mittauksia asettamalla takymetrin sen päälle ja vertasimme sen elektronista tasainta pakkokeskisen alustan kuplaan. Lisäksi vertasimme pakkokeskisen alustan kiikarin osoittamaa paikkaa luotilangan osoittamaan paikkaan. Pakkokeskisemme oli kunnossa.

Monitieheijastuksen mahdollisuuksia ei ollut mittauspaikoilla muuta kuin käyttämämme auto, jota pidettiin kuitenkin tarpeeksi kaukana vastaanottimesta.

Itse mittaus oli hyvin yksinkertaista: kone pisteen päälle, korkeuden mittaus, kone päälle, mittaamaan, tallennus, korkeuden mittaus uudestaan ja kone kasaan.

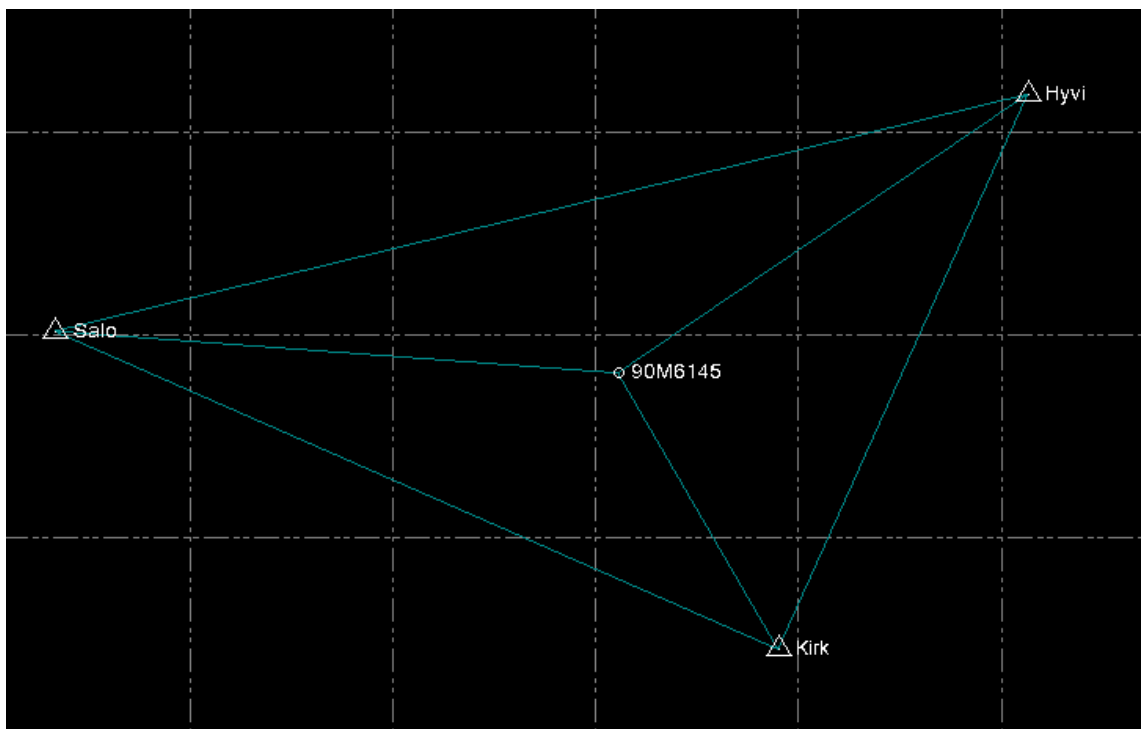
## 6.4 Laskenta

Mittausten jälkeen haimme tukiaseman havaintodatat Trimble Business Centerillä ja Leica SpiderWebillä. Laskenta suoritettiin Trimble Business Centerillä. Leican havaintodatat olivat RINEX-muodossa, jota Trimble Business Center myös lukee.

Käytimme tarkkoja GPS- ja GLONASS-ratatietoja. Korkeuden laskemisessa käytettiin FIN2000-geoidimallia. Kaikkien pisteiden laskennassa on ohjelmalle ilmoitettu lähtövirheinä antennikorkeudessa 5 millimetriä ja keskistysvirheeksi 2 millimetriä. Pyrimme laskemaan kaikki pisteet kummassakin verkossa mahdollisimman samalla tavalla.

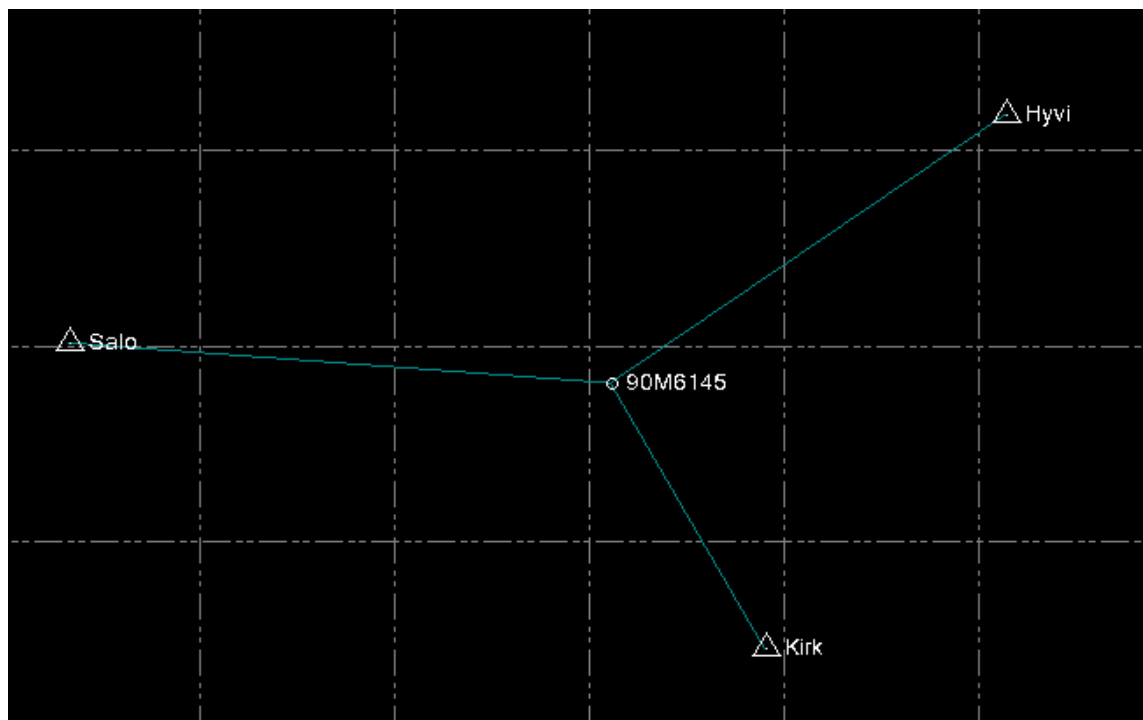
### 6.4.1 Vektorien valinta

Teimme siis jokaisella pisteellä kaksi kahden tunnin mittausta. Yhdestä mittauskerrasta saadaan yhteensä kuusi vektoria. Jokaiselle pisteelle on siis yhteensä 12 vektoria. Kuten aiemmin mainittu, saman mittauskerran vektorit eivät saa muodostaa sulkeutuvia kuvioita. Kuvassa 15 on muokkaamaton alkutilanne, jossa kaikki vektorit olivat mukana.

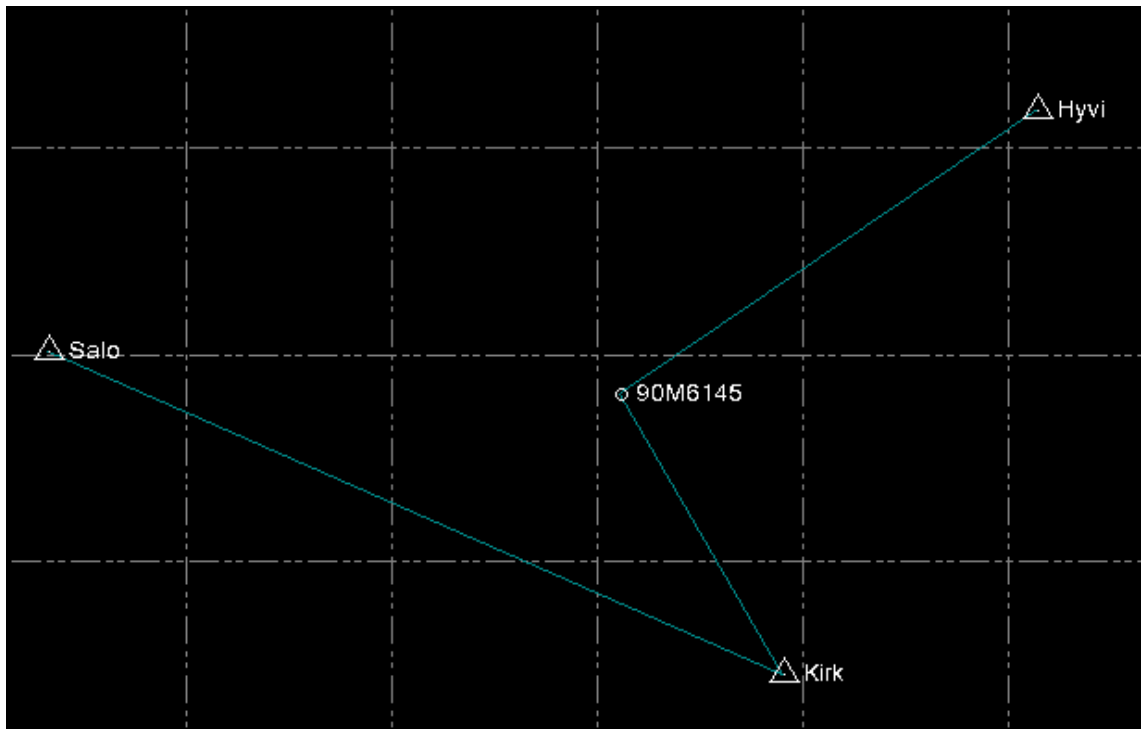


Kuva 15. Alkutilanne. Huomaa sulkeutuvat kuviot.

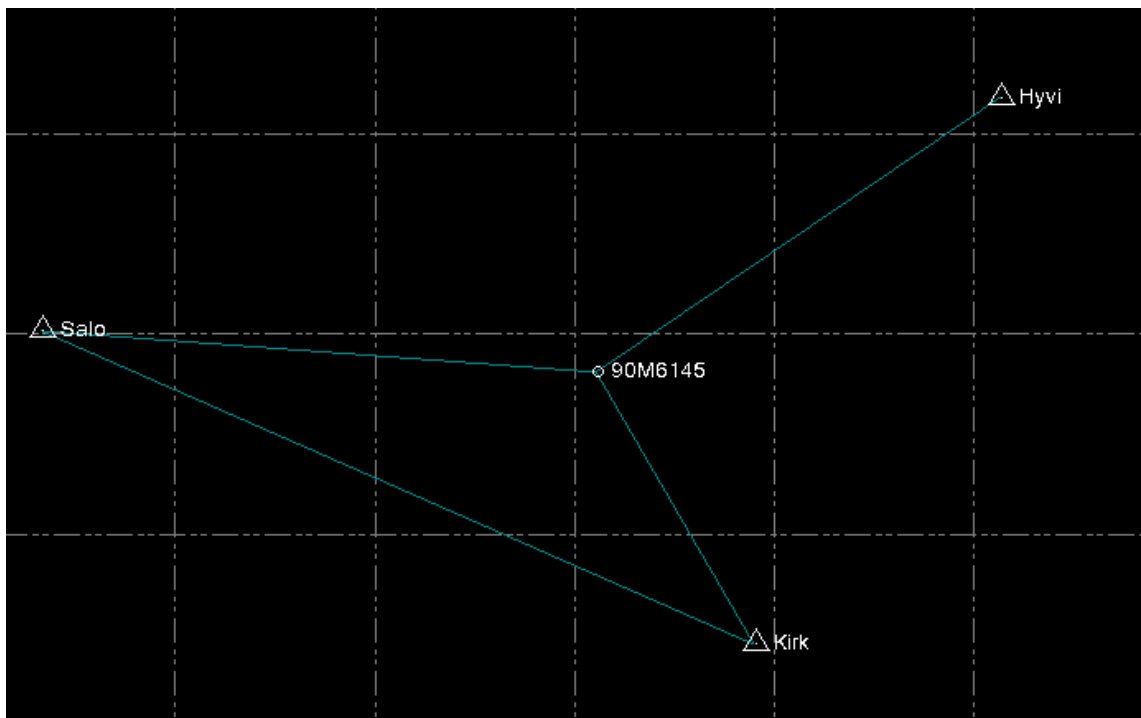
Tästä syystä molemmista mittauskerroista otetaan mukaan vain kolme vektoria, koska neljäs muodostaisi sulkeutuvan kuvion. JHS:n ohjeiden mukaan vähintään 15 prosenttia vektoreista pitää olla kahteen kertaan mitattuja. Näin ollen meidän tapauksessa olisi riittänyt vain yksi kahteen kertaan mitattu vektori. Päädyimme kuitenkin käyttämään kahta kahteen kertaan mitattua vektoria, koska pidimme tukiasemalta pisteelle olevia vektoreita tärkeämpinä kuin tukiasemalta tukiasemalle vektoreita. Otimme laskentaan mukaan kuitenkin aina yhden tukiasemien välisen vektorin. Kuvista 16–18 selviävät eri mittauskerroista käytetyt vektorit sekä niiden muodostama verkkokokonaisuus. Vektorit Hyvi-90M6145 ja Kirk-90M6145 ovat kahteen kertaan mitattuja. Esimerkkikuvat ovat Lohjapisteen laskennasta Trimnetin verkossa.



Kuva 16. Ensimmäisen mittauskerran vektorit



Kuva 17. Toisen mittauskerran vektorit

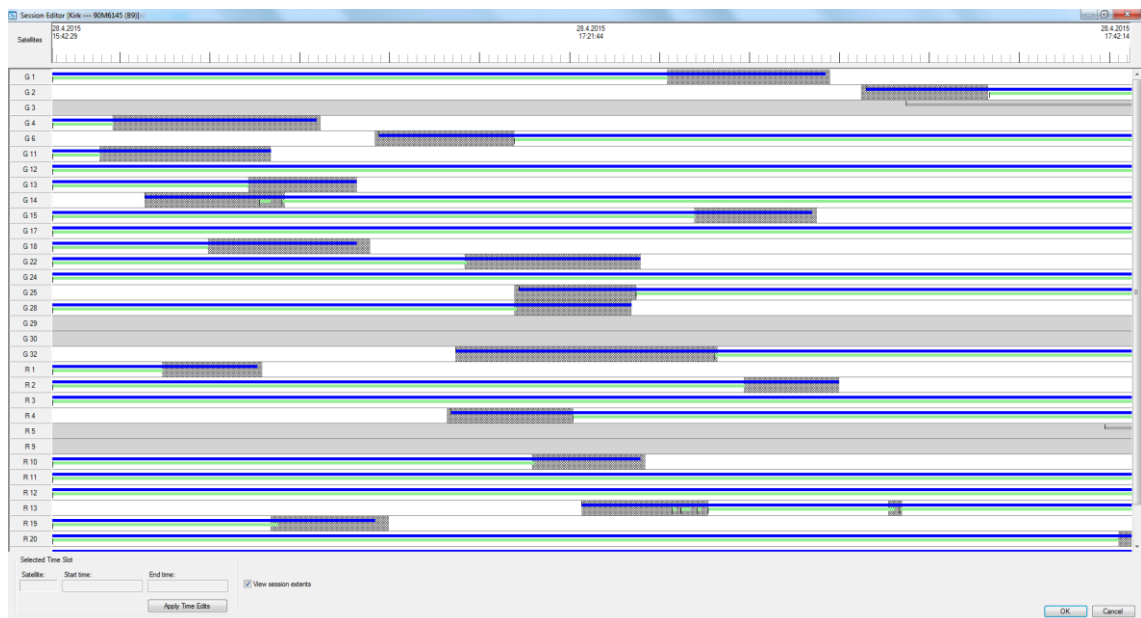


Kuva 18. Ensimmäisen ja toisen mittauskerran vektorit samassa kuvassa

Kerrottakoon, että testilaskennoissamme käytimme erilaisia vektorivariaatioita ja kokeilimme laskentaa kaikilla kahdellatoista vektorilla. Meidän tapauksessa näillä eri variaatioilla tai sulkeutuvien kuviodien käytöllä ei ollut juurikaan vaikutusta tuloksiin. Tulokset olivat aina suunnilleen samoja eli erosivat toisistaan millin tai pari. Työssämme tärkeintä oli kuitenkin, että jokainen piste on kummassakin verkossa laskettu mahdollisimman samalla tavalla.

#### 6.4.2 Vektorien ratkaisu

Kaikkia laskennassa mukana olleita vektoreita on muokattu Trimble Business Centerin Session Editor -työkalulla ennen kuin ne on ratkaistu. Kuva 19 näyttää meille laskennassa mukana ollutta havaintodataa. Kuvassa sininen viiva on tukiaseman vastaanottamaa satelliittidataa ja vihreä on pisteellä vastaanotettua. Jokainen rivi kuvaa yhdeltä satelliitilta saatua dataa. Prosessoinnista on poistettu kaikki sellaiset kohdat, joissa toinen ei vastaanota dataa samalla hetkellä tai toinen viivoista on katkonaista. Prosessoinnissa on mukana siis vain kultakin satelliitilta samaan aikaan kerätty data, toisin sanoen kohdat, joissa sininen ja vihreä viiva kulkevat rinnakkain. Kuvassa harmaana näkyvät kohdat on poistettu prosessoinnista. Kun tämä on tehty kaikille laskennassa mukana oleville vektoreille, ne voidaan ratkaista.



Kuva 19. Kuvakaappaus Session Editorista

### 6.4.3 Tasoitus

Kun halutut vektorit on ratkaistu, voidaan tehdä vapaan ja suljetun verkon tasoitukset. Vapaan verkon tasoituksessa verrataan havaintojen yhteensopivuutta toisiinsa nähden eli niiden laatua. Suljetun verkon tasoituksessa verkko kiinnitetään koordinaattijärjestelmään tunnettujen pisteiden (tukiasemien) avulla ja saadaan mitatulle pisteelle koordinaatit keskivirheineen. Kaikkien pisteiden tasoituslaskentaraportit ovat tämän insinöörityön liitteinä.

### 6.5 Tulokset

Taulukoissa 2, 3 ja 4 näkyvät laskennassa saadut eromitat kiintopisteille annettuihin koordinaatteihin. Tasokoordinaatisto on ETRS-TM35FIN ja korkeusjärjestelmä N60. Tuloksista havaittiin paljon systemaattisuutta. Tulokset on laskettu tarkoilla GPS- ja GLONASS-ratatiedoilla. Tarkkojen ratatietojen käyttäminen ei juurikaan muuttanut tuloksia verrattuna ennustettujen ratatietojen käyttöön. Erot olivat yksittäisiä millejä.

Taulukko 2. Askolan pisteen koordinaatit ja koordinaattierot

	Referenssipiste		Mitatut pisteet	
	<b>92M5549 (Askola)</b>	<b>Trimnet</b>		<b>SmartNet</b>
X	<b>6706560.586</b>	<b>6706560.578</b>		<b>6706560.578</b>
Y	<b>414514.892</b>	<b>414514.898</b>		<b>414514.906</b>
Z	<b>47.491</b>	<b>47.502</b>		<b>47.487</b>
<b>Eromitat (m) ja suunta (gon) referenssipisteestä:</b>				
	dX	<b>-0.008</b>	<b>-0.008</b>	
	dY	<b>0.006</b>	<b>0.014</b>	
	dZ	<b>0.011</b>	<b>-0.004</b>	
	dXY	<b>0.010</b>	<b>0.016</b>	
	dXYZ	<b>0.015</b>	<b>0.017</b>	
	Suunta	<b>159.0334</b>	<b>133.0499</b>	

Taulukko 3. Lohjan pisteen koordinaatit ja koordinaattierot

	Referenssipiste		Mitatut pisteet		
	<b>90M6145 (Lohja)</b>		<b>Trimnet</b>		<b>SmartNet</b>
X	<b>6696135.676</b>		<b>6696135.674</b>		<b>6696135.676</b>
Y	<b>342143.933</b>		<b>342143.932</b>		<b>342143.941</b>
Z	<b>42.533</b>		<b>42.549</b>		<b>42.532</b>
	<b>Eromitat (m) ja suunta (gon) referenssipisteestä:</b>				
		dX	<b>-0.002</b>	<b>0.000</b>	
		dY	<b>-0.001</b>	<b>0.008</b>	
		dZ	<b>0.016</b>	<b>-0.001</b>	
		dXY	<b>0.002</b>	<b>0.008</b>	
		dXYZ	<b>0.016</b>	<b>0.008</b>	
		Suunta	<b>229.5167</b>	<b>100.0000</b>	

Taulukko 4. Salon pisteen koordinaatit ja koordinaattierot

	Referenssipiste		Mitatut pisteet		
	<b>89M3906 (Salo)</b>		<b>Trimnet</b>		<b>SmartNet</b>
X	<b>6679076.004</b>		<b>6679075.999</b>		<b>6679075.994</b>
Y	<b>272299.149</b>		<b>272299.157</b>		<b>272299.167</b>
Z	<b>11.086</b>		<b>11.108</b>		<b>11.088</b>
	<b>Eromitat (m) ja suunta (gon) referenssipisteestä:</b>				
		dX	<b>-0.005</b>	<b>-0.010</b>	
		dY	<b>0.008</b>	<b>0.018</b>	
		dZ	<b>0.022</b>	<b>0.002</b>	
		dXY	<b>0.009</b>	<b>0.021</b>	
		dXYZ	<b>0.024</b>	<b>0.021</b>	
		Suunta	<b>135.5615</b>	<b>132.2829</b>	



### 6.5.1 Tulosten analysointi

Tulokset ovat hyviä ottaen huomioon suhteellisen lyhyen havaintoajan ja erittäin pitkät vektorit. Tarkoituksena ei ollut niinkään saada aikaan mahdollisimman tarkkoja mittauksia vaan verrata mitattujen pisteiden koordinaattieroja eri tukiasemaverkoissa käyttäen samaa raakahavaintodataa.

Tulosten analysoinnissa on hyvä ottaa huomioon, että käyttämämme referenssipisteet ovat myös mitattuja pisteitä, joten nekään eivät ole virheetömiä. Taulukossa 5 on Geodeettisen laitoksen antamat keskivirheet käyttämillemme referenssipisteille.

Taulukko 5. Referenssipisteiden EUREF-FIN-koordinaattien tasoituksen keskivirheet millimetreinä [1]

Pistenumero ja kunta:	Lat	Lon	h
92M5549, Askola	3	3	5
90M6145, Lohja	4	4	6
89M3906, Salo	3	4	5

Tuloksista oli havaittavina seuraavia olennaisia seikkoja.

Parhaat tulokset saatiin Lohjalta, jossa verkot olivat rakenteellisesti parhaat ja parhaiten verrannolliset toisiinsa nähden. Mitattava piste oli melko keskellä verkkoa ja vektoreiden pituuksissa oli vähiten eroja.

Toiseksi parhaat tulokset saatiin Askolasta, jossa verkkojen rakenne oli toiseksi paras.

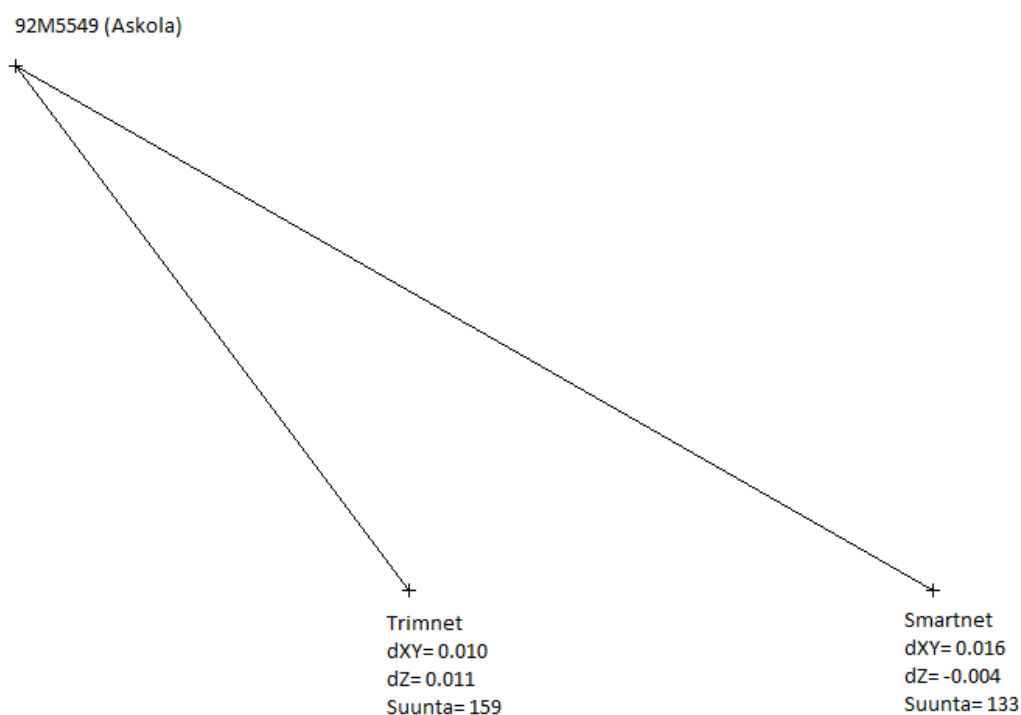
Trimnetin ”Salon verkko” oli hyvin samanlainen kuin ”Askolan verkko”. Suurimmat erot olivat vektorien pituuksissa. Huonoin yksittäinen tasotarkkuustulos saatiin heikoimmasta verkosta eli SmartNetin ”Salon verkosta”. Tässä tasokoordinaatit erosivat 21 millimetriä referenssipisteestä. Huomioitavaa on kuitenkin, että ”Salon verkossa” SmartNetin korkeus erosi vain 2 millimetriä referenssikorkeudesta. Trimnetin ”Salon verkossa” puolestaan saatiin suurin yksittäinen korkeusero referenssikorkeuteen eli 22 millimetriä.

Trimnetin verkoilla lasketut tasokoordinaatit olivat kaikissa pisteissä lähempänä referenssikoordinaatteja. Kaikki Trimnetin pisteet ovat tasotarkkuudessaan 1 senttimetrin sisällä referenssikoordinaateista.

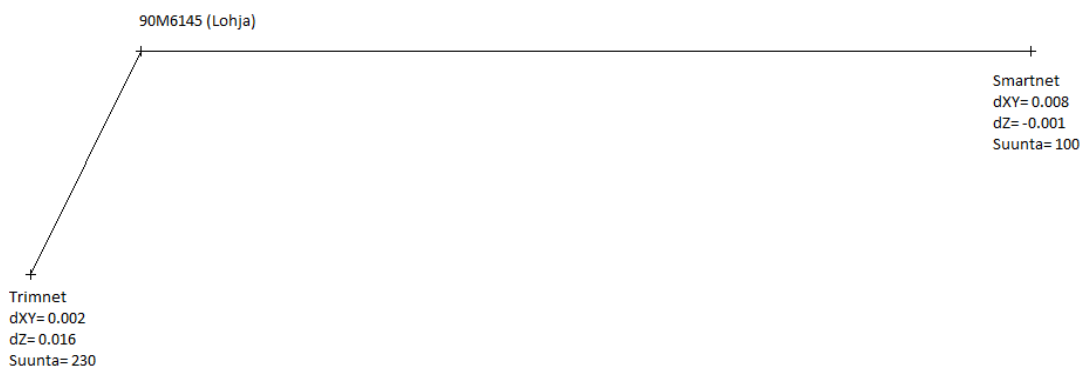
SmartNetin verkoilla lasketuissa tasokoordinaateissa ainoastaan Lohjan piste pääsee 1 senttimetrin sisään referenssipisteelle annetuista koordinaateista.

Korkeustarkkuudessa tilanne on aivan päinvastainen. Kaikissa SmartNetin verkoissa lasketuissa pisteissä on mitattu korkeus viiden millimetrin sisällä referenssikorkeudesta. Mielestämme SmartNetin korkeustarkkuus on hämmästyttävän hyvä. Yhdenkään Trimnetin verkossa lasketun pisteen korkeus ei tullut sentin sisään referenssikorkeudessa. Lisäksi kaikki Trimnetin korkeuserot ovat plus-merkkisiä, eli ne asettuvat referenssikorkeuttaan ylemmäksi.

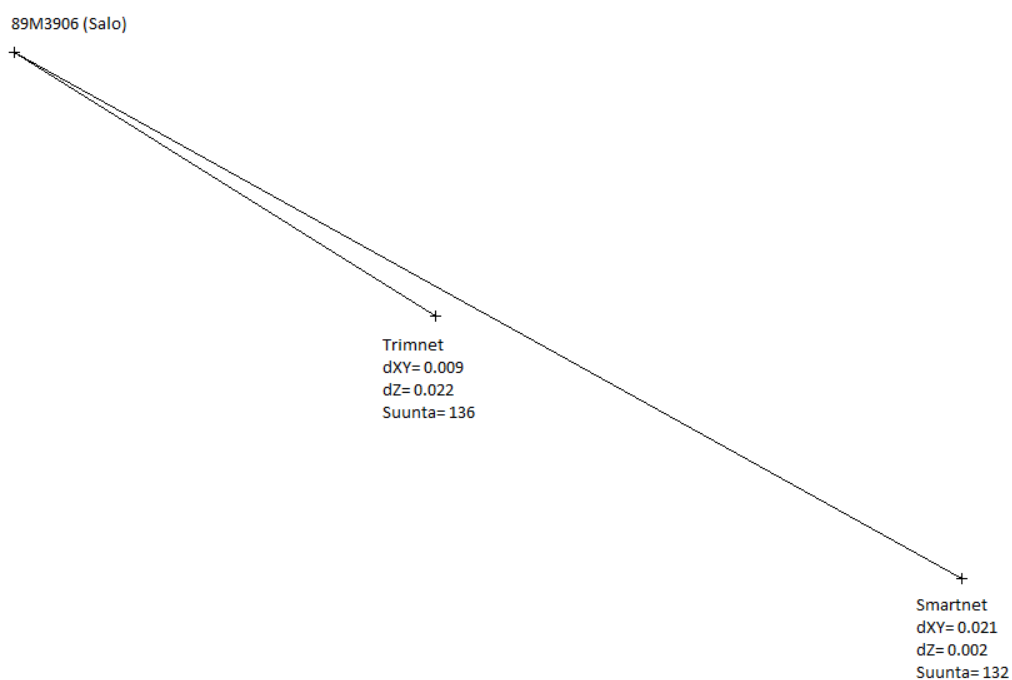
Huomioitavaa on myös tasokoordinaattien erojen suunnat referenssipisteistä, jonka huomaa parhaiten kuvista 20–22. Suunnissa on systemaattisuutta.



Kuva 20. Askolan pisteiden eromitat (m) ja erojen suunnat (gon) referenssipisteestä



Kuva 21. Lohjan pisteiden eromitat (m) ja erojen suunnat (gon) referenssipisteestä



Kuva 22. Salon pisteiden eromitat (m) ja erojen suunnat (gon) referenssipisteestä

SmartNetin verkoilla lasketut Askolan ja Salon pisteet menevät kaakkoon verrattuna referenssikoordinaatteihin. Lohjan piste puolestaan suoraan itää kohden, eli pohjoiskoordinaatti on sama kuin referenssipisteellä. Yksikään SmartNetin verkoilla laskettu piste ei siis ole pohjoisempänä tai lännempänä kuin referenssipiste.

Trimnetin verkossa laskettu Salon piste menee koordinaateiltaan kakkoon ja Askolan piste menee kaakon ja etelän väliin. Ainut piste, joka ei ole referenssikoordinaattejaan idempänä, on Trimnetin verkolla laskettu Lohjan piste, joka puolestaan menee etelän ja

lounaan väliin. Kuitenkin juuri kyseinen piste osui kaikista lähimmäksi referenssipistettä, ja eromitta tasossa oli vaivaiset kaksi millimetriä. Voidaan käytännössä puhua jo samoista tasokoordinaateista. Yksikään Trimnetin verkoilla laskettu piste ei myöskään ollut pohjoisempaa kuin referenssikoordinaattinsa.

### 6.5.2 Johtopäätökset

Tässä vaiheessa on syytä huomioida tutkimuksemme otannan suppeus, joka asettaa johtopäätösten tekemisen hieman kyseenalaiseksi. Laajamittaisen tutkimuksen tekeminen tästä aiheesta olisi valitettavasti ollut liian suuri urakka kahdelle insinööriyöntekijälle. Uskomme kuitenkin, että seuraavat johtopäätökset antavat hyvää osviittaa Trimnetin ja SmartNetin tämänhetkisestä tilanteesta.

Tuloksissamme Trimnetin ratkaisut voittavat tasotarkkuudessa ja SmartNet korkeustarkkuudessa. Näin kävi jokaisella pisteellä. Otanta on kuitenkin niin pieni, että mikäli tilanne olisi ollut jollain pisteellä erilainen, ei tuloksista olisi voinut päätellä oikeastaan mitään.

Suuntien systemaattisuudesta voidaan päätellä, että suunnat mahdollisesti aiheuttaa joku systemaattinen tekijä tukiasemaverkoissa tai niiden lievä yhteensopivuusongelma EUREF-FIN-koordinaatiston kanssa. On myös mahdollista, että tämä johtuu jostakin käyttämämme Trimble Business Center -laskentaohjelman ominaisuudesta, mutta pidämme tätä kuitenkin epätodennäköisenä.

Lopulliset johtopäätökset meidän tutkimuksen osalta on siis, että Trimnet on tarkempi tasossa ja SmartNet on tarkempi korkeudessa. On syytä huomata myös, että jostain syystä virheet painuvat idän ja etelän väliin. Lisäksi Trimnetin korkeudet asettuvat jokaisella pisteellä referenssikorkeuttaan ylemmäksi. Kuitenkin molemmilla tukiasemaverkoilla päästiin hyvään tarkkuuteen.

## 7 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli tehdä mahdollisimman tasapuolinen staattisen mittauksen vertailu Trimnet- ja SmartNet-tukiasemaverkkojen välillä sekä samalla perehtyä

satelliittimittausten ja verkkojen saloihin. Samankaltaista vertailua ei ollut meidän selvityksen mukaan aikaisemmin tehty, joten tulosten suhteen ei ollut mitään ennako-odotuksia. Mitään kovin suuria eroja ei odotettu.

Mittauksemme sujuivat ongelmitta, emmekä tehneet käytännön mittaustöissä karkeita virheitä. Tukiasematietojen lataaminen sujui muuten ongelmitta, vain SmartNetin Hanko-tukiaseman tietoja emme saaneet ladattua. Todennäköisesti tukiasema ei ole ollut toiminnassa. Tästä syystä jouduimme muuttamaan SmartNetin Salo-pisteen verkkoa, eikä korvaava verkko ollut yhtä laadukas. Tämä oli valitettavaa, varsinkin kun alkuperäisen suunnitelman mukainen SmartNetin Salo-pisteen verkko oli lähes identtinen Trimnetin kanssa. Olemme kuitenkin sitä mieltä, ettei tällä takaiskulla ollut merkitystä lopullisten johtopäätösten kanssa.

Insinöörityön tavoite voidaan mielestämme katsoa saavutetuksi, koska onnistuimme tekemään tasapuolisen vertailun ja saadut tulokset ovat selkeitä ja systemaattisia. Lisäksi insinöörityön tekijät ovat astetta viisaampia ihmisiä. Uskomme, että SmartNetin ja Trimnetin välisiä eroja olisi syytä tutkia lisää ja näin saada tulevaisuudessa aikaiseksi entistäkin parempia tukiasemaverkkoja.

Haluaisimme kiittää Trimnetin sekä SmartNetin yhteyshenkilöitä, jotka mahdollistivat työn tekemisen. Lisäksi kiitämme Paikkatietokeskuksen erikoistutkija Hannu Koivulaa sekä kaikkia muita työssämme auttaneita.

## Lähteet

- 1 Ollikainen, Matti. Koivula, Hannu. Poutanen, Markku. 2001. EUREF-FIN-koordinaatisto ja EUREF-pistetihennykset Suomessa. Geodeettisen laitoksen tiedote 24.
- 2 FinnRef-asetat. Maanmittauslaitoksen paikkatietokeskuksen FGI:n verkkoaineisto. <http://euref-fin.fgi.fi/fgi/fi/paikannuspalvelu/finnref-asetat>
- 3 EUREF Permanent Network. 2015. Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/EUREF\\_Permanent\\_Network](https://en.wikipedia.org/wiki/EUREF_Permanent_Network). Luettu 10.10.2015.
- 4 JHS 184, Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. 2012. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Verkkodokumentti.
- 5 Koivula, Hannu. 2015. DI. Paikkatietokeskus, geodesian ja geodynamiikan osasto, erikoistutkija, satelliittipaikannus, vertausjärjestelmät. Sähköpostikeskustelu kevät 2015.
- 6 Hofmann-Willenhop, Bernhard. Lichtenegger, Herbert. Wasle, Elmar. 2008. GNSS Global Navigation Satellite Systems. Springer-Verlag Wien.
- 7 Toivonen, Tuomas & Ylikoski, Juho. 2013. Verko-RTK-mittaus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 8 Mehtälä, Ismo. 2012. Yhden vastaanottimen tarkka paikannus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Larijani, L. Casey. 1998. GPS for everyone: how the global positioning system can work for you. American interface corporation.
- 10 Poutanen, Markku. 2014. Satelliittipaikannus. Helsinki. Geodeettinen laitos.
- 11 Häkli, Pasi. Koivula, Hannu. Puupponen Jyrki. 2008. Staattisen GPS-mittauksen geodeettisesta 3D-tarkkuudesta. Masala.
- 12 GLONASS. 2015. Wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/GLONASS>. Luettu 9.3.2015.
- 13 Galileo. 2015. Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_%28satellite\\_navigation%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_%28satellite_navigation%29). Luettu 10.3.2015.
- 14 BeiDou Navigation Satellite System. 2015. Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou\\_Navigation\\_Satellite\\_System](https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou_Navigation_Satellite_System). Luettu 11.3.2015.

- 15 Kråknäs, Pasi. 2014. Staattinen runkomittaus. Luento. Metropolia Ammattikorkeakoulu, 28.1.2014.
- 16 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen Ammattikorkeakoulun julkaisusarja.
- 17 Dilution of precision (GPS). 2015. Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution\\_of\\_precision\\_%28GPS%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Dilution_of_precision_%28GPS%29). Luettu. 16.10.2015.
- 18 Simonen, Juho. Geotrim OY. TrimNet VRS tukiasemaverkko luento metropolia Ammattikorkeakoululle. 25.2.2014.
- 19 GNSS-tukiasemaverkot. 2013. SmartNet-esitys. Esittelymateriaali Metropolia Ammattikorkeakoululle. Leica Geosystems Oy.
- 20 Aalto, Reijo. 2015. Lehtori, Metropolia Ammattikorkeakoulu. Keskustelu. Kevät 2015.

## Referenssipisteiden pistekortit

## Tietoja kiintopisterekisteristä

Tulostettu [23.04.2015](#)

## Kiintopiste



Kiintopisteen numero:	92M5549
Kiintopisteen nimi:	Soidinsuo
Kunta:	Askola
<a href="#">Oheistietoja muutettu:</a>	18.10.2010
<a href="#">Koordinaatteja muutettu:</a>	26.3.2004
Maastotarkistuksen päivämäärä:	17.3.2014

## ETRS89-koordinaatit

<a href="#">Pisteen mitannut organisaatio:</a>	Geodeettinen laitos
Viitenumero:	GLt24_kp
Tasotarkkuusluokka:	1. luokan kolmiopiste
N (ETRS-TM35FIN):	6706560.586
E (ETRS-TM35FIN):	414514.892
<a href="#">Lat</a> (ETRS89):	60° 29' 10.01106"
<a href="#">Lon</a> (ETRS89):	25° 26' 39.91698"
Korkeus ellipsoidista (GRS80):	64.793

## KKJ-koordinaatit

<a href="#">Pisteen mitannut organisaatio:</a>	Maanmittauslaitos
Viitenumero:	2031.5
Tasotarkkuusluokka:	3. luokan kolmiopiste
N:	6709244.872
E:	2579587.316

## N60-korkeus

<a href="#">Pisteen mitannut organisaatio:</a>	Maanmittauslaitos
Viitenumero:	0931.2
Korkeustarkkuusluokka:	vaaittu
H:	47.491

## N2000-korkeus

<a href="#">Pisteen mitannut organisaatio:</a>	Maanmittauslaitos
Viitenumero:	03307
Korkeustarkkuusluokka:	vaaittu
H:	47.7294

## Muita tietoja

Yleislehtijaon karttalehti:	204312D4
TM35-karttalehti:	L4322C4
MGRS-karttalehti:	
GPS-sopivuus:	Hyvä
Keskusmerkin tyyppi ja alusta:	pultti ja kolmio kalliassa
Kiintopisteen sijainti:	tiestä pohjoiseen 8. metriä
Sijainti maanpinnasta:	
Lisätietoja:	





## Tietoja kiintopisterekisteristä

Tulostettu [23.04.2015](#)

### Kiintopiste

Kiintopisteen numero: 90M6145  
Kiintopisteen nimi: **Paksalo**  
Kunta: Lohja  
[Oheistietoja muutettu:](#) 1.7.2004  
[Koordinaatteja muutettu:](#) 26.3.2004  
Maastotarkistuksen päivämäärä: 12.5.2011

#### ETRS89-koordinaatit

[Pisteen mitannut organisaatio:](#) Geodeettinen laitos  
Viitenumero: GLt24\_kp  
Tasotarkkuusluokka: 1. luokan kolmiopiste  
N (ETRS-TM35FIN): 6696135.676  
E (ETRS-TM35FIN): 342143.933  
**L**.at (ETRS89): 60° 22' 14.85141"  
**L**.on (ETRS89): 24° 08' 13.95103"  
Korkeus ellipsoidista (GRS80): 62.075

#### KKJ-koordinaatit

[Pisteen mitannut organisaatio:](#) Maanmittauslaitos  
Viitenumero: 2026.1  
Tasotarkkuusluokka: 3. luokan kolmiopiste  
N: 6695532.917  
E: 2507748.218

#### N60-korkeus

[Pisteen mitannut organisaatio:](#) Maanmittauslaitos  
Viitenumero: 5223.  
Korkeustarkkuusluokka: vaahtu  
H: 42.533

#### N2000-korkeus

[Pisteen mitannut organisaatio:](#)  
Korkeustarkkuusluokka: muunnettu  
H: 42.78

#### Muita tietoja

Yleislehtijaon karttalehti: 204102D3  
TM35-karttalehti: L4123D3  
MGRS-karttalehti:

GPS-sopivuus: Hyvä

Keskusmerkin tyyppi ja alusta: putki ja kolmio kalliassa  
Kiintopisteen sijainti: tiestä pohjoiseen

Sijainti maanpinnasta:

Lisätietoja: Vaaituslinja 5223. Huom. toinen putki noin 1 m pohjoiseen (pellolle) päin

# Tietoja kiintopisterekisteristä

Tulostettu [23.04.2015](#)

## Kiintopiste

Kiintopisteen numero: 89M3906  
Kiintopisteen nimi: [Strömma](#)  
Kunta: Salo  
[Oheistietoja muutettu:](#) 24.6.2010  
[Koordinaatteja muutettu:](#) 15.4.2004  
Maastotarkistuksen päivämäärä: 2.9.2014

### ETRS89-koordinaatit

[Pisteen mitannut organisaatio:](#) Geodeettinen laitos  
Viitenumero: GLt24\_kp  
Tasotarkkuusluokka: 1. luokan kolmiopiste  
N (ETRS-TM35FIN): 6679076.004  
E (ETRS-TM35FIN): 272299.149  
[Lat \(ETRS89\):](#) 60° 11' 05.23476"  
[Lon \(ETRS89\):](#) 22° 53' 34.84551"  
Korkeus ellipsoidista (GRS80): 30.854

### KKJ-koordinaatit

[Pisteen mitannut organisaatio:](#) Maanmittauslaitos  
Viitenumero: 2023.4  
Tasotarkkuusluokka: 3. luokan kolmiopiste  
N: 6675316.024  
E: 2438754.101

### N60-korkeus

[Pisteen mitannut organisaatio:](#) Maanmittauslaitos  
Viitenumero: 6121.  
Korkeustarkkuusluokka: vaaittu  
H: 11.086

### N2000-korkeus

[Pisteen mitannut organisaatio:](#)  
Korkeustarkkuusluokka: muunnettu  
H: 11.36

### Muita tietoja

Yleislehtijaon karttalehti: 201206D3  
TM35-karttalehti: L3332E1  
MGRS-karttalehti:  
GPS-sopivuus: Hyvä  
Keskusmerkin tyyppi ja alusta: pultti ja kolmio kalliassa  
Kiintopisteen sijainti:  
Sijainti maanpinnasta:  
Lisätietoja: näkyvyys kolmiopisteelle 89M3907 [Rävkullen](#)

**Mittauspöytäkirjat****Mittauspöytäkirja**

Päivämäärä:

22.4.2015

Sää:

PILVINEN, n. +15 C°

Pistenumero ja kunta:

92M5549, ASKOLA

Mittauslaite:

TRIMBLE R8 (s/n: 4919171423)

Aloitusaika:

12:05

Lopetusaika:

14:05

Antennikorkeus alussa:

135,9 cm

Antennikorkeus lopussa:

135,9 cm

Lisätietoja:

KORKEUS MITATTU ANTENNIN  
JALUSTAN ALAOSASTA

**Mittauspöytäkirja**

Päivämäärä:

27.4.2015

Sää:

PILVINEN/TIHKUSADETTA/SADETTA, +11C°

Pistenumero ja kunta:

92M5549, ASKOLA

Mittauslaite:

TRIMBLE R8 (S/N: 4919171423)

Aloitusaika:

15:16

Lopetusaika:

17:16

Antennikorkeus alussa:

132,1 cm

Antennikorkeus lopussa:

132,1 cm

Lisätietoja:

KORKEUS MITATTU  
ANTENNIN JALUSTAN ALAJASTA



**Mittauspöytäkirja**

Päivämäärä:

21.4.2015

Sää:

PILVINEN m.+13C°

Pistenumero ja kunta:

90M6145, LOHJA

Mittauslaite:

TRIMBLE R8 (S/N: 4919171423)

Aloitusaika:

17:44

Lopetusaika:

19:44

Antennikorkeus alussa:

153,4 cm

Antennikorkeus lopussa:

153,4 cm

Lisätietoja:

KORKEUS MITATTU ANTENNIN  
JALUSTAN ALAOSASTA

**Mittauspöytäkirja**

Päivämäärä:

28.4.2015

Sää:

AURINKOINEN, +15 C°

Pistenumero ja kunta:

90M6145, LOHJA

Mittauslaite:

TRIMBLE R8 (S/N: 4919171423)

Aloitusaika:

15:42

Lopetusaika:

17:42

Antennikorkeus alussa:

154,7 CM

Antennikorkeus lopussa:

154,7 CM

Lisätietoja:

KORKEUS MITATTU ANTENNIN  
JALUSTAN ALAOSASTA

**Mittauspöytäkirja**

Päivämäärä:

21.4.2015

Sää:

AURINKOINEN, m. +15°C  
PUOLIPILVINEN

Pistenumero ja kunta:

89M3906, SALO

Mittauslaite:

TRIMBLE R8 (s/n: 4919171423)

Aloitusaika:

13:35

Lopetus aika:

15:37

Antennikorkeus alussa:

139,0 cm

Antennikorkeus lopussa:

139,0 cm

Lisätietoja:

KORKEUS MITATTU ANTENNIN JALUSTAN  
ALAJÄRJELMÄSTÄ



**Mittauspöytäkirja**

Päivämäärä:

28.4.2015

Sää:

AURINKOINEN, +15°C

Pistenumero ja kunta:

89M3906, SALO

Mittauslaite:

TRIMBLE RB (S/N: 4919171423)

Aloitusaika:

12:15

Lopetusaika:

14:15

Antennikorkeus alussa:

134,5 cm

Antennikorkeus lopussa:

134,5 cm

Lisätietoja:

KOREUS MITATTU ANTENNIN  
JALUSTAN ALAOSASTA



## Tasoituslaskentaratortit

SmartNetin Askola-piste:

Project Information		Coordinate System	
Name:	Z:\Kouluhommat\oppari\uudet projektit\smartnet-askola.vce	Name:	Finland ETRS
Size:	224 KB	Datum:	ETRF89
Modified:	15.9.2015 16:59:48 (UTC:3)	Zone:	ETRS-TM35FIN
Time zone:	FLE Standard Time	Geoid:	FIN2000
Reference number:		Vertical datum:	
Description:			

## Network Adjustment Report

### Adjustment Settings

#### Set-Up Errors

##### GNSS

**Error in Height of Antenna:** 0,005 m

**Centering Error:** 0,002 m

#### Covariance Display

##### Horizontal:

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

##### Three-Dimensional

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

### Adjustment Statistics

**Number of Iterations for Successful Adjustment:** 2

**Network Reference Factor:** 1,00

**Chi Square Test (95%):** Passed  
**Precision Confidence Level:** 95%  
**Degrees of Freedom:** 11

### Post Processed Vector Statistics

**Reference Factor:** 1,00  
**Redundancy Number:** 11,00  
**A Priori Scalar:** 1,53

### Control Point Constraints

Point ID	Type	East $\sigma$ (Meter)	North $\sigma$ (Meter)	Height $\sigma$ (Meter)	Elevation $\sigma$ (Meter)
<a href="#">ESPO</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">LAPINJARVI</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">OITT</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	

Fixed = 0,000001(Meter)

### Adjusted Grid Coordinates

Point ID	Easting (Meter)	Easting Error (Meter)	Northing (Meter)	Northing Error (Meter)	Elevation (Meter)	Elevation Error (Meter)	Constraint
<a href="#">92M5549</a>	414514,906	0,004	6706560,578	0,005	47,487	0,015	
<a href="#">ESPO</a>	376046,335	?	6676385,512	?	35,596	?	LLh
<a href="#">LAPINJARVI</a>	456155,682	?	6721324,336	?	53,542	?	LLh
<a href="#">OITT</a>	392578,176	?	6740710,168	?	112,056	?	LLh

## Adjusted Geodetic Coordinates

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)	Height Error (Meter)	Constraint
<a href="#">92M5549</a>	N60°29'10,01082"	E25°26'39,91787"	64,794	0,015	
<a href="#">ESPO</a>	N60°12'19,41601"	E24°45'48,80304"	53,795	?	LLh
<a href="#">LAPIN-JARVI</a>	N60°37'31,22370"	E26°11'55,54557"	69,415	?	LLh
<a href="#">OITT</a>	N60°47'14,25571"	E25°01'36,61992"	130,337	?	LLh

## Adjusted ECEF Coordinates

Point ID	X (Meter)	X Error (Meter)	Y (Meter)	Y Error (Meter)	Z (Meter)	Z Error (Meter)	3D Error (Meter)	Constraint
<a href="#">92M5549</a>	2844563,702	0,008	1353401,797	0,005	5527414,760	0,013	0,016	
<a href="#">ESPO</a>	2885122,125	?	1330887,316	?	5511930,122	?	?	LLh
<a href="#">LAPIN-JARVI</a>	2814379,832	?	1384771,068	?	5535044,581	?	?	LLh
<a href="#">OITT</a>	2827879,680	?	1320274,994	?	5543927,275	?	?	LLh

## Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
<a href="#">92M5549</a>	0,006	0,005	2°

## Adjusted GPS Observations

### Transformation Parameters

Deflection in Latitude: -0,049 sec (95%) 0,096 sec  
 Deflection in Longitude: -0,089 sec (95%) 0,086 sec  
 Azimuth Rotation: -0,008 sec (95%) 0,017 sec  
 Scale Factor: 1,00000004 (95%) 0,00000009

Observation ID		Observation	A-posteriori Error	Residual	Standardized Residual
<a href="#">LAPINJARVI --&gt; 92M5549 (PV8)</a>	<b>Az.</b>	249°46'49"	0,029 sec	0,019 sec	0,942
	<b>ΔHt.</b>	-4,607 m	0,024 m	0,026 m	2,178
	<b>Ellip Dist.</b>	44195,904 m	0,006 m	-0,001 m	-0,362
<a href="#">LAPINJARVI --&gt; 92M5549 (PV11)</a>	<b>Az.</b>	249°46'49"	0,029 sec	0,006 sec	0,240
	<b>ΔHt.</b>	-4,607 m	0,024 m	-0,025 m	-2,092
	<b>Ellip Dist.</b>	44195,904 m	0,006 m	0,000 m	-0,109
<a href="#">ESPO --&gt; 92M5549 (PV12)</a>	<b>Az.</b>	49°56'44"	0,026 sec	-0,003 sec	-0,142
	<b>ΔHt.</b>	10,990 m	0,020 m	-0,025 m	-2,052
	<b>Ellip Dist.</b>	48904,279 m	0,006 m	0,001 m	0,153
<a href="#">OITT --&gt; 92M5549 (PV7)</a>	<b>Az.</b>	145°33'52"	0,028 sec	0,009 sec	0,419

	<b>ΔHt.</b>	-65,561 m	0,025 m	0,012 m	1,118
	<b>Ellip Dist.</b>	40599,946 m	0,006 m	0,005 m	1,181
<a href="#">ESPO --&gt; 92M5549 (PV9)</a>	<b>Az.</b>	49°56'44"	0,026 sec	0,000 sec	-0,027
	<b>ΔHt.</b>	10,990 m	0,020 m	0,015 m	1,148
	<b>Ellip Dist.</b>	48904,279 m	0,006 m	-0,002 m	-0,386
<a href="#">ESPO --&gt; OITT (PV6)</a>	<b>Az.</b>	12°28'01"	0,017 sec	-0,008 sec	-0,642
	<b>ΔHt.</b>	76,551 m	0,024 m	0,010 m	1,110
	<b>Ellip Dist.</b>	66430,738 m	0,006 m	-0,002 m	-0,385

## Covariance Terms

From Point	To Point		Com-ponents	A-poste-riori Error	Horiz. Pre-cision (Ratio)	3D Pre-cision (Ratio)
<a href="#">ESPO</a>	<a href="#">92M5549</a>	<b>Az.</b>	49°56'44"	0,020 sec	1 : 10643346	1 : 10592629
		<b>ΔHt.</b>	10,998 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	11,891 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	48904,281 m	0,005 m		
<a href="#">ESPO</a>	<a href="#">OITT</a>	<b>Az.</b>	12°28'01"	0,000 sec	1 : 0	1 : 0
		<b>ΔHt.</b>	76,542 m	0,000 m		
		<b>ΔElev.</b>	76,461 m	0,000 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	66430,741 m	0,000 m		

<a href="#">LAPIN- JARVI</a>	<a href="#">92M5549</a>	<b>Az.</b>	249°46'49"	0,023 sec	1 : 10142510	1 : 10127754
		<b>ΔHt.</b>	-4,621 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-6,055 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	44195,906 m	0,004 m		
<a href="#">OITT</a>	<a href="#">92M5549</a>	<b>Az.</b>	145°33'52"	0,023 sec	1 : 8586752	1 : 8621480
		<b>ΔHt.</b>	-65,543 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-64,569 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	40599,947 m	0,005 m		

Date: 18.9.2015 15:42:08	Project: Z:\Kouluhom- mat\oppari\uudet projek- tit\smartnet-askola.vce	Trimble Business Center
--------------------------	--	-------------------------

SmartNetin Lohja-piste:

Project Information		Coordinate System	
Name:	Z:\Kouluhommat\oppari\uudet projektit\smartnet-lohja.vce	Name:	Finland ETRS
Size:	231 KB	Datum:	ETRF89
Modified:	15.9.2015 14:32:25 (UTC:3)	Zone:	ETRS-TM35FIN
Time zone:	FLE Standard Time	Geoid:	FIN2000
Reference number:		Vertical datum:	
Description:			

## Network Adjustment Report

---

### Adjustment Settings

#### Set-Up Errors

##### GNSS

**Error in Height of Antenna:** 0,005 m

**Centering Error:** 0,002 m

#### Covariance Display

##### Horizontal:

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

##### Three-Dimensional

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

### Adjustment Statistics

**Number of Iterations for Successful Adjustment:** 2

**Network Reference Factor:** 1,00

**Chi Square Test (95%):** Passed

**Precision Confidence Level:** 95%

**Degrees of Freedom:** 11

## Post Processed Vector Statistics

Reference Factor: 1,00  
 Redundancy Number: 11,00  
 A Priori Scalar: 1,63

## Control Point Constraints

Point ID	Type	East $\sigma$ (Meter)	North $\sigma$ (Meter)	Height $\sigma$ (Meter)	Elevation $\sigma$ (Meter)
<a href="#">KARJ</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">NURM</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">SOME</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
Fixed = 0,000001(Meter)					

## Adjusted Grid Coordinates

Point ID	Easting (Meter)	Eas- ting Er- ror (Me- ter)	Northing (Meter)	Nort- hing Er- ror (Meter)	Eleva- tion (Meter)	Eleva- tion Er- ror (Me- ter)	Constrain t
<a href="#">90M614 5</a>	342143,941	0,004	6696135,676	0,005	42,532	0,015	
<a href="#">KARJ</a>	315468,405	?	6664071,243	?	46,511	?	LLh
<a href="#">NURM</a>	379438,864	?	6705089,603	?	72,065	?	LLh
<a href="#">SOME</a>	309302,565	?	6726432,645	?	101,423	?	LLh

## Adjusted Geodetic Coordinates

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)	Height Er- ror (Meter)	Constraint
----------	----------	-----------	-------------------	------------------------------	------------



<a href="#">90M6145</a>	N60°22'14,85141"	E24°08'13,95160"	62,073	0,015	
<a href="#">KARJ</a>	N60°04'19,55788"	E23°41'00,64292"	66,014	?	LLh
<a href="#">NURM</a>	N60°27'50,22715"	E24°48'26,99789"	90,635	?	LLh
<a href="#">SOME</a>	N60°37'41,47732"	E23°30'49,37774"	120,861	?	LLh

## Adjusted ECEF Coordinates

Point ID	X (Meter)	X Error (Meter)	Y (Meter)	Y Error (Meter)	Z (Meter)	Z Error (Meter)	3D Error (Meter)	Constraint
<a href="#">90M6145</a>	2884896,00 2	0,008	1292725,37 5	0,005	5521071,15 7	0,013	0,016	
<a href="#">KARJ</a>	2921495,89 6	?	1281444,43 9	?	5504546,37 0	?	?	LLh
<a href="#">NURM</a>	2861394,53 9	?	1322604,41 2	?	5526220,34 7	?	?	LLh
<a href="#">SOME</a>	2875930,20 6	?	1251308,76 1	?	5535245,07 9	?	?	LLh

## Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
<a href="#">90M6145</a>	0,006	0,006	4°

## Adjusted GPS Observations

### Transformation Parameters

Deflection in Latitude:	-0,049 sec (95%)	0,095 sec
Deflection in Longitude:	-0,108 sec (95%)	0,081 sec
Azimuth Rotation:	-0,005 sec (95%)	0,020 sec
Scale Factor:	1,00000009 (95%)	0,00000010

Observation ID		Observation	A-posteriori Error	Residual	Standardized Residual
<a href="#">KARJ --&gt; 90M6145 (PV7)</a>	<b>Az.</b>	36°52'45"	0,029 sec	0,013 sec	0,573
	<b>ΔHt.</b>	-3,947 m	0,020 m	-0,029 m	-2,336
	<b>Ellip Dist.</b>	41711,526 m	0,006 m	0,001 m	0,305
<a href="#">NURM --&gt; 90M6145 (PV9)</a>	<b>Az.</b>	254°35'34"	0,035 sec	-0,024 sec	-0,874
	<b>ΔHt.</b>	-28,545 m	0,023 m	-0,021 m	-1,851
	<b>Ellip Dist.</b>	38360,890 m	0,006 m	-0,001 m	-0,269
<a href="#">NURM --&gt; 90M6145 (PV3)</a>	<b>Az.</b>	254°35'34"	0,035 sec	0,001 sec	0,041
	<b>ΔHt.</b>	-28,545 m	0,023 m	0,023 m	1,768
	<b>Ellip Dist.</b>	38360,890 m	0,006 m	0,002 m	0,425
<a href="#">KARJ --&gt; SOME (PV11)</a>	<b>Az.</b>	351°28'13"	0,019 sec	0,002 sec	0,117
	<b>ΔHt.</b>	54,866 m	0,025 m	0,016 m	1,481
	<b>Ellip Dist.</b>	62663,505 m	0,006 m	-0,002 m	-0,431

<a href="#">SOME --&gt; 90M6145 (PV6)</a>	<b>Az.</b>	129°39'25"	0,030 sec	0,009 sec	0,450
	<b>ΔHt.</b>	-58,812 m	0,025 m	0,016 m	1,480
	<b>Ellip Dist.</b>	44682,980 m	0,006 m	-0,001 m	-0,328
<a href="#">KARJ --&gt; 90M6145 (PV1)</a>	<b>Az.</b>	36°52'45"	0,029 sec	-0,014 sec	-0,670
	<b>ΔHt.</b>	-3,947 m	0,020 m	0,015 m	1,182
	<b>Ellip Dist.</b>	41711,526 m	0,006 m	0,002 m	0,447

## Covariance Terms

From Point	To Point		Com-ponents	A-posteriori Error	Horiz. Pre-cision (Ratio)	3D Pre-cision (Ratio)
<a href="#">KARJ</a>	<a href="#">90M6145</a>	<b>Az.</b>	36°52'45"	0,023 sec	1 : 8453962	1 : 8402310
		<b>ΔHt.</b>	-3,941 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-3,979 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	41711,530 m	0,005 m		
<a href="#">KARJ</a>	<a href="#">SOME</a>	<b>Az.</b>	351°28'13"	0,000 sec	1 : 0	1 : 0
		<b>ΔHt.</b>	54,846 m	0,000 m		
		<b>ΔElev.</b>	54,911 m	0,000 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	62663,511 m	0,000 m		
<a href="#">NURM</a>	<a href="#">90M6145</a>	<b>Az.</b>	254°35'34"	0,027 sec	1 : 8541697	1 : 8510818
		<b>ΔHt.</b>	-28,562 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-29,533 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	38360,894 m	0,004 m		

<a href="#">SOME</a>	<a href="#">90M6145</a>	<b>Az.</b>	129°39'25"	0,022 sec	1 : 9505538	1 : 9583844
		<b>ΔHt.</b>	-58,787 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-58,890 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	44682,984 m	0,005 m		

Date: 18.9.2015 15:50:10	Project: Z:\Kouluhom- mat\oppari\uudet projek- tit\smartnet-lohja.vce	Trimble Business Center
--------------------------	---	-------------------------

SmartNetin Salo-piste:

Project Information	Coordinate System
Name: Z:\Kouluhommat\oppari\uudet projektit\smartnet-salo.vce	Name: Finland ETRS
Size: 225 KB	Datum: ETRF89
Modified: 15.9.2015 17:35:00 (UTC:3)	Zone: ETRS-TM35FIN
Time zone: FLE Standard Time	Geoid: FIN2000
Reference number:	Vertical datum:
Description:	

---

## Network Adjustment Report

---

### Adjustment Settings

#### Set-Up Errors

##### GNSS

Error in Height of Antenna: 0,005 m

Centering Error: 0,002 m

#### Covariance Display

##### Horizontal:

Propagated Linear Error [E]: U.S.

Constant Term [C]: 0,000 m

Scale on Linear Error [S]: 1,960

##### Three-Dimensional

Propagated Linear Error [E]: U.S.

Constant Term [C]: 0,000 m

Scale on Linear Error [S]: 1,960

---

### Adjustment Statistics

Number of Iterations for Successful Adjustment: 2

Network Reference Factor: 1,00

**Chi Square Test (95%):** Passed  
**Precision Confidence Level:** 95%  
**Degrees of Freedom:** 11

**Post Processed Vector Statistics**

**Reference Factor:** 1,00  
**Redundancy Number:** 11,00  
**A Priori Scalar:** 1,72

**Control Point Constraints**

Point ID	Type	East $\sigma$ (Meter)	North $\sigma$ (Meter)	Height $\sigma$ (Meter)	Elevation $\sigma$ (Meter)
<a href="#">KARJ</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">KORP</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">SALO</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
Fixed = 0,000001(Meter)					

**Adjusted Grid Coordinates**

Point ID	Easting (Meter)	Eas- ting Er ror (Meter)	Northing (Meter)	Nort- hing Er ror (Meter)	Eleva- tion (Me- ter)	Eleva- tion Er ror (Meter)	Constrain t
<a href="#">89M3906</a>	272299,167	0,005	6679075,994	0,006	11,088	0,018	
<a href="#">KARJ</a>	315468,405	?	6664071,243	?	46,511	?	LLh
<a href="#">KORP</a>	198483,021	?	6681730,477	?	13,788	?	LLh
<a href="#">SALO</a>	285340,608	?	6700034,522	?	16,068	?	LLh

**Adjusted Geodetic Coordinates**

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)	Height Error (Meter)	Constraint
<a href="#">89M3906</a>	N60°11'05,23449"	E22°53'34,84674"	30,830	0,018	
<a href="#">KARJ</a>	N60°04'19,55788"	E23°41'00,64292"	66,014	?	LLh
<a href="#">KORP</a>	N60°09'38,54592"	E21°33'49,74196"	33,473	?	LLh
<a href="#">SALO</a>	N60°22'46,58973"	E23°06'19,06687"	35,740	?	LLh

## Adjusted ECEF Coordinates

Point ID	X (Meter)	X Error (Meter)	Y (Meter)	Y Error (Meter)	Z (Meter)	Z Error (Meter)	3D Error (Meter)	Constraint
<a href="#">89M3906</a>	2928851,399	0,010	1236774,397	0,006	5510769,049	0,016	0,020	
<a href="#">KARJ</a>	2921495,896	?	1281444,439	?	5504546,370	?	?	LLh
<a href="#">KORP</a>	2958918,282	?	1169357,663	?	5509436,899	?	?	LLh
<a href="#">SALO</a>	2906911,831	?	1240220,581	?	5521533,833	?	?	LLh

## Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
<a href="#">89M3906</a>	0,007	0,006	12°

## Adjusted GPS Observations

### Transformation Parameters

Deflection in Latitude: -0,133 sec (95%) 0,071 sec

**Deflection in Longitude:** 0,028 sec (95%) 0,183 sec  
**Azimuth Rotation:** -0,023 sec (95%) 0,019 sec  
**Scale Factor:** 1,00000002 (95%) 0,00000008

Observation ID		Observation	A-posteriori Error	Residual	Standardized Residual
<a href="#">KARJ --&gt; 89M3906 (PV12)</a>	<b>Az.</b>	286°17'21"	0,034 sec	-0,013 sec	-0,620
	<b>ΔHt.</b>	-35,182 m	0,025 m	-0,023 m	-1,825
	<b>Ellip Dist.</b>	45696,978 m	0,006 m	-0,002 m	-0,515
<a href="#">KORP --&gt; 89M3906 (PV8)</a>	<b>Az.</b>	87°20'28"	0,023 sec	-0,018 sec	-1,266
	<b>ΔHt.</b>	-2,632 m	0,028 m	0,030 m	1,444
	<b>Ellip Dist.</b>	73829,625 m	0,007 m	-0,006 m	-1,322
<a href="#">KORP --&gt; 89M3906 (PV11)</a>	<b>Az.</b>	87°20'28"	0,023 sec	0,007 sec	0,572
	<b>ΔHt.</b>	-2,632 m	0,028 m	-0,014 m	-1,417
	<b>Ellip Dist.</b>	73829,625 m	0,007 m	0,002 m	0,358
<a href="#">KARJ --&gt; SALO (PV6)</a>	<b>Az.</b>	317°09'57"	0,019 sec	0,029 sec	1,224
	<b>ΔHt.</b>	-30,257 m	0,028 m	0,008 m	0,913
	<b>Ellip Dist.</b>	46911,078 m	0,004 m	0,006 m	1,290



<a href="#">KARJ --&gt; 89M3906 (PV9)</a>	<b>Az.</b>	286°17'21"	0,034 sec	0,014 sec	0,600
	<b>ΔHt.</b>	-35,182 m	0,025 m	0,023 m	1,198
	<b>Ellip Dist.</b>	45696,978 m	0,006 m	0,001 m	0,146
<a href="#">SALO --&gt; 89M3906 (PV7)</a>	<b>Az.</b>	208°30'29"	0,047 sec	-0,023 sec	-0,605
	<b>ΔHt.</b>	-4,926 m	0,031 m	0,014 m	0,874
	<b>Ellip Dist.</b>	24679,865 m	0,006 m	0,002 m	0,384

## Covariance Terms

From Point	To Point		Com- ponents	A-posteriori Error	Horiz. Pre- cision (Ratio)	3D Pre- cision (Ratio)
<a href="#">KARJ</a>	<a href="#">89M3906</a>	<b>Az.</b>	286°17'21"	0,026 sec	1 : 9455867	1 : 9474332
		<b>ΔHt.</b>	-35,185 m	0,018 m		
		<b>ΔElev.</b>	-35,423 m	0,018 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	45696,978 m	0,005 m		
<a href="#">KARJ</a>	<a href="#">SALO</a>	<b>Az.</b>	317°09'57"	0,000 sec	1 : 0	1 : 0
		<b>ΔHt.</b>	-30,275 m	0,000 m		
		<b>ΔElev.</b>	-30,444 m	0,000 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	46911,078 m	0,000 m		
<a href="#">KORP</a>	<a href="#">89M3906</a>	<b>Az.</b>	87°20'28"	0,016 sec	1 : 15275259	1 : 15174957
		<b>ΔHt.</b>	-2,643 m	0,018 m		
		<b>ΔElev.</b>	-2,699 m	0,018 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	73829,627 m	0,005 m		

<a href="#">SALO</a>	<a href="#">89M3906</a>	<b>Az.</b>	208°30'29"	0,041 sec	1 : 4427206	1 : 4403181
		<b>ΔHt.</b>	-4,910 m	0,018 m		
		<b>ΔElev.</b>	-4,979 m	0,018 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	24679,866 m	0,006 m		

Date: 18.9.2015 15:57:13	Project: Z:\Kouluhom- mat\oppari\uudet projek- tit\smartnet-salo.vce	Trimble Business Center
--------------------------	--	-------------------------

Trimnetin Askola-piste

Project Information		Coordinate System	
Name:	Z:\Kouluhommat\oppari\uudet projektit\trimnet-askola.vce	Name:	Finland ETRS
Size:	248 KB	Datum:	ETRF89
Modified:	15.9.2015 16:41:22 (UTC:3)	Zone:	ETRS-TM35FIN
Time zone:	FLE Standard Time	Geoid:	FIN2000
Reference number:		Vertical datum:	
Description:			

## Network Adjustment Report

### Adjustment Settings

#### Set-Up Errors

##### GNSS

Error in Height of Antenna: 0,005 m

Centering Error: 0,002 m

#### Covariance Display

##### Horizontal:

Propagated Linear Error [E]: U.S.

Constant Term [C]: 0,000 m

Scale on Linear Error [S]: 1,960

##### Three-Dimensional

Propagated Linear Error [E]: U.S.

Constant Term [C]: 0,000 m

Scale on Linear Error [S]: 1,960

### Adjustment Statistics

Number of Iterations for Successful Adjustment: 2

Network Reference Factor: 1,00

Chi Square Test (95%): Passed

Precision Confidence Level: 95%

Degrees of Freedom: 11

## Post Processed Vector Statistics

Reference Factor: 1,00  
 Redundancy Number: 11,00  
 A Priori Scalar: 1,49

## Control Point Constraints

Point ID	Type	East $\sigma$ (Meter)	North $\sigma$ (Meter)	Height $\sigma$ (Meter)	Elevation $\sigma$ (Meter)
<a href="#">Hels</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">Hyvi</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">Pern</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
Fixed = 0,000001(Meter)					

## Adjusted Grid Coordinates

Point ID	Easting (Meter)	Eas- ting Er ror (Me- ter)	Northing (Meter)	Nort- hing Er ror (Meter)	Eleva- tion (Meter)	Eleva- tion Er ror (Me- ter)	Constrain t
<a href="#">92M554 9</a>	414514,898	0,004	6706560,578	0,005	47,502	0,015	
<a href="#">Hels</a>	392157,252	?	6676628,285	?	19,639	?	LLh
<a href="#">Hyvi</a>	382571,278	?	6723592,429	?	132,233	?	LLh
<a href="#">Pern</a>	446529,998	?	6701945,127	?	43,093	?	LLh

## Adjusted Geodetic Coordinates

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)	Height Er- ror (Meter)	Constraint
----------	----------	-----------	-------------------	------------------------------	------------

<a href="#">92M5549</a>	N60°29'10,01078"	E25°26'39,91739"	64,808	0,015	
<a href="#">Hels</a>	N60°12'43,75061"	E25°03'14,03705"	37,341	?	LLh
<a href="#">Hyvi</a>	N60°37'51,19637"	E24°51'12,39956"	150,784	?	LLh
<a href="#">Pern</a>	N60°27'00,71837"	E26°01'41,21147"	59,192	?	LLh

## Adjusted ECEF Coordinates

Point ID	X (Meter)	X Error (Meter)	Y (Meter)	Y Error (Meter)	Z (Meter)	Z Error (Meter)	3D Error (Meter)	Constraint
<a href="#">92M5549</a>	2844563,712	0,008	1353401,794	0,005	5527414,772	0,013	0,016	
<a href="#">Hels</a>	2877741,413	?	1345210,099	?	5512290,029	?	?	LLh
<a href="#">Hyvi</a>	2845663,205	?	1318103,484	?	5535418,694	?	?	LLh
<a href="#">Pern</a>	2833754,900	?	1383836,285	?	5525437,445	?	?	LLh

## Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
<a href="#">92M5549</a>	0,006	0,005	178°

## Adjusted GPS Observations

### Transformation Parameters

Deflection in Latitude:	0,086 sec (95%)	0,102 sec
Deflection in Longitude:	-0,078 sec (95%)	0,101 sec
Azimuth Rotation:	-0,006 sec (95%)	0,023 sec
Scale Factor:	1,00000006 (95%)	0,00000011

Observation ID		Observation	A-posteriori Error	Residual	Standardized Residual
<a href="#">Pern --&gt; 92M5549 (PV6)</a>	<b>Az.</b>	277°21'28"	0,039 sec	-0,012 sec	-0,383
	<b>ΔHt.</b>	5,627 m	0,022 m	-0,022 m	-1,938
	<b>Ellip Dist.</b>	32357,075 m	0,006 m	0,003 m	0,814
<a href="#">Pern --&gt; 92M5549 (PV12)</a>	<b>Az.</b>	277°21'28"	0,039 sec	-0,018 sec	-0,676
	<b>ΔHt.</b>	5,627 m	0,022 m	0,022 m	1,891
	<b>Ellip Dist.</b>	32357,075 m	0,006 m	0,002 m	0,437
<a href="#">Hels --&gt; 92M5549 (PV1)</a>	<b>Az.</b>	35°03'59"	0,029 sec	0,010 sec	0,424
	<b>ΔHt.</b>	27,447 m	0,020 m	-0,022 m	-1,841
	<b>Ellip Dist.</b>	37371,142 m	0,005 m	0,002 m	0,448
<a href="#">Hels --&gt; Hyvi (PV2)</a>	<b>Az.</b>	346°46'15"	0,023 sec	0,001 sec	0,033
	<b>ΔHt.</b>	113,428 m	0,023 m	0,011 m	1,212
	<b>Ellip Dist.</b>	47944,187 m	0,005 m	-0,007 m	-1,629

<a href="#">Hyvi --&gt; 92M5549 (PV9)</a>	<b>Az.</b>	116°11'46"	0,036 sec	-0,005 sec	-0,227
	<b>ΔHt.</b>	-85,981 m	0,024 m	0,014 m	1,354
	<b>Ellip Dist.</b>	36210,414 m	0,006 m	-0,001 m	-0,215
<a href="#">Hels --&gt; 92M5549 (PV7)</a>	<b>Az.</b>	35°03'59"	0,029 sec	0,004 sec	0,164
	<b>ΔHt.</b>	27,447 m	0,020 m	0,010 m	0,749
	<b>Ellip Dist.</b>	37371,142 m	0,005 m	0,002 m	0,565

## Covariance Terms

From Point	To Point		Com-ponents	A-posteriori Error	Horiz. Pre-cision (Ratio)	3D Pre-cision (Ratio)
<a href="#">92M5549</a>	<a href="#">Hels</a>	<b>Az.</b>	215°24'21"	0,025 sec	1 : 8068465	1 : 8042730
		<b>ΔHt.</b>	-27,468 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-27,863 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	37371,144 m	0,005 m		
<a href="#">92M5549</a>	<a href="#">Hyvi</a>	<b>Az.</b>	296°42'39"	0,027 sec	1 : 8243393	1 : 8267243
		<b>ΔHt.</b>	85,976 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	84,731 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	36210,416 m	0,004 m		
<a href="#">92M5549</a>	<a href="#">Pern</a>	<b>Az.</b>	96°51'00"	0,031 sec	1 : 7625106	1 : 7634508
		<b>ΔHt.</b>	-5,616 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-4,409 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	32357,077 m	0,004 m		

<a href="#">Hels</a>	<a href="#">Hyvi</a>	<b>Az.</b>	346°46'15"	0,000 sec	1 : 0	1 : 0
		<b>ΔHt.</b>	113,444 m	0,000 m		
		<b>ΔElev.</b>	112,594 m	0,000 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	47944,190 m	0,000 m		

Date: 18.9.2015 15:34:20	Project: Z:\Kouluhom- mat\oppari\uudet projek- tit\trimnet-askola.vce	Trimble Business Center
--------------------------	---	-------------------------



Trimnetin Lohja-piste:

Project Information		Coordinate System	
Name:	Z:\Kouluhommat\oppari\uudet projektit\trimnet-lohja.vce	Name:	Finland ETRS
Size:	253 KB	Datum:	ETRF89
Modified:	15.9.2015 14:11:54 (UTC:3)	Zone:	ETRS-TM35FIN
Time zone:	FLE Standard Time	Geoid:	FIN2000
Reference number:		Vertical datum:	
Description:			

## Network Adjustment Report

### Adjustment Settings

#### Set-Up Errors

##### GNSS

**Error in Height of Antenna:** 0,005 m

**Centering Error:** 0,002 m

#### Covariance Display

##### Horizontal:

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

##### Three-Dimensional

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

### Adjustment Statistics

**Number of Iterations for Successful Adjustment:** 2

**Network Reference Factor:** 1,00

**Chi Square Test (95%):** Passed

**Precision Confidence Level:** 95%

**Degrees of Freedom:** 11

## Post Processed Vector Statistics

Reference Factor: 1,00  
 Redundancy Number: 11,00  
 A Priori Scalar: 1,48

## Control Point Constraints

Point ID	Type	East $\sigma$ (Meter)	North $\sigma$ (Meter)	Height $\sigma$ (Meter)	Elevation $\sigma$ (Meter)
<a href="#">Hyvi</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">Kirk</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">Salo</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
Fixed = 0,000001(Meter)					

## Adjusted Grid Coordinates

Point ID	Easting (Meter)	Eas- ting Er- ror (Me- ter)	Northing (Meter)	Nort- hing Er- ror (Meter)	Eleva- tion (Meter)	Eleva- tion Er- ror (Me- ter)	Constrain t
<a href="#">90M614 5</a>	342143,932	0,004	6696135,673	0,005	42,551	0,015	
<a href="#">Hyvi</a>	382571,278	?	6723592,429	?	132,233	?	LLh
<a href="#">Kirk</a>	357959,198	?	6668908,850	?	27,336	?	LLh
<a href="#">Salo</a>	286570,159	?	6700253,087	?	20,057	?	LLh

## Adjusted Geodetic Coordinates

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Meter)	Height Er- ror (Meter)	Constraint
----------	----------	-----------	-------------------	------------------------------	------------

<a href="#">90M6145</a>	N60°22'14,85131"	E24°08'13,95098"	62,092	0,015	
<a href="#">Hyvi</a>	N60°37'51,19637"	E24°51'12,39956"	150,784	?	LLh
<a href="#">Kirk</a>	N60°07'56,73677"	E24°26'34,06010"	45,961	?	LLh
<a href="#">Salo</a>	N60°22'55,97839"	E23°07'38,32443"	39,724	?	LLh

## Adjusted ECEF Coordinates

Point ID	X (Meter)	X Error (Meter)	Y (Meter)	Y Error (Meter)	Z (Meter)	Z Error (Meter)	3D Error (Meter)	Constraint
<a href="#">90M6145</a>	2884896,016	0,008	1292725,372	0,005	5521071,172	0,013	0,016	
<a href="#">Hyvi</a>	2845663,205	?	1318103,484	?	5535418,694	?	?	LLh
<a href="#">Kirk</a>	2898944,447	?	1317631,186	?	5507879,282	?	?	LLh
<a href="#">Salo</a>	2906204,564	?	1241239,030	?	5521680,909	?	?	LLh

## Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
<a href="#">90M6145</a>	0,006	0,006	11°

## Adjusted GPS Observations

### Transformation Parameters

Deflection in Latitude:	0,051 sec (95%)	0,072 sec
Deflection in Longitude:	-0,013 sec (95%)	0,106 sec
Azimuth Rotation:	-0,003 sec (95%)	0,018 sec
Scale Factor:	1,00000006 (95%)	0,00000009

Observation ID		Observation	A-posteriori Error	Residual	Standardized Residual
<a href="#">Hyvi --&gt; 90M6145 (PV1)</a>	<b>Az.</b>	233°56'55"	0,024 sec	-0,004 sec	-0,255
	<b>ΔHt.</b>	-88,683 m	0,023 m	0,023 m	1,893
	<b>Ellip Dist.</b>	48877,780 m	0,005 m	-0,002 m	-0,425
<a href="#">Hyvi --&gt; 90M6145 (PV7)</a>	<b>Az.</b>	233°56'55"	0,024 sec	-0,018 sec	-0,976
	<b>ΔHt.</b>	-88,683 m	0,023 m	-0,021 m	-1,891
	<b>Ellip Dist.</b>	48877,780 m	0,005 m	-0,001 m	-0,236
<a href="#">Salo --&gt; 90M6145 (PV6)</a>	<b>Az.</b>	90°52'12"	0,028 sec	0,023 sec	1,646
	<b>ΔHt.</b>	22,365 m	0,029 m	0,015 m	1,253
	<b>Ellip Dist.</b>	55724,669 m	0,008 m	-0,003 m	-0,730
<a href="#">Kirk --&gt; 90M6145 (PV3)</a>	<b>Az.</b>	327°37'42"	0,034 sec	0,004 sec	0,146
	<b>ΔHt.</b>	16,125 m	0,019 m	0,006 m	0,536
	<b>Ellip Dist.</b>	31490,773 m	0,005 m	0,006 m	1,574
<a href="#">Kirk --&gt; 90M6145 (PV9)</a>	<b>Az.</b>	327°37'42"	0,034 sec	0,004 sec	0,166
	<b>ΔHt.</b>	16,125 m	0,019 m	-0,015 m	-1,426

	<b>Ellip Dist.</b>	31490,773 m	0,005 m	0,001 m	0,201
<a href="#">Kirk --&gt; Salo (PV10)</a>	<b>Az.</b>	291°28'58"	0,018 sec	-0,003 sec	-0,237
	<b>ΔHt.</b>	-6,240 m	0,029 m	0,019 m	1,373
	<b>Ellip Dist.</b>	77967,613 m	0,007 m	0,001 m	0,255

## Covariance Terms

From Point	To Point		Com-ponents	A-posteriori Error	Horiz. Pre- cision (Ratio)	3D Pre- cision (Ratio)
<a href="#">Hyvi</a>	<a href="#">90M6145</a>	<b>Az.</b>	233°56'55"	0,019 sec	1 : 10691260	1 : 10668920
		<b>ΔHt.</b>	-88,693 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	-89,682 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	48877,783 m	0,005 m		
<a href="#">Kirk</a>	<a href="#">90M6145</a>	<b>Az.</b>	327°37'42"	0,030 sec	1 : 6825145	1 : 6834942
		<b>ΔHt.</b>	16,131 m	0,015 m		
		<b>ΔElev.</b>	15,215 m	0,015 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	31490,775 m	0,005 m		
<a href="#">Kirk</a>	<a href="#">Salo</a>	<b>Az.</b>	291°28'58"	0,000 sec	1 : 0	1 : 0
		<b>ΔHt.</b>	-6,237 m	0,000 m		
		<b>ΔElev.</b>	-7,279 m	0,000 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	77967,618 m	0,000 m		
<a href="#">Salo</a>	<a href="#">90M6145</a>	<b>Az.</b>	90°52'12"	0,017 sec	1 : 12407772	1 : 12396771
		<b>ΔHt.</b>	22,368 m	0,015 m		

		<b>ΔElev.</b>	22,494 m	0,015 m
		<b>Ellip Dist.</b>	55724,672 m	0,004 m

Date: 18.9.2015 16:12:32	Project: Z:\Kouluhom- mat\oppari\uudet projek- tit\trimnet-lohja.vce	Trimble Business Center
--------------------------	--	-------------------------

Trimnetin Salo-piste:

Project Information		Coordinate System	
Name:	Z:\Kouluhommat\oppari\uudet projektit\trimnet-salo.vce	Name:	Finland ETRS
Size:	243 KB	Datum:	ETRF89
Modified:	15.9.2015 17:22:05 (UTC:3)	Zone:	ETRS-TM35FIN
Time zone:	FLE Standard Time	Geoid:	FIN2000
Reference number:		Vertical datum:	
Description:			

## Network Adjustment Report

### Adjustment Settings

#### Set-Up Errors

##### GNSS

**Error in Height of Antenna:** 0,005 m

**Centering Error:** 0,002 m

#### Covariance Display

##### Horizontal:

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

##### Three-Dimensional

**Propagated Linear Error [E]:** U.S.

**Constant Term [C]:** 0,000 m

**Scale on Linear Error [S]:** 1,960

### Adjustment Statistics

**Number of Iterations for Successful Adjustment:** 2

**Network Reference Factor:** 1,00

**Chi Square Test (95%):** Passed

**Precision Confidence Level:** 95%

**Degrees of Freedom:** 11

## Post Processed Vector Statistics

Reference Factor: 1,00  
 Redundancy Number: 11,00  
 A Priori Scalar: 1,54

## Control Point Constraints

Point ID	Type	East $\sigma$ (Meter)	North $\sigma$ (Meter)	Height $\sigma$ (Meter)	Elevation $\sigma$ (Meter)
<a href="#">Hank</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">Rais</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
<a href="#">Salo</a>	Global	Fixed	Fixed	Fixed	
Fixed = 0,000001(Meter)					

## Adjusted Grid Coordinates

Point ID	Easting (Meter)	Eas- ting Er- ror (Meter)	Northing (Meter)	Nort- hing Er- ror (Meter)	Eleva- tion (Me- ter)	Eleva- tion Er- ror (Meter)	Constrain t
<a href="#">89M3906</a>	272299,157	0,004	6679075,999	0,005	11,108	0,016	
<a href="#">Hank</a>	275338,483	?	6639447,739	?	20,330	?	LLh
<a href="#">Rais</a>	234698,704	?	6714483,160	?	49,090	?	LLh
<a href="#">Salo</a>	286570,159	?	6700253,087	?	20,057	?	LLh

## Adjusted Geodetic Coordinates

Point ID	Latitude	Longitude	Height (Me- ter)	Height Er- ror (Meter)	Constraint
<a href="#">89M3906</a>	N60°11'05,23460"	E22°53'34,84606"	30,850	0,016	



<a href="#">Hank</a>	N59°49'53,47324"	E22°59'27,36908"	40,134	?	LLh
<a href="#">Rais</a>	N60°28'43,98516"	E22°10'14,62159"	68,752	?	LLh
<a href="#">Salo</a>	N60°22'55,97839"	E23°07'38,32443"	39,724	?	LLh

## Adjusted ECEF Coordinates

Point ID	X (Meter)	X Error (Meter)	Y (Meter)	Y Error (Meter)	Z (Meter)	Z Error (Meter)	3D Error (Meter)	Constraint
<a href="#">89M3906</a>	2928851,410	0,009	1236774,390	0,005	5510769,068	0,014	0,017	
<a href="#">Hank</a>	2958118,172	?	1255094,414	?	5491102,714	?	?	LLh
<a href="#">Rais</a>	2917859,594	?	1189017,843	?	5527021,340	?	?	LLh
<a href="#">Salo</a>	2906204,564	?	1241239,030	?	5521680,909	?	?	LLh

## Error Ellipse Components

Point ID	Semi-major axis (Meter)	Semi-minor axis (Meter)	Azimuth
<a href="#">89M3906</a>	0,006	0,005	11°

## Adjusted GPS Observations

### Transformation Parameters

<b>Deflection in Latitude:</b>	0,050 sec (95%)	0,103 sec
<b>Deflection in Longitude:</b>	-0,226 sec (95%)	0,107 sec
<b>Azimuth Rotation:</b>	0,003 sec (95%)	0,021 sec
<b>Scale Factor:</b>	1,00000003 (95%)	0,00000010

Observation ID		Observation	A-posteriori Error	Residual	Standardized Residual
<a href="#">Salo --&gt; 89M3906 (PV12)</a>	<b>Az.</b>	210°36'39"	0,042 sec	-0,042 sec	-1,248
	<b>ΔHt.</b>	-8,854 m	0,022 m	-0,022 m	-2,019
	<b>Ellip Dist.</b>	25531,832 m	0,006 m	0,006 m	1,269
<a href="#">Hank --&gt; 89M3906 (PV1)</a>	<b>Az.</b>	352°08'26"	0,031 sec	-0,013 sec	-0,617
	<b>ΔHt.</b>	-9,288 m	0,025 m	0,032 m	1,823
	<b>Ellip Dist.</b>	39735,620 m	0,006 m	0,004 m	0,806
<a href="#">Hank --&gt; 89M3906 (PV7)</a>	<b>Az.</b>	352°08'26"	0,031 sec	0,003 sec	0,157
	<b>ΔHt.</b>	-9,288 m	0,025 m	-0,016 m	-1,796
	<b>Ellip Dist.</b>	39735,620 m	0,006 m	0,000 m	-0,092
<a href="#">Salo --&gt; Rais (PV10)</a>	<b>Az.</b>	281°58'14"	0,021 sec	0,012 sec	0,717
	<b>ΔHt.</b>	29,083 m	0,025 m	0,009 m	1,148
	<b>Ellip Dist.</b>	53771,547 m	0,006 m	-0,002 m	-0,437

<a href="#">Salo --&gt; 89M3906 (PV6)</a>	<b>Az.</b>	210°36'39"	0,042 sec	0,010 sec	0,291
	<b>ΔHt.</b>	-8,854 m	0,022 m	0,020 m	1,132
	<b>Ellip Dist.</b>	25531,832 m	0,006 m	-0,004 m	-0,771
<a href="#">Rais --&gt; 89M3906 (PV3)</a>	<b>Az.</b>	129°04'51"	0,029 sec	0,003 sec	0,157
	<b>ΔHt.</b>	-37,938 m	0,028 m	0,018 m	1,130
	<b>Ellip Dist.</b>	51629,599 m	0,007 m	-0,001 m	-0,266

## Covariance Terms

From Point	To Point		Com- ponents	A-posteriori Error	Horiz. Pre- cision (Ratio)	3D Pre- cision (Ratio)
<a href="#">Hank</a>	<a href="#">89M3906</a>	<b>Az.</b>	352°08'26"	0,023 sec	1 : 7935653	1 : 7972835
		<b>ΔHt.</b>	-9,284 m	0,016 m		
		<b>ΔElev.</b>	-9,222 m	0,016 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	39735,621 m	0,005 m		
<a href="#">Rais</a>	<a href="#">89M3906</a>	<b>Az.</b>	129°04'51"	0,019 sec	1 : 11432186	1 : 11566199
		<b>ΔHt.</b>	-37,902 m	0,016 m		
		<b>ΔElev.</b>	-37,982 m	0,016 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	51629,601 m	0,005 m		
<a href="#">Rais</a>	<a href="#">Salo</a>	<b>Az.</b>	101°08'19"	0,000 sec	1 : 0	1 : 0
		<b>ΔHt.</b>	-29,028 m	0,000 m		
		<b>ΔElev.</b>	-29,033 m	0,000 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	53771,549 m	0,000 m		

<a href="#">Salo</a>	<a href="#">89M3906</a>	<b>Az.</b>	210°36'39"	0,036 sec	1 : 5169254	1 : 5138673
		<b>ΔHt.</b>	-8,874 m	0,016 m		
		<b>ΔElev.</b>	-8,949 m	0,016 m		
		<b>Ellip Dist.</b>	25531,833 m	0,005 m		

Date: 18.9.2015 15:13:10	Project: Z:\Kouluhom- mat\oppari\uudet projek- tit\trimnet-salo.vce	Trimble Business Center
--------------------------	---	-------------------------