

OPINNÄYTETYÖ

Toni Arpi & Miika Jaakola 2013

**ETRS89-JÄRJESTELMÄÄN SIIRTYMINEN
ROVANIEMELLÄ**



**Rovaniemen
ammattikorkeakoulu**
University of Applied Sciences
LUC

MAANMITTAUSTEKNIikka

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA
Maanmittaustekniikka

Opinnäytetyö

**ETRS89-JÄRJESTELMÄÄN SIIRTYMINEN ROVANIE-
MELLÄ**

Toni Arpi & Miika Jaakola

2013

Toimeksiantaja Rovaniemen kaupunki

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty _____ 2013 _____

| | | | |
|----------------------------|--|-------|------|
| Tekijä | Toni Arpi & Miika Jaakola | Vuosi | 2013 |
| Toimeksiantaja | Rovaniemen kaupunki | | |
| Työn nimi | ETRS89- järjestelmään siirtyminen Rovaniemellä | | |
| Sivu- ja liitemäärä | 34 | | |

Tämä opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä Rovaniemen kaupungin kanssa. Työssä käsitellään Rovaniemen kaupungin siirtymistä Kartastokoordinaattijärjestelmästä ETRS89 järjestelmään. Työn tavoitteena on luoda yhtenäinen kuva koordinaattimuunnoksesta ja suunnitella mittausjärjestys käytettäväksi staattisessa mittauksessa, jonka mukaan mittaustöiden suorittaja voi halutessaan toimia.

Rovaniemen kaupunki on päättänyt siirtyä yleiseurooppalaiseen yhtenäiseen ETRS89-järjestelmään. Muunnostyö suoritetaan mittaamalla vanhaa runkopis-
teverkkoa uusiksi ja määrittämällä mittausten perusteella tarvittavat muunnos-
parametrit. Muunnosprosessi tehdään pääosin yhteistyössä ulkoisten toimijoi-
den kanssa.

Pääpiirteittäin työ koostuu kahdesta osiosta. Ensimmäisessä osiossa käsitel-
lään eri koordinaattijärjestelmiä ja koordinaattimuunnosta sekä niihin liittyviä
erityispiirteitä yleisellä tasolla. Toisessa osiossa käydään läpi tarkemmin Rova-
niemen kaupungin koordinaattimuunnosta sekä runkomittaussuunnitelman te-
kemistä.

| | | | |
|--------------------------|--|------|------|
| Authors | Toni Arpi & Miika Jaakola | Year | 2013 |
| Commissioned by | Town of Rovaniemi | | |
| Subject of thesis | Introduction of ETRS89 System in Rovaniemi | | |
| Number of pages | 34 | | |

This thesis was commissioned by the town of Rovaniemi. The purpose of this thesis was to discuss the coordinate conversion from the old KKJ coordinate system into the new ETRS89 coordinate system in Rovaniemi. The Goal of this thesis was to create consistent work from coordinate conversion and to plan survey order which can be used in static survey.

The town of Rovaniemi has decided to switch into the European ETRS89 coordinate system. The coordinate conversion was conducted by surveying the old control point frame and the conversion parameters were determined based on the control point surveying. The coordinate conversion process was carried out mostly in cooperation with the subcontractors.

The thesis report consists of two sections. The first part of the thesis dealt with the coordinate systems and the coordinate conversion at a general level. The Second section discussed the coordinate conversion in Rovaniemi and making of the control point surveying plan.

Key words

Coordinate conversion, ETRS89, static survey

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 RUNKOMITTAUKSEN HISTORIA SUOMESSA | 3 |
| 2.1 Mittaustoiminnan alkutaipaleet ja Pierre Louis Moreau de Maupertuis..... | 3 |
| 2.2 Struven ketju | 4 |
| 2.3 Kolmiomittaus..... | 5 |
| 3 KARTTAPROJEKTIOT | 8 |
| 3.1 Yleistä karttaprojektioista..... | 8 |
| 3.2 Projektoiden luokittelu | 9 |
| 3.2.1 Tasoprojektio | 10 |
| 3.2.2 Lieriöprojektio | 10 |
| 3.2.3 Kartioprojektio..... | 10 |
| 3.3 Mercatorin projektio..... | 10 |
| 3.4 Gauss – Kruger ja UTM..... | 11 |
| 4 KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT | 12 |
| 4.1 Yleistä koordinaattijärjestelmistä | 12 |
| 4.2 WGS84 | 12 |
| 4.3 Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) ja ED50 | 13 |
| 4.4 ETRS89 ja EUREF – FIN | 14 |
| 5 RUNKOMITTAUKSET | 16 |
| 5.1 Runkomittausten tarkoitus | 16 |
| 5.2 Staattinen suhteellinen satelliittimittaus | 16 |
| 5.3 GPS – runkomittaukset ja niiden suunnittelu | 17 |
| 6 MITTAUSSUUNNITELMA ROVANIEMEN KAUPUNGILLE | 20 |
| 6.1 Lähtötilanne..... | 20 |
| 6.2 Muutoksen syyt ja ETRS89 – järjestelmän edut | 20 |
| 6.3 Mittaussuunnitelman tekeminen | 21 |
| 6.4 Yhteenveto suunnitelman teosta | 23 |
| 7 LASKENTA..... | 25 |
| 7.1 Helmertin muunnos | 25 |

| | |
|--|----|
| 7.2 Affiiniset muunnokset | 25 |
| 7.2.1 Kolmioverkkomuunnos..... | 25 |
| 7.2.2 5- ja 6- parametriset affiiniset muunnokset..... | 26 |
| 8 ROVANIEMEN KAUPUNGIN KOORDINAATTIMUUNNOS | 27 |
| 8.1 Alkutilanne muunnokselle..... | 27 |
| 8.2 Valtakunnalliset EUREF – pisteet muunnoksessa | 27 |
| 8.3 Koordinaattimuunnosta varten mitattujen pisteiden muunnokset | 29 |
| 8.4 Alueen affiiniset muunnokset..... | 29 |
| 8.5 Helmert yhdenmuotoisuusmuunnos Rovaniemellä | 30 |
| 8.6 Lopullisen muunnosmallin valinta | 31 |
| 9 LOPPUPOHDINTA | 33 |

TAULUKKO- JA KUVIOLUETTELO

| | |
|---|----|
| Kuvio 1. Struven ketju..... | 5 |
| Kuvio 2. Kuvitteellinen kolmioverkko jossa äärivasemmalla lähtökolmio, jonka mitattu sivu on kuvattu mustalla viivalla. Äärioikealla punainen viiva, joka kuvaa virheiden kontrolloimiseksi mitattua kolmion sivua..... | 6 |
| Kuvio 3. Havainnekuva taso-, kartio- ja lieriöprojektioista sivuavana sekä leikkaavana projektiona. Kuvaan on korostettu punaisella värillä maapallon pintaa pitkin kulkevat kohdat, joissa projektion projektiokerroin on yksi..... | 9 |
| Kuvio 4. Esimerkki yhdestä mittausjaksosta. Käytössä kuusi vastaanotinta, joten riippumattomia vektoreita on mahdollista mitata 5 kappaletta. Oikean puoleiset vektorit ovat triviaalivektoreita, jotka sulkevat kuvion. Niitä ei voida huomioida kyseisessä havaintojaksossa vaan ne täytyy mitata eri sessiossa..... | 18 |
| Kuvio 5. Vasemman puoleisessa kartassa kuvataan KKJ-järjestelmän vääristymiä verrattaessa tarkkoihin GPS-mittauksiin. Oikean puoleisesta kartasta käy ilmi kolmioverkkomuunnoksessa käytettävien kolmioiden sijainti..... | 26 |
| Kuvio 6. Kuvassa on esitetty Helmert – muunnoksen jäännösvirhevektorit. Sinisellä kuvassa näkyvät vektorit, ovat kesällä 2012 koordinaattimuunnosta varten mitattujen pisteiden jäännösvirhevektorit ja vihreällä MML:n rekisteristä inventoitujen pisteiden jäännösvirhevektorit. Vektoreiden pituudet esitetään millimetreinä..... | 28 |
| Taulukko 1. Ote mittausjärjestyksen excel – taulukosta 10 ensimmäisen mittausjakson osalta. Taulukosta selviää jokaisen vastaanottimen sijainti kunkin mittausjakson aikana..... | 23 |
| Taulukko 2. Alustavan laskennan perusteella muunnosparametrien laskennasta hylätyt 7 pistettä. Pisteistä taulukon 4 ylintä hylättiin numerointivirheen vuoksi ja 3 alinta liiallisen karkean virheen vuoksi..... | 29 |
| Taulukko 3. 5- ja 6- parametrinen muunnosten laskentatuloksista. Tuloksista voidaan todeta koordinaattiakseleiden mittakaavakertoimien olevan identtiset molempien muunnosten kesken. Laskentatavasta johtuen 6-parametrisessä muunnoksessa koordinaatiston kierto poikkeaa hieman 5-parametrisen tuloksista, koska 5-parametrisessä muunnoksessa koordinaattiakseleiden välinen kulma oletetaan suorakulmaiseksi. Muunnoksen keskivirhe M_0 , kuvaa muunnoksen sopivuutta vanhaan järjestelmään... | 30 |
| Taulukko 4. Kaupungin lopullisen muunnoksen tuloksista laskettuna KKJ3- järjestelmästä GK27- järjestelmään, sekä GK27- järjestelmästä KKJ3- järjestelmään siirtymisen..... | 31 |

KÄSITE- JA LYHENNELUETTELO

ETRS89: European Terrestrial Reference System 1989. Maailmanlaajuisen ITRS -koordinaattijärjestelmän eurooppalainen realisaatio.

Kolmiomittaus: Kulmahavaintoihin perustuva mittaustapa.

KKJ: Kartastokoordinaattijärjestelmä. Kolmiomittauksiin perustuva Suomessa yleisesti käytössä ollut koordinaattijärjestelmä.

EUREF-FIN: ETRS89-järjestelmän Suomalainen realisaatio.

Runkomittaus: Mittaus, jossa alueelle luodaan kiinteistä pisteistä muodostuva pisteistö, joiden koordinaatit tunnetaan tietyssä koordinaattijärjestelmässä.

Staatinnen suhteellinen satelliittimittaus: Mittausmenetelmä, jolla määritetään yhden tai useamman pisteen sijainti tunnetun pisteen suhteen, käyttäen samanaikaisesti kahden tai useampaan satelliitivastaanotinta.

Helmertin muunnos: Koordinaattimuunnoksissa yleisesti käytetty lineaarinen yhdenmuotoisuusmuunnos, joka säilyttää muunnettavien kohteiden muodon muuttumattomana.

Affiininen muunnos: Koordinaattimuunnoksissa käytetty muunnosmalli, jolla voidaan vaikuttaa mm. koordinaattiakseleiden välisiin kulmiin sekä koordinaattiakseleiden mitakaavaan.

1 JOHDANTO

Tekniikan nopea kehitys viime vuosikymmeninä on vaikuttanut merkittävästi myös maanmittausalan toimintaan. Mittauslaitteiden kehittyminen on johtanut mittaustarkkuuksien paranemiseen ja samalla vaikuttanut myös vaatimusten kiristymiseen. Nykypäivän mittaustekniikoilla päästään jo sellaisiin tarkkuuksiin, että on mahdollista luoda jopa globaaleja senttimetritarkkoja koordinaatioita. Yhtenäisten koordinaatioiden avulla mahdollistetaan mm. helpompi ja nopeampi tiedonsiirto eri organisaatioiden välillä.

Tämän seurauksena on pystytty luomaan maailmanlaajuinen ITRS-koordinaatio, johon kuuluu myös Suomessa yleistynyt ETRS89-järjestelmä. Mannerlaattojen liikkumisen vuoksi ITRS-koordinaation tarkkuus ei ole riittävä käytännön mittaustöissä, joten mannerlaattojen deformaatioon osiin on perustettu tarkempia järjestelmiä, jotka yhtyvät ITRS-koordinaatioon tietyllä ajanhetkellä. ETRS89-järjestelmä on siis ITRS-koordinaation realisaatio, joka on muodostettu Euraasian mannerlaatan liikkumattomaan osaan.

Suomessa ETRS89-järjestelmä on jo otettu käyttöön monissa kunnissa ja organisaatioissa. Mm. Maanmittauslaitos siirtyi kyseisen järjestelmän käyttöön jo vuonna 2010. Maanmittauslaitoksen tuen loppuminen vieläkin laajasti käytössä olevalle Kartastokoordinaattijärjestelmälle vuoden 2012 lopussa on osaltaan vauhdittanut kuntien siirtymistä uuteen järjestelmään. Kartastokoordinaattijärjestelmä alkaa olla jo liian epätarkka nykyisiin vaatimuksiin ja etenkin laajemmilla alueilla virheet ovat huomattavia.

Myös Rovaniemen kaupunki on päättänyt luopua vanhasta KKJ:stä ja siirtyä ETRS89-järjestelmän käyttöön. Rovaniemellä muunnostyöhön omat haasteensa aiheuttavat pinta-alaltaan laaja alue sekä alueen epähomogeeniset vääristymät vanhassa järjestelmässä. Koordinaattijärjestelmän muutos voidaan suorittaa joko pelkästään laskennallisesti tai määrittämällä mittausten avulla muutokseen tarvittavat muunnosparametrit. Rovaniemen kaupunki on päättänyt suorittaa muutoksen mittaamalla kaupungin runkopisteverkkoa uusiksi ja määrittää sen avulla muunnoskertoimet. Tässä työssä käsitellään yleisesti koordinaattimuunnokseen liittyviä asioita sekä perehdytään hieman tarkemmin runkomittausten suorittamiseen. Työhön liittyen tehtiin myös mittaussuunnitelma Rova-

niemen kaupungille, jonka mukaan mittautöiden suorittaja voi halutessaan toimia.

2 RUNKOMITTAUKSEN HISTORIA SUOMESSA

2.1 Mittaustoiminnan alkutaipaleet ja Pierre Louis Moreau de Maupertuis

Vuosisatojen ajan maapallon muodon ja koon hahmottaminen on innoittanut ihmistä ryhtymään mitä merkittävimpiin hankkeisiin, jotka ovat muokanneet aikalaistensa maailmankuvaa ja auttaneet heitä paremmin ymmärtämään ympärillään tapahtuvia ilmiöitä. Vuosisatojen saatossa näistä puhtaasti tieteen tutkimuksen tarkoituksiin suoritetuista mittauksista on vähitellen siirrytty kartoitusta ja vähitellen koko nykyaikaista infrastruktuuria palveleviin mittauksiin. Samalla mittausvälineet ovat kehittyneet varhaisista kulmahavaintokojeista ja matkojen mittauksiin käytetyistä mekaanisista mittausmenetelmistä elektro-optisen matkanmittauksen kautta satelliittipaikannukseen perustuvaan paikanmääritykseen. Samalla myös kulmahavaintoihin ja perusviivojen pituuksiin perustuva kolmiomittaus on pääosin siirtynyt historiaan satelliittimittauksessa käytettävien mittausmenetelmien tieltä.

Maanmittauksen historia Suomessa yltää aina 1700-luvulle, jolloin Ranskan tiedeakatemia lähetti kaksi retkikuntaa eri puolille maapalloa, tehtävänä selvittää onko maapallo navoiltaan litistynyt. Toinen retkikunta suuntasi Peruun ja toinen Suomeen, tarkemmin sanottuna Torniojokilaaksoon. Tuohon aikaan tiedemaailmaa askarrutti kysymys maapallon todellisesta muodosta, aiheesta esitettyjen näkemysten mukaan maapallo oli mm. pyöreä, navoiltaan litistynyt tai navoiltaan pullistunut. Retkikuntien tuli määrittää tähtitiellisin ja geodeettisin keinoin yhden asteen meridiaanikaaren pituus. Koska toinen retkikunta suoritti tarvittavat mittaukset Perussa, lähellä päiväntasaajaa ja toinen retkikunta Torniojokilaaksossa lähellä napapiiriä, voitiin mittaustuloksista päätellä maapallon todellinen muoto. (Niemelä 1998, 16-17)

Suomeen matkustanutta retkikuntaa johti ranskalainen matemaatikko ja tähtitieteilijä Pierre Louis Moreau de Maupertuis. Retkikunta saapui Tornioon kesäkuussa 1736, missä sijaitsi myös kolmioverkon eteläisin piste. Talven aikana Torniojoen jäälle mitattiin 14 kilometriä pitkä perusviiva, joka antoi kolmioverkon mittakaavan. Perusviivan pituus määritettiin kahteen kertaan ja mittaustulosten erotukseksi muodostui ainoastaan 100mm. Kesän 1737 aikana saatiin mitattua kolmioverkko Torniossa sijaitsevan kirkon tornista Pellon Kittisvaaraan. Retkikuntien mittauksen perusteella voitiin todeta newtonilainen teoria maapallon na-

pojen litistyneisyydestä oikeaksi. Näihin mittauksiin perustuu myös nykyisin laajalti käytössä oleva metrin mitta, joka on yksi kymmenesmiljoonasosa navan ja päiväntasaajan välimatkasta. (Niemelä 1998, 16-17)

2.2 Struven ketju

Noin sata vuotta myöhemmin, silloisen Ruotsin, nykyisen Suomen alueella tutkittiin jälleen maapallon muotoa kolmiomittauksen avulla. Tällä kertaa tutkimusta johti Tarton observatorion professori Friedrich Georg Wilhelm Struve. Struve määrätti ketjun joka ylettyi Jäämeren rannalta, yli 2820 kilometrin matkan aina, Mustan meren rannalle asti. Kolmioverkko kulki yli 25 meridiaaniasteen matkan. Mittauksella määritettiin Maupertuisin mittauksia tarkemmin maapallon muoto ja todellinen koko. Verkko koostui 258 kolmiosta ja 265 pisteestä. Mittaustyö kesti aina vuodesta 1816 vuoteen 1855 ja ketju oli aikanaan ensimmäinen yhtenäinen meridiaanin mittausketju, joka ylitti myös valtioiden rajoja. Vuonna 2005 Struven ketju hyväksyttiin merkittävänä tieteellisenä saavutuksena UNESCO:n maailmanperintöluetteloon. (Rantatupa, Teeriaho 2011, 73; Unesco 2005, 8, 38-39)

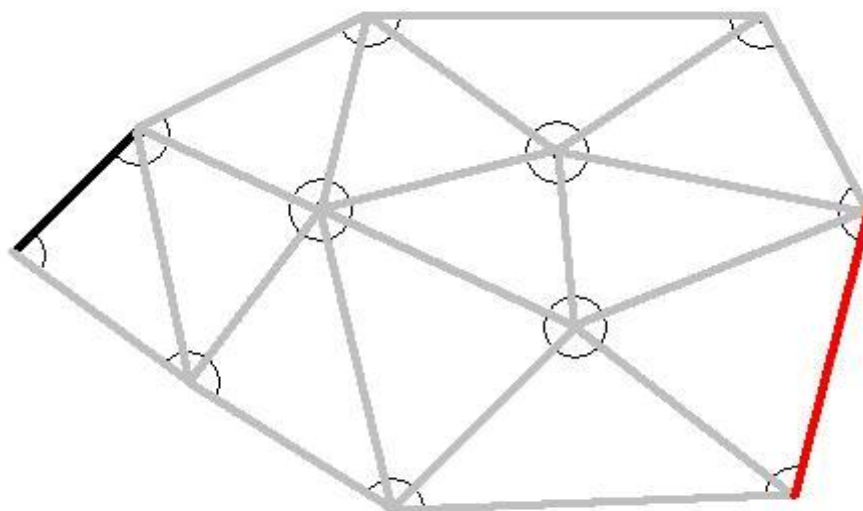


Kuvio 1. Struven ketju (Unesco 2005, 20)

2.3 Kolmiomittaus

Kolmiomittaus perustuu kolmion kahden kulman ja yhden sivun pituuden tuntemiseen. Kolmio josta tunnetaan vähintään yksi sivu ja kaksi kulmaa, on yksikäsitteisesti määrätty eli määräinen kolmio. Tällaisesta kolmiosta voidaan ratkaista

tuntemattomat sivut ja kulmat kulmien summakaavan ja sini- ja kosinilauseiden avulla. Kun ensimmäisestä mitattavasta kolmiosta mitataan kaikki kolme kulmaa sekä yksi sivu, voidaan tästä eteenpäin mittauksissa edetä pelkkien kulmahavaintojen ja laskettujen kolmion sivujen avulla. Vaikka kaikkien kolmion kulmien mittaaminen ei olekaan välttämätöntä, on se erinomainen tapa eliminoida mahdolliset mittausvirheet kulmamittauksista laskemalla yhteen kaikki mitattua kulmaa, jos kulmien yhteenlaskettu summa ei ole 180° , on jossain vaiheessa kulmamittausta tapahtunut virhe. Virheiden mahdollisuutta voidaan sulkea pois myös mittaamalla verkon välille kolmion sivuja ja vertaamalla niitä kulmahavainnoista laskettuihin pituuksiin. (Laurila 2008, 41)



Kuvio 2. Kuvitteellinen kolmioverkko jossa äärivasemmalla lähtökolmio, jonka mitattu sivu on kuvattu mustalla viivalla. Äärioikealla punainen viiva, joka kuvaa virheiden kontrolloimiseksi mitattua kolmion sivua.

Maupertuisin ja Struven mitaamat kolmioverkot palvelivat lähinnä tieteellisiä tarkoituksia, eikä maastossa säilyneillä kolmioverkon pisteillä ollut käytännön käyttökohteita ja aluksi pisteiden väliset korkeuskulmat mitattiin muiden havaintojen redukoimiseksi. 1800-luvun alussa tiedetään venäläisten merialueiden kartoittajien mitanneen kolmioverkkoa myös Suomen alueella kartoitustyönsä tueksi. Tämä on tiettävästi ensimmäinen kerta, kun Suomen alueella hyödynnettiin kolmiomittausta kartoituksen tarpeisiin. 1800-luvun lopulla myös topografit käyttivät hyväksi kolmiomittausta karttojensa pohjana. Näin myös kolmiopisteiden välisille korkeusmittauksille saatiin kartoitusta palveleva käyttötarkoitus. (Rantatupa, Teeriaho 2011, 73.)

Suomen itsenäistymisen jälkeen Maanmittaushallitus aloitti maassa systemaattiset kolmiomittaukset. 1918 vuonna perustettu Geodeettinen laitos sai tehtäväkseen mitata kolmioverkon ns. perusverkon, eli I-luokan runkopisteet, joiden avulla Maanmittaushallitus tihensi verkkoa II-luokan tornipisteillä sekä puunlatvamerkeillä. 1930-luvulla Maanmittaushallitus tihensi vielä Geodeettisen laitoksen I-luokan ketjujen väliin jääviä pisteitä ensin pääluokan pisteillä, josta verkkoa tihennettiin vielä II-luokan pisteillä. Maaston ja erityisesti puuston takia merkittävä osa pisteistä jouduttiin mittaamaan mittaustorneja käyttäen. Näihin kyseisiin mittauksiin perustui myös Suomen ensimmäiset koordinaattijärjestelmät, joita käsitellään yksityiskohtaisemmin kappaleessa 4.3. (Rantatupa, Teeriaho 2011, 75.)

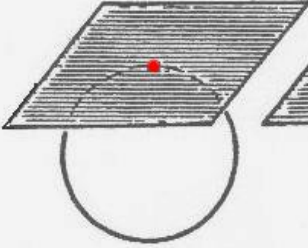
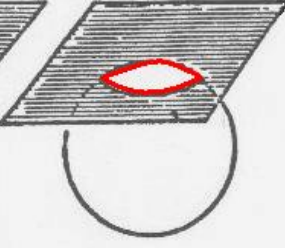
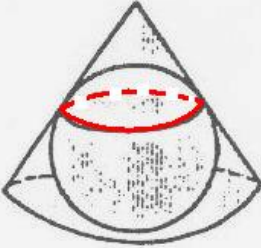
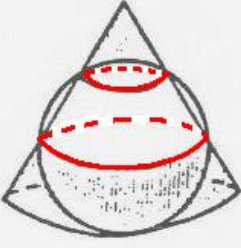
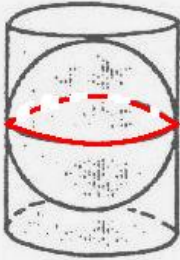
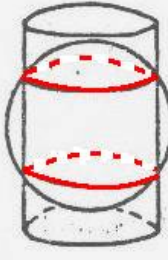
3 KARTTAPROJEKTIOT

3.1 Yleistä karttaprojektioista

Kolmiulotteisen ja pallomaisen maailman projisointi kaksiulotteiselle tasopinnalle ei ole mahdollista ilman vääristymiä. Näiden ominaisuuksien vuoksi maapallon tasokuvaamiseen tarvitaan avuksi projektioita, joilla osa vääristymistä voidaan eliminoida. Kaikkia virheitä ei kuitenkaan voida poistaa kerralla, joten projektiotyyppi valitaan käyttötarkoituksen mukaan.

Kartan vääristymiin vaikuttaa myös tapa, miten se asettuu maapallon pinnalle. Sivuavassa projektiossa kartta asettuu suoraan maapallon pinnalle, kuitenkin leikkaamatta sitä eli se voi olla joko maapallon tangenttitaso tai sivuta maapallon sivuamisympyrää. Tästä johtuen esimerkiksi sivuavassa lieriöprojektiossa mittakaavakerroin on yksi ainoastaan keskimeridiaanin kohdalla, joten siirryttäessä keskimeridiaanilta poispäin mittakaavakerroin kasvaa. (Laurila 2012, 146.)

Leikkaavassa projektiossa karttataso sananmukaisesti leikkaa maapallon pinnan, jolloin kartalle muodostuu kaksi meridiaania, joiden kohdalla mittakaavakerroin on yksi. Karttakuva on vääristynyt keskimeridiaanin kohdalta sekä reunoiltaan, joten kartan keskimääräinen mittakaavakerroin voi olla hyvin lähellä yhtä. (Laurila 2012, 146; Häkli ym. 2009, 8.)

| | PERUSASENTOINEN | |
|----------------------|--|---|
| | Sivuava | Leikkaava |
| TASO- PROJEKTIO |  |  |
| KARTIO- PROJEKTIO |  |  |
| LIERIÖ- PROJEKTIO |  |  |

Kuvio 3. Havainnekuva taso-, kartio- ja lieriöprojektiosta sivuavana sekä leikkaavana projektiona. Kuvaan on korostettu punaisella värillä maapallon pintaa pitkin kulkevat kohdat, joissa projektion projektiokerroin on yksi. Alkuperäinen kuva (Heinonen 1987, s. 35.)

3.2 Projektioiden luokittelu

Projektiosta riippuen on mahdollista saada joko oikeapintainen, oikeapituinen tai oikeakulmainen kartta. Karttaprojektiot luokitellaan niiden projektiopinnan mukaan. Yleisimmät projektiotyypit ovat taso-, lieriö- ja kartioprosjektio. Lieriö- ja kartioprosjektiot voidaan levittää tasoksi aukaisemalla ne pituussuunnassa, kun taas tasoprosjektio kuvataan tasoksi analyttisesti. Kaikki mainitut projektiot voivat esitystavasta riippuen olla joko oikeakulmaisia tai oikeapintaisia. Kuitenkaan ei ole mahdollista esittää kumpaakin ominaisuutta samassa projisoinnissa, joten vain toinen voi olla kerrallaan voimassa. Myöskään oikeapituiset projektiot eivät voi koko projektiotilueella olla oikeapituisia. (Laurila 2012, 145-146; Häkli ym. 2009, 7.)

3.2.1 Tasoprojektio

Tasoprojektio on projektioista yksinkertaisin, jossa tangenttitaso asetetaan haluttuun kohtaan ellipsoidin pinnalla ja projisoidaan pinnan pisteet tasolle. Tällaista projektiota kutsutaan myös atsimutaaliseksi projektioksi. Sivuavassa tasoprojektiossa kohtaan, jossa tangenttitaso sivuaa ellipsoidin pintaa, syntyy piste, jossa projektiokerroin on yksi. Mitä kauemmaksi tästä pisteestä siirrytään projektiotasolla, sitä suuremmaksi myös projektiokerroin kasvaa. Leikkaavassa tasoprojektiossa kohtaan, jossa projektiotaso leikkaa ellipsoidin pinnan, syntyy soikio, jonka alueella projektiokerroin on yksi. Liikuttaessa projektiotasolla lähemmäs soikion keskustaa pienenee projektiokerroin ja vastaavasti liikuttaessa pois päin soikiosta suurenee projektiokerroin. (Poutanen 1999, 248.)

3.2.2 Lieriöprojektio

Lieriöprojektiossa kartan kuva muodostetaan lieriöpinnalle. Sivuavassa lieriöprojektiossa kartalle muodostuu yksi jana, jonka kohdalla kartan projektiokerroin on yksi, liikuttaessa janalta pois päin kasvaa kartan projektiokerroin suhteessa siirryttyyn matkaan. Leikkaavassa lieriöprojektiossa kartalle muodostuu kaksi janaa, joiden kohdalla projektiokerroin on yksi ja janojen väliin muodostuvalla alueella projektiokerroin on alle yksi, vastaavasti janojen ulkopuolisella alueella projektiokerroin kasvaa suhteessa janoilta pois päin liikuttuun matkaan. (Poutanen 1999, 249.)

3.2.3 Kartioprojektio

Kartioprojektiossa maapallon pinta projisoidaan kartion pinnalle. Sivuavassa kartioprojektiossa kartalle syntyy yksi ympyrä, jonka alueella kartan projektiokerroin on yksi, ympyrän sisäpuolelle ja ulkopuolelle muodostuvilla alueilla projektiokerroin kasvaa. Leikkaavassa kartioprojektiossa kartalle syntyy kaksi erikokoista ympyrää, joiden molempien kaarella projektiokerroin on yksi, ympyränkaarien väliin jäävällä alueella projektiokerroin pienenee ja vastaavasti ympyränkaarien ulkopuolella projektiokerroin suurenee. (Poutanen 1998, 249.)

3.3 Mercatorin projektio

Hollantilaiselta Gerhard Mercatorilta nimensä saanut Mercatorin projektio on paljon käytetty, ja se liittyy läheisesti myös suomalaisiin koordinaatistoihin. Mer-

catorin projektio on oikeakulmainen lieriöprojektio, jota hyödynnetään paljon mm. merenkulussa.

Perusasentoiseen Mercatorin projektioon perustuvissa kartoissa kaartoviiva eli loksodromi on piirretty suorana viivana, ja se leikkaa maapallon pituuspiirit kartalla samassa kulmassa kuin todellisuudessaakin. Näin ollen kartoista on helppo määrittellä esimerkiksi laivan kulkusuunta. Perusasentoisessa Mercatorin projektiossa projektiopinta sivuaa maapallon pintaa leveyspiiriä pitkin eli pituuspiirit kuvautuvat tasavälein yhdensuuntaisina suorina, kun taas kohtisuorassa niihin olevien leveyspiirien välimatkat kasvavat napoja kohden mentäessä. Tästä johtuen napa-alueiden kuvaamiseen ei ole suositeltavaa käyttää perusasentoista Mercatorin projektiota, koska pinta-alat ja etäisyydet vääristyvät huomattavasti. (Laurila 2012, 149-150.)

Poikittaisasentoisessa Mercatorin projektiossa lieriön pinta sivuaa maapalloa haluttua pituuspiiriä eli keskimeridiaania pitkin. Keskimeridiaani ja päiväntasaaja ovat suoria viivoja, mutta muut pituus- ja leveyspiirit kuvautuvat kaarevina viivoina, jotka leikkaavat toisensa suorassa kulmassa. Tästä johtuen vääristymät ovat pieniä keskimeridiaanin lähellä ja kasvavat siitä pois päin mentäessä eli poikittaisasentoiset Mercatorin projektiot ovat hyödyllisiä kuvattaessa pitkiä pohjois-etelä-suuntaisia alueita. Ne ovat erityisen tärkeitä myös Suomessa, koska mm. kartastokoordinaattijärjestelmä perustuu siihen. (Laurila 2012, 151.)

3.4 Gauss – Kruger ja UTM

Gauss-Kruger ja UTM ovat tärkeitä projektioita suomalaisissa kartastotöissä. Ne ovat kumpikin poikittaisasentoisia Mercatorin projektioita ja eroavat toisistaan siinä, että Gauss-Kruger on sivuava ja UTM leikkaava lieriöprojektio. Projektioiden ominaisuuksista johtuen Gauss-Krugerin projektio on mittatarkka keskimeridiaanin kohdalla eli mittakaavakerroin on tasan 1. Vastaavasti taas UTM-projektiossa kerroin on 0.9996 eli etäisyydet ja pinta-alat kuvautuvat liian pieninä keskimeridiaanilla. Näin ollen on suositeltavaa käyttää tarkoissa mittaustöissä Gauss-Krugerin projektiota ja leveyssuunnassa tapahtuvien väärentymien pienentämiseksi käytetään alueelle parhaiten sopivaa keskimeridiaania eli kais-
taa. (Häkli ym. 2009, 7-8.)

4 KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄT

4.1 Yleistä koordinaattijärjestelmistä

Koordinaattijärjestelmällä tarkoitetaan koordinaatistoa, joka on ”kiinnitetty” maan pintaan kiinteiden pisteiden avulla, jolloin koordinaatistoa voidaan todellisuudessa käyttää apuna mittaus- ja kartastotöissä. Koordinaatistoa on kolmenlaisia: kaksiulotteisia kulmamittoja käyttäviä maantieteellisiä koordinaatistoa, ellipsoidikeskisiä kolmiulotteisia suorakulmaisia koordinaatistoa sekä kartan kaksiulotteisia suorakulmaisia koordinaatistoa. Seuraavassa käsitellään suomalaisittain tärkeimpiä järjestelmiä tarkemmin.

4.2 WGS84

WGS84 (World Geodetic System 1984) on Yhdysvaltain armeijan kehittämä maakeskinen suorakulmainen koordinaattijärjestelmä. Se on maailmanlaajuisesti tärkeä, koska se toimii GPS-järjestelmän koordinaattijärjestelmänä eli satelliittipaikantimella kiinnitytään suoraan tähän järjestelmään. Tämän vuoksi sitä tai sen eri realisaatioita käytetään kaikkialla maailmassa. Vaativimmissa mittauksissa tarkkuus ei kuitenkaan ole tällöin tarpeeksi hyvä ja sen vuoksi apuna käytetään runkopisteitä, joille tiedetään WGS84-järjestelmän tai jonkin sen realisaation koordinaatit (Laurila 2008, 147). WGS84-järjestelmän määritelmiä on vuosien varrella tarkennettu mm. havaintotekniikan kehittymisen myötä ja uusin realisaatio (G1150) on vuodelta 2001, sen koordinaatit ilmoitetaan epookissa 2001.0. WGS84 (G1150) ja se on yhtenevä kansainvälisen ITRF2000 – järjestelmän kanssa epookkina 2001.0. (Häkli ym. 2009, 20.)

WGS84-järjestelmä perustuu samannimiseen WGS84-pyörähdysellipsoidiin, joka on siis maakeskinen eli sen origo sijaitsee maan painopisteessä. WGS84-ellipsoidi on lähes täysin vastaava ellipsoidikeskisen GRS80-ellipsoidin kanssa, joten tästä johtuen GPS-havainnot muutettaessa suorakulmaisista maantieteellisiksi, voidaan käyttää kumpaakin edellä mainittua ellipsoidia (Poutanen 1999, 57.)

Koska GPS-satelliittien lähettämät ratatiedot ovat WGS84-järjestelmässä, havaintojen laskennassa voidaan käyttää ainoastaan kyseisen järjestelmän kanssa yhteensopivia koordinaatistoa. Tällaisia ovat kaikki ITRF-järjestelmään suoraan perustuvat koordinaatistot kuten ETRS89. Suomessa jatkuvasti yleistyvän

EUREF-FIN-järjestelmän koordinaatteja voidaan siis pitää lähes yhtenäisinä WGS84-koordinaattien kanssa, koska se on ETRS89:n kansallinen realisaatio. KKJ-järjestelmän koordinaatteja ei kuitenkaan voida käyttää suoraan GPS-havaintojen laskennassa, vaan ne on ensin muutettava johonkin globaaliin koordinaattijärjestelmään, jonka jälkeen koordinaatit voidaan muuttaa KKJ-järjestelmän mukaisiksi. (Häkli ym. 2009, 20.)

4.3 Kartastokoordinaattijärjestelmä (KKJ) ja ED50

Kartastokoordinaattijärjestelmä eli KKJ on valtakunnallinen suorakulmainen koordinaatisto, joka perustuu Gauss-Krugerin projektioon eli karttataso on oikaistu poikittaissuuntaista, vertausellipsoidia sivuavaa lieriötä käyttäen. Tällöin järjestelmä on oikeakulmainen. Kartastokoordinaattijärjestelmässä Suomi on jaettu kuuteen kolmen asteen levyiseen kaistaan, joissa jokaisessa on oma peruskoordinaatistonsa. Tämän tarkoituksena on minimoida etäisyys- ja mittakavavirheet, joita muodostuu, kun maapallo oikaistaan tasopinnalle. Kaista valitaan mittauspaikan mukaan ja reunimmaisista kaistoista eli kaistoista 0 ja 5 käytetään hyvin harvoin. Koko maa voidaan esittää myös yhdessä kaistassa, jolloin käytettäväksi valitaan 3. kaistan peruskoordinaatisto. Tällöin järjestelmää kutsutaan yhtenäiskoordinaatistoksi (Laurila 2012,151; 156-159.)

KKJ:n perustana on 1900-luvulla tehdyt kolmiomittaukset, joiden avulla Suomeen luotiin koko valtakunnan kattava yhtenäinen ylimmän luokan pisteverkosto (Häkli ym. 2009, 9). Kolmiomittaukset taas pohjautuvat Euroopassa 1950-luvulla tehtyyn yhteistasoitukseen, jolla Länsi-Euroopan alueelle luotiin yhtenäinen koordinaatisto. Tällöin perustettiin ED50-koordinaattijärjestelmä, jonka vertausellipsoidiksi valittiin kansainvälinen Hayfordin pyörähdysellipsoidi. Referenssiellipsoidi orientoitiin kuvaamaan parhaiten maan muotoa Euroopan alueella. Suomen ED50-järjestelmä perustuu vuonna 1966 suoritettuun kansalliseen tasoitukseen (Poutanen 1998, 55). Kolmiomittauksia suoritettiin vuosikymmenten ajan ja ne saatiin päätökseen vasta vuonna 1987. (Häkli ym. 2009, 9.)

Kartastokoordinaattijärjestelmä otettiin käyttöön Maatalousministeriön päätöksellä vuonna 1970, koska edellinen järjestelmä (Valtion vanha järjestelmä / Helsingin järjestelmä) ei vastannut enää tarpeita, ja koko Suomen kattava ylimmän luokan kolmioverkko oli tasoitettu. Maanmittaushallitus halusi uuden järjestel-

män eroavan mahdollisimman vähän edellisestä järjestelmästä, joten päätettiin luoda kokonaan uusi koordinaattijärjestelmä sen sijaan, että olisi siirrytty ED50-järjestelmään. KKJ muodostettiin muuntamalla maantieteelliset ED50-koordinaatit tasokoordinaateiksi Gauss-Krugerin projektiossa, jonka keskimeridiaani oli 27 astetta. Näin KKJ-koordinaatit erosivat vain muutamia metrejä aiemmista VVJ-koordinaateista. (Häkli ym. 2009, 17.)

4.4 ETRS89 ja EUREF – FIN

ETRS89 on yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä, joka kuuluu osaksi kansainvälistä kolmiulotteista suorakulmaista ITRS-koordinaatistoa ja sen ITRF-realisaatiota. ETRS89 on Euraasian mannerlaatan liikkumattomaan osaan sidottu suorakulmainen koordinaattijärjestelmä.

Mannerlaattojen liikkumisen vuoksi globaalit koordinaatit muuttuvat jatkuvasti toisiinsa nähden. Tämän vuoksi ITRF-järjestelmää päivitetään muutamien vuosien välein. Näin ollen ITRF-koordinaatit eivät ole tarpeeksi tarkkoja vaativimpiin mittauksiin ja niiden käyttö on hankalaa jokapäiväisissä mittauksissa, kuten kartoituksissa. Tästä johtuen on perustettu erillisiä koordinaatistoja mannerlaattojen kiinteisiin osiin, jolloin mannerlaatan sisäisen alueen koordinaatit eivät muutu suhteessa toisiinsa laatan liikkuessaan. (Häkli ym. 2009,20-23.)

ETRS89-järjestelmä sai alkunsa 1990, kun IAG:n (International Association of Geodesy) Euroopan alakomissio, EUREF, ehdotti oman koordinaatiston perustamista Euraasian mannerlaatan liikkumattomaan osaan. Järjestelmä nimettiin ETRS89:ksi ja samalla määriteltiin että se yhtyy kansainväliseen ITRS89-järjestelmään epookkina 1989.0. Määritelmän realisoimiseksi suoritettiin vuonna 1989 Euroopan laajuinen GPS-kampanja, jossa Suomestakin oli mukana 4 pistettä. Tämän perusteella luotiin EUREF89-koordinaatisto, joka on tihein ja yhteinäisin WGS84:n realisaatio Euroopassa. Havaintotarkkuuksien parantuessa alkuperäistä verkkoa on laajennettu etenkin Itä-Euroopan suuntaan. On myös perustettu kansallisia realisaatioita, joissa pisteverkkoa on tihennetty ja näin ollen sisäistä tarkkuutta saatu paremmaksi. Suomessa EUREF-pisteitä lisättiin 1990-luvun alussa ja vuosina 1996-1997 Geodeettinen laitos mittasi sata I luokan kolmiopistettä EUREF-vaatimuksien mukaisesti. Näiden pisteiden avulla Suomeen luotiin EUREF-pisteverkko. (Poutanen 1998, 59 – 60.)

Julkisen hallinnon suosituksessa 154 (JHS 154) määritellään karttaprojektiot, joita ETRS89-järjestelmän kanssa tulisi käyttää. Valtakunnallisissa kartoituksissa ja paikkatietopalveluissa suositellaan käytettäväksi UTM – karttaprojektiota ja EUREF-FIN - järjestelmän kaistaa 35, jonka keskimeridiaani on 27°. Tällöin tasokoordinaatistosta käytetään nimitystä ETRS – TM35FIN ja se vastaa suurelta osin yleiseurooppalaista projektiosuositusta. Leveäkaistainen ETRS – TM35FIN – järjestelmä ei kuitenkaan ole tarpeeksi tarkka kaikkiin tehtäviin, joten paikallisesti on suositeltavaa käyttää Gauss-Kruger-projektioon perustuvaa tasokoordinaatistoa. Tällöin kaista valitaan lähimmän tasa-asteen mukaan ja projektiokorjaukset pysyvät täten pienempinä kuin yhtä kaistaa käytettäessä. Tällaista koordinaatistoa kutsutaan nimellä ETRS – GK, esimerkkinä Rovaniemen kaupungille tuleva ETRS – GK26, eli keskimeridiaani on 26°. (Häkli ym 2009, 29; JHS 154, 1-7.)

5 RUNKOMITTAUKSET

5.1 Runkomittausten tarkoitus

Runkomittauksilla tarkoitetaan mittauksia, joissa halutulle alueelle luodaan kiinteistä pisteistä muodostuva pisteverkko, jossa pisteille tiedetään tarkat koordinaatit jossakin koordinaattijärjestelmässä. Tällaista verkkoa kutsutaan runkopisteverkoksi ja sen avulla koordinaatisto sidotaan alueen maan pintaan. Runkomittausten tarkoituksena on siis luoda alueelle tarpeeksi tarkka ja tiheä pisteverkko, jota voidaan käyttää esim. erityistä tarkkuutta vaativissa mittauksissa. Runkomittaukset voidaan suorittaa satelliittimittauksina tai jonomittauksella (Laurila 2012, 12.) Kappaleissa 5.2 ja 5.3 käsitellään tarkemmin satelliittipaikannuksella tehtäviä runkomittauksia, koska se on nykyään yleisemmin käytetty tapa ja koskee myös tätä työtä.

5.2 Staattinen suhteellinen satelliittimittaus

Staattinen satelliittimittaus tarkoittaa suhteellista paikannusta, jossa vastaanottimet ovat havaittavilla pisteillä koko mittauksen ajan (Poutanen 1998, 198). Se on tällä hetkellä tarkin mahdollinen paikannusmenetelmä ja sitä käytetäänkin paljon tarkkuutta vaativissa toimenpiteissä, kuten runkomittauksissa. Staattinen suhteellinen mittaus perustuu kantoaaltojen vaihehavaintoihin ja sillä voidaan päästä millimetritarkkuuksiin. Tämän vuoksi se on myös huomattavasti monimutkaisempi kuin koodihavaintoihin perustuvat mittaustavat. (Laurila 2012, 301-302.)

Staattisessa satelliittimittauksessa tuntemattoman pisteen paikka määritetään tunnetun pisteen suhteen ja tästä johtuen havaitsemiseen tarvitaan aina vähintään kaksi vastaanotinta, paikantava vastaanotin sekä vertailuvastaanotin. Havaintosuureina käytetään erotushavaintoja, jotka muodostuvat yhdistämällä kahden ajankohdan, vastaanottimen tai satelliitin havainnot. Erotushavainto tarkoittaa käytännössä vastaanottimien etäisyyseroa saman satelliitin suhteen. Havaitsemalla samanaikaisesti vähintään neljää yhteistä satelliittia, voidaan määrittää vastaanottimien välinen koordinaattiero eli paikkavektori. (Laurila 2012, 302 – 304.)

Suhteellisessa paikanmäärityksessä etäisyydenmittaus siis perustuu kantoaallon vaiheisiin. Ongelmana on kantoaallon täysien aallonpituuksien eli alkutun-

temattomien määrän määrittäminen mittauksen alkuhetkellä. Osa-aallonpituus saadaan helposti selville, mutta kokonaisten aallonpituuksien määrittämiseksi täytyy satelliitteja havaita riittävän kauan. (Laurila 2012, 304-305). Tästä johtuen havaintojaksot ovat yleensä varsin pitkiä, riippuen mittauksen tarkkuusvaatimuksista ja paikkavektoreiden pituudesta. Vektoreiden pituus vaikuttaa myös havaintolaitteiden valintaan. Alle 15 kilometrin vektoreilla voidaan käyttää yksitaajuusvastaanottimia ja havaintojakso on halutusta tarkkuudesta riippuen 30-60 minuuttia. Tätä pidemmillä matkoilla on suositeltavaa käyttää kaksitaajuusvastaanottimia ja pidempiä mittausjaksoja (Poutanen 1998, 207). Esimerkiksi maanosan laajuisissa staattisissa mittauksissa yksi mittausjakso saattaa kestää jopa viikon. Yleensä mittausjakson kesto on kuitenkin 1-5 tuntia. (Poutanen 1998, 197).

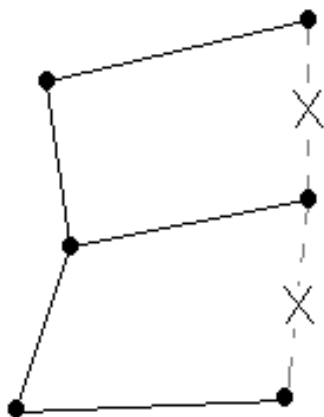
5.3 GPS – runkomittaukset ja niiden suunnittelu

Runkomittaukset ovat vaativia mittauksia ja usein mittausalue on varsin laaja. Tämän vuoksi suunnittelu on tärkeää mitausten sujumisen kannalta. Hyvän suunnitelman avulla pystytään mm. varmistamaan, että kaikki haluttu informaatio saadaan hankittua yhdellä mittauskerralla eikä näin ollen tarvitse jälkeinpäin tehdä täydentäviä mittauksia. Nykypäivänä runkomittaukset suoritetaan enimmäkseen staattisena satelliittimittauksena.

Staattista satelliittimittauskampanjaa suunniteltaessa lähdetään liikkeelle olemassa olevan tilanteen tarkastelusta. Jos alueella on vanhaa runkopisteverkkoa jonka pisteitä mittaukseen otetaan mukaan, olisi pisteiden kunto ja näkymät pisteiltä hyvä tarkastaa etukäteen. Etenkin hankalassa ympäristössä olevat tai muuten mittauksen kannalta erityisen tärkeät pisteet tulisi käydä tarkastamassa ennen varsinaisen suunnitelman laatimista, jotta suuremmilta yllätyksiltä siltä osin vältyttäisiin. Tarkastetuilta pisteiltä voi myös piirtää horisonttipiirroksen tai laatia muistiinpanoja esim. mittaukseen mahdollisesti vaikuttavista seikoista. Huomioitava on myös, että pisteiltä tulee olla esteetön näkyvyys 15-20 astetta yläpuolelle. (Poutanen 1998, 209.)

Ennen mittauksia mitattavalle alueelle muodostetaan verkkopiirros, joka sisältää kaikki havaittavat pisteet, myös tunnetut lähtöpisteet, joilla mittaukset kiinnitetään haluttuun koordinaattijärjestelmään. Verkkopiirroksessa mitattavat pisteet on yhdistetty toisiinsa vektoreilla, jotka muodostavat sulkeutuvia silmukoita.

Verkon lopullinen toteutus tehdään vasta laskentavaiheessa, koska silloin saadaan selville mahdolliset huonot havainnot, joita ei laskennassa voida käyttää. Verkkopiirros auttaa kuitenkin myös mittauksen suunnittelussa, koska havaittavia pisteitä on yleensä huomattavan paljon. Verkon perusteella suunnitellaan havaintolaitteiden siirrot ja sijoittelut, joten tämän vuoksi on tärkeää tietää ainakin suurin piirtein laskennassa käytettävät vektorit. (Poutanen 1998, 210). Julkisen Hallinnon Suosituksen 184 (JHS 184) mukaan yhdessä mittausjaksossa voidaan mitata $n-1$ vektoria, missä n on vastaanottimien lukumäärä eli esimerkiksi kuudella vastaanottimella mitattaessa on mahdollista mitata 5 riippumatonta vektoria kerrallaan. Yhdessä mittausseksiössä ei myöskään voida mitata sulkeutuvia kuvioita, vaan ns. triviaalivektorit tulee mitata jossain toisessa jaksossa (JHS 184, 17-18).



Kuvio 4. Esimerkki yhdestä mittausjaksosta. Käytössä kuusi vastaanotinta, joten riippumattomia vektoreita on mahdollista mitata 5 kappaletta. Oikean puoleiset vektorit ovat triviaalivektoreita, jotka sulkevat kuvion. Niitä ei voida huomioida kyseisessä havaintojaksossa vaan ne täytyy mitata eri sessiossa.

Havaintoaikataulua suunniteltaessa täytyy ottaa huomioon satelliittien sijainti mittausajankohtana. Tehtävän helpottamiseksi onkin kehitelty erilaisia ohjelmistoja, joiden avulla näkee, milloin satelliittigeometria olisi suotuisin mittauksen suorittamiseen. Jos pisteiltä on tehty horisonttipiirrokset, voidaan niitä verrata satelliittien näkyvyyskarttaan ja tällöin voidaan varmistaa, että havaintoaikana on tarpeeksi satelliitteja vastaanottimen näkymäalueella. Ohjelmistoilla on myös mahdollista saada selville satelliittigeometriaa kuvaava tarkkuusluku (GDOP) tiettyinä ajankohtina. Mittausta tulisi välttää GDOP-luvun ollessa $>8-10$. Pitkissä

havaintojaksoissa sillä ei niinkään ole huomattavaa vaikutusta, mutta lyhemmissä mittauksissa siitä voi koitua jo merkittävää haittaa. (Poutanen 1998, 209.)

6 MITTAUSSUUNNITELMA ROVANIEMEN KAUPUNGILLE

6.1 Lähtötilanne

Entisen Rovaniemen kaupungin alueen runkopisteverkko on mitattu GPS- ja takymetrimittauksilla vuosien 1990-2000 aikana ja Rovaniemen maalaiskunnan pisteet vuosina 1980-2005. Kuntien yhdistyttyä vuonna 2006 koordinaattijärjestelmänä pysyi KKJ ja korkeusjärjestelmäksi valittiin N43, joka oli käytössä kaupungin alueella ennen yhdistymistä.

Uuteen peruskiintopisteverkkoon on valittu 83 vanhaa jo olemassa olevaa runkopistettä, joille tunnetaan tarkat KKJ3-koordinaatit. Näin ollen vastinpisteitä on tarpeeksi muunnosparametrien määrittämiseksi. Lisäksi rakennetaan 2 täysin uutta kiintopistettä, eli uuteen kiintopisteverkkoon mitataan alustavan suunnitelman mukaan yhteensä 85 pistettä. Mittauksessa mukana olevat vanhat runkopisteet on kaupungin toimesta kartoitettu ja niiden soveltuvuus kiintopisteiksi tarkastettu.

Mittauksia varten on konsultti valmistellut vektoriverkon, jonka avulla mittaukset ja laskenta suunnitellaan. Verkko koostuu sulkeutuvista, pääosin nelikulmaisista silmukoista. Kolmiomaisten silmukoiden määrä on pyritty minimoimaan, jotta ns. triviaalivektoreiden määrä saadaan mahdollisimman vähäiseksi laskennassa. Pääverkon lisäksi mitataan kaksi erillistä pienempää verkkoa Vikajärven ja Oikaraisten alueilla. Näissä verkoissa lähtöpisteinä käytetään Maanmittauslaitoksen pisteiden lisäksi uusia runkoverkon pisteitä, joten ne kuuluvat alempaan luokkaan kuin perusverkon pisteet.

6.2 Muutoksen syyt ja ETRS89 – järjestelmän edut

Paikannustekniikan kehittyminen ja tarkkuuksien paraneminen on mahdollistanut laajojen yhtenäisten koordinaatistojen luonnin. Nykyään jopa mannertenväliset havaintoverkot pystytään sitomaan senttimetritarkkuudella toisiinsa (Häkli ym. 2009, 19). IAG (International Association of Geodesy) esitti vuonna 1990, että Euroopassa tulisi siirtyä yhtenäiseen koordinaatistoon, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan deformatumattomaan osaan (Laurila 2008, 148). Tämän seurauksena Euroopan unionin komissio päätti kansainvälisessä kokouksessaan vuonna 1999 suositella ETRS89- järjestelmän käyttöönottoa unionin

maissa. Suomessa kansallinen koordinaatistotyöryhmä antoi saman suosituksen, jonka seurauksena Geodeettinen laitos sekä Maanmittauslaitos laativat Julkisen Hallinnon Suositukset 153 ja 154 (JHS 153, 154) nopeuttamaan ja yhtenäistämään muutosprosessia. Maanmittauslaitos siirtyi Maa- ja metsätalousministeriön edellytysten mukaisesti ETRS89- järjestelmän käyttöönottoon vuonna 2010. (Ollikainen M. 2012, 2012, 6-8).

Kartastokoordinaattijärjestelmä alkaa olla nykypäivän paikannusteknologiaan liian epähomogeeninen ja vääristymien aiheuttamat virheet ovat jo liian suuria täyttämään kiristyneitä tarkkuusvaatimuksia. KKJ:n heikkoudet johtavat juurensa järjestelmän perustana oleviin vanhoihin kolmiomittauksiin (Laurila 2008, 144). KKJ:ssä voidaan paikallisesti päästä hyvään tarkkuuteen, mutta laajemmillä alueilla virheet ovat jo huomattavia.

ETRS89-järjestelmä on tarkempi ja tasalaatuisempi kuin KKJ ja se helpottaa tiedonvaihtoa sekä kansallisesti että kansainvälisesti. ETRS89-järjestelmän yleiseurooppalainen realisaatio EUREF89 on lähes yhtenevä GPS-satelliittien käyttämän WGS84-järjestelmän kanssa ja näin ollen sen käyttöönotto helpottaa myös paikannusta, koska muunnoksia ei enää tarvita. (Ollikainen 2012, 6-8).

6.3 Mittaussuunnitelman tekeminen

Osana opinnäytetyötä suunniteltiin mittausjärjestys kaupungille tarjouskilpailun tueksi. Rovaniemen kaupunki oli järjestänyt jo aiemmin tarjouskilpailun koordinaattimuunnosta varten mitattavien pisteiden staattisesta mittauksesta, mutta kyseisen tarjouskilpailun perusteella sopivaa alihankkijaa mittaustyölle ei löytynyt. Tehtävänä oli suunnitella mittausjärjestys verkkopiirroksen perusteella, jotta eri osapuolet saisivat paremman käsityksen mittaustyön vaatimasta ajasta. Itse mittausjärjestys suunniteltiin siten, että tuleva mittaustyö suoritettaisiin kuudella vastaanottimella. Kuitenkaan missään vaiheessa Rovaniemen kaupunki ei velvoittanut tulevaa mittaustyön suorittajaa käyttämään nimenomaan kuutta vastaanotinta, täten myös lopullinen mittauksessa käytettävä mittausjärjestys oli mittaustyön suorittajan päätettävissä.

Mittausjärjestyksen suunnittelu aloitettiin tutustumalla toimeksiantajalta saatuun verkkopiirroksen. Jo aikaisessa vaiheessa pyrittiin tunnistamaan kaukaisen

sijainnin ja vaikeiden kulkuyhteyksien kannalta ongelmalliset pisteet, jotta itse mittauksista tulisi mahdollisimman sujuvaa. Myös vesistöt, etenkin joet ja kaukana toisistaan sijaitsevat sillat aiheuttivat omat hankaluutensa mittausjärjestyksen sujuvuudelle. Vaikeiden kulkuyhteyksien päässä olevilla pisteillä vastaanottimia pyrittiin pitämään mahdollisimman monta mittausjaksoa peräkkäin, jotta turhilta edestakaisilta siirtymiltä välttyttäisiin ja näin ollen säästettäisiin aikaa.

Suurin osa mittausjaksoista suunniteltiin siten, että jokainen kuusi vastaanotinta mittaisi havaintoja yhdenaikaisesti tunnin ajan, jonka jälkeen siirtoa vaativat vastaanottimet siirrettäisiin seuraavalle pisteelle. Osa pisteistä sijaitsi kuitenkin kaukana muista pisteistä tai muuten hankalien kulkuyhteyksien takana, joten osa mittausjaksoista suunniteltiin mitattavaksi viidellä vastaanottimella, jolloin yhdellä vastaanottimella olisi enemmän aikaa siirtyä tarvittavalle pisteelle muiden vastaanottimien mitatessa vielä edellisiä pisteitä. Mittausjärjestys ei varsinaisesti ole sitova, koska mittausjaksot voidaan suorittaa missä järjestyksessä tahansa. Suunnitelma on kuitenkin tehty siten, että siirtymiä tulisi mahdollisimman vähän. Mittausjaksojen järjestystä muuttamalla kaikki tarvittavat vektorit tulee mitattua, mutta hankalien kulkuyhteyksien varrella oleville pisteille suunnitellut siirtymäajat voivat jäädä toteutumatta.

Mittausjärjestys tehtiin excel-tilukolle, josta näkee jokaisen vastaanottimen sijainnin kullakin mittausjaksolla. Mahdollisten kirjaamisvirheiden vuoksi, teimme samalla jokaisesta mittausjaksosta myös oman verkkopiirroksen, josta käy ilmi vastaanottimien sijainnit sekä mitattavat vektorit. Verkkopiirrokseseen on merkitty myös ns. triviaalivektorit, jotka jätetään huomioimatta kyseisessä mittausjaksossa. Pois jätettävät vektorit tulee kuitenkin mitata jossain muussa mittausjaksossa. Triviaalivektorit päätetään varsinaisesti kuitenkin vasta laskentavaiheessa mahdollisten mittauksen epätarkkuuksien vuoksi. Triviaalivektoreiden huomioimisella mittauksen suunnitteluvaiheessa on kuitenkin apua, jotta kaikki vektorit tulee varmasti mitattua riittävän monta kertaa. Toimeksiantajan ohjeistuksesta noin 20% vektoreista tuli mitata kahteen kertaa. Tällä eliminoidaan mahdollisia virheitä mittauksissa, joten kahteen kertaan mitattavien vektoreiden tulee sijaita mahdollisimman tasaisesti ympäri mitattavaa aluetta.

Taulukko 1. Ote mittausjärjestyksen excel-tilukosta 10 ensimmäisen mittausjakson

osalta. Taulukosta selviää jokaisen vastaanottimen sijainti kunkin mittausjakson aikana.

| MITTAUSJAKSO | 1. vastaanotin | 2. vastaanotin | 3. vastaanotin | 4. vastaanotin | 5. vastaanotin | 6. vastaanotin |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 05M5513 | 93M0132 | 87M8704F | 72M2712 | 84M3605 | 90M8979 |
| 2 | 05M5513 | 93M0132 | 87M8704F | 72M2712 | 84M3605 | 90M8979 |
| 3 | UUSI PISTE | 93M9301N | 87M8704F | 72M2713 | 85M0600B | 85M9998B |
| 4 | UUSI PISTE | 93M9301N | 87M8704F | 72M2713 | 85M0600B | 85M9998B |
| 5 | 00G1202 | 85M2601 | 85M0600B | 00G1201 | 94M9410A | 85M9998B |
| 6 | 00G1202 | 85M2601 | 85M0600B | 00G1201 | 94M9410A | 85M9998B |
| 7 | 00G1202 | 93M9301N | UUSI PISTE | 00G1201 | 93M9303K | 85M9998B |
| 8 | 72M2713 | 93M9301N | UUSI PISTE | 93M9302K | 93M9303K | 72M2718 |
| 9 | 72M2713 | 87M0500 | 87M0502 | 93M9302K | 11P10513 | 72M2718 |
| 10 | 72M2713 | 87M0500 | 87M0502 | 11P20512 | 11P20518 | 87M0503 |

Toimeksiantajalta saadun ohjeistuksen mukaan lähtöpisteiltä, eli E1 – E2 luokan EUREF – FIN pisteiltä lähtevät vektorit tulee mitata 2 tunnin havaintojaksoissa. Näin ollen suunnitelmassa on pyritty mittaamaan mahdollisimman monta lähtöpistevektoria samassa jaksossa ajan säästämiseksi. Jos samaan jaksoon on tullut myös kunnan oman kiintopisteverkon sisäisiä vektoreita, on niitäkin mitattu koko kahden tunnin ajan. Suunnitelmassa kunkin mittausjakson pituus on 1 tunti eli tästä johtuen 2 tunnin havaintojaksoissa vastaanottimet ovat samoilla pisteillä kahden mittausjakson ajan.

6.4 Yhteenveto suunnitelman teosta

Mittaussuunnitelmaan tuli yhteensä 48 mittausjaksoa eli mittauksiin kuluva aika olisi siis 48 tuntia. Tähän lisätynä siirtymiin kuluva aika sekä muut toimenpiteet, voidaan arvioida että pelkästään mittaukset vaatisivat 7-14 työpäivää, riippuen päivän pituudesta ja mittausolosuhteista.

Mittausjärjestyksen suunnittelu osoittautui varsin aikaa vieväksi tehtäväksi, osittain johtuen mitattavan alueen laajasta koosta sekä pisteiden suuresta lukumäärästä. Pikaisen selvityksen perusteella runkomittauksissa käytetään myös tapaa, jossa koko alueen kattavan suunnitelman sijaan suunnitellaan mittaukset esimerkiksi aina päivä kerrallaan mittauksen edetessä. Koko mittausprosessin kattavalla suunnitelmalla voidaan kuitenkin varmistaa se, että kaikki vektorit tulevat varmasti mitattua, eikä näin ollen tarvitse välttämättä tehdä jälkeinpäin täydentäviä mittauksia. Toisaalta laajamittainen suunnitelma voi kaatua odotta-

mattomiin hankaluuksiin, kun taas päivä kerrallaan mentäessä pystytään enemmän elämään vallitsevien olosuhteiden mukaan. Suunnitelman laatiminen kerrallaan suurille alueille vaatii paljon aikaa sekä tarkkuutta.

7 LASKENTA

7.1 Helmertin muunnos

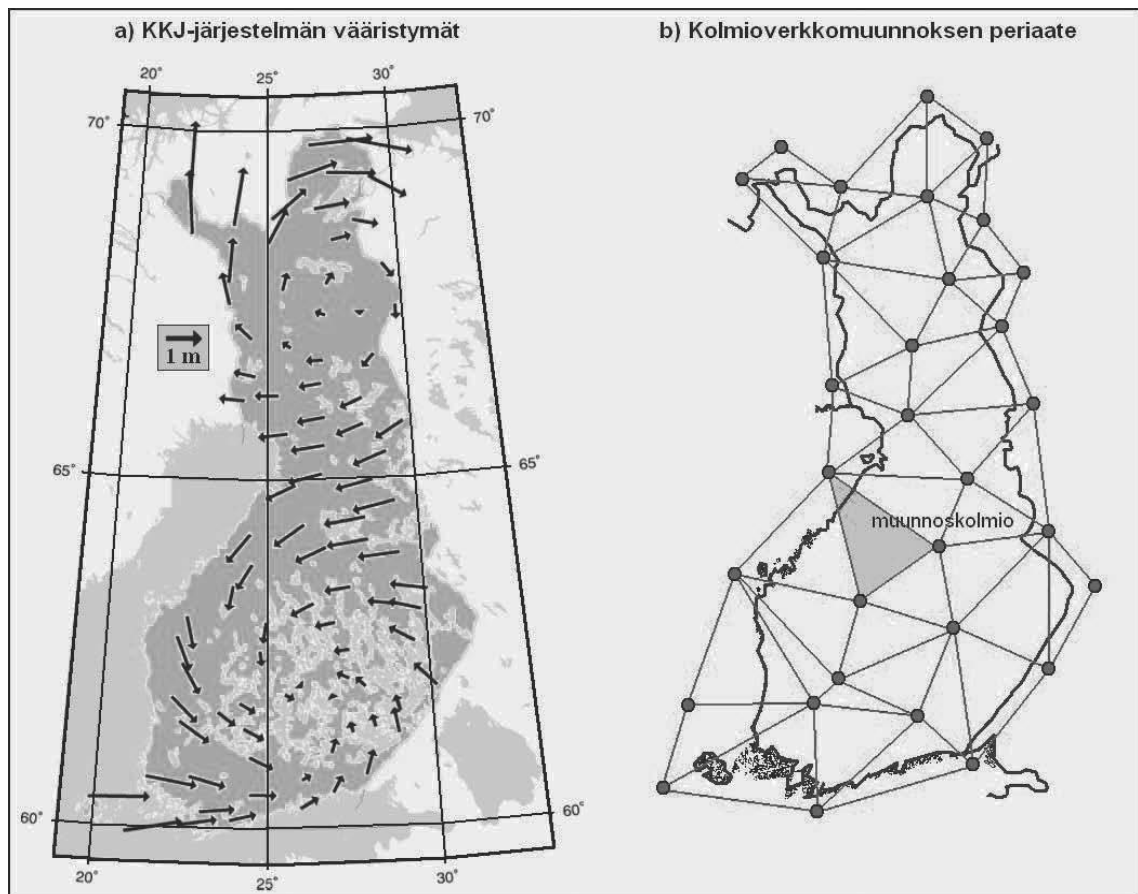
Helmertin muunnos on yksi käytetyimmistä koordinaattimuunnoksista. Se on lineaarinen yhdenmuotoisuusmuunnos, joka säilyttää kartalla kuvattavien kohteiden yhdenmuotoisuuden. (Laurila 2012, 81.) Helmertin muunnoksessa koordinaattiakseleiden välisen kulman oletetaan olevan suora sekä molemmilla koordinaattiakseleilla olevan yhteinen mittakaava. Helmertin muunnos voi siis vaikuttaa koordinaatiston origon sijaintiin, koordinaatiston kiertoon sekä koordinaatiston mittakaavaan. Koska Suomessa yleisesti käytössä olevien koordinaattijärjestelmien mittaustavat- ja historia tunnetaan hyvin, ei yleensä ole tarvetta käyttää koordinaatistoon enemmän vaikuttavia ns. affiinisia muunnoksia. (Hakala 2012, 3, 5.)

7.2 Affiinisiet muunnokset

Affiinisiet muunnokset muuttavat alueen yhdenmuotoisuutta, toisin kuin Helmertin muunnos, joten esimerkiksi ympyrä kuvautuu muunnoksen jälkeen soikiona. Ensisijaisesti koordinaattimuunnoksissa pyritään käyttämään Helmertin muunnosta ja affiiniseen muunnokseen turvaudutaan vain, mikäli muunnosalueella havaitaan säännöllinen vääristymä, esimerkiksi koordinaattiakseleiden välinen mittakaavaero.

7.2.1 Kolmioverkkomuunnos

KKJ-järjestelmän vääristymien vuoksi on Suomessa määritetty tarvittavat muunnosparametrit ETRS-TM35FIN ja KKJ-järjestelmien välillä siirtymiseen koko Suomen alueelle, kyseessä on affiininen muunnos, jossa Suomi on jaettu useisiin kolmioihin, joiden alueelle on määritetty paikalliset muunnosparametrit. Muunnos on toteutettu siten, että viereisten kolmioiden kärkipisteissä muunnos tuottaa täsmälleen samat koordinaatit ja viivat ovat jatkuvia siirryttäessä kolmiosta toiseen. Muunnospisteistöä on myös mahdollista tihentää paikallisesti siten, ettei tihennys vaikuta tihennyksen ulkopuolisiin kolmioihin. (Laurila 2012, 172-173.)



Kuvio 5. Vasemman puoleisessa kartassa kuvataan KKJ-järjestelmän vääristymiä verrattaessa tarkkoihin GPS-mittauksiin. Oikean puoleisesta kartasta käy ilmi kolmioverkko-muunnoksessa käytettävien kolmioiden sijainti. (Laurila 2008, 160)

7.2.2 5- ja 6- parametriset affiinisets muunnokset

5- ja 6-parametriset affiinisets muutokset poikkeavat Helmertin yhdenmuotois-muunnoksesta. Muunnoksissa koordinaattiakseleilla ei lähtökohtaisesti ole yhtä suuret kiertokulmat, ja myös akseleiden mittakaavat voivat poiketa toisistaan. Affiinisets muunnokset muuttavat kohteiden muotoa, joten esimerkiksi ympyrät kuvautuvat ellipseiksi. 5-parametrisessa affiinisessa muutoksessa voidaan vaikuttaa koordinaatiston origon sijaintiin, koordinaattiakseleiden välisiin kulmiin sekä koordinaattiakseleiden mittakaavaan. 5-parametrisessa muunnoksessa on kuitenkin valittava joko akseleiden välinen kulma muuttujaksi tai kummallekin akselille oma mittakaavansa. Jos akseleiden välinen kulma valitaan muuttujaksi, sekä kummallekin akselille määritetään omat mittakaavat, on kyseessä 6-parametrinen affiinisets muunnos. (Hakala 2012, 6.)

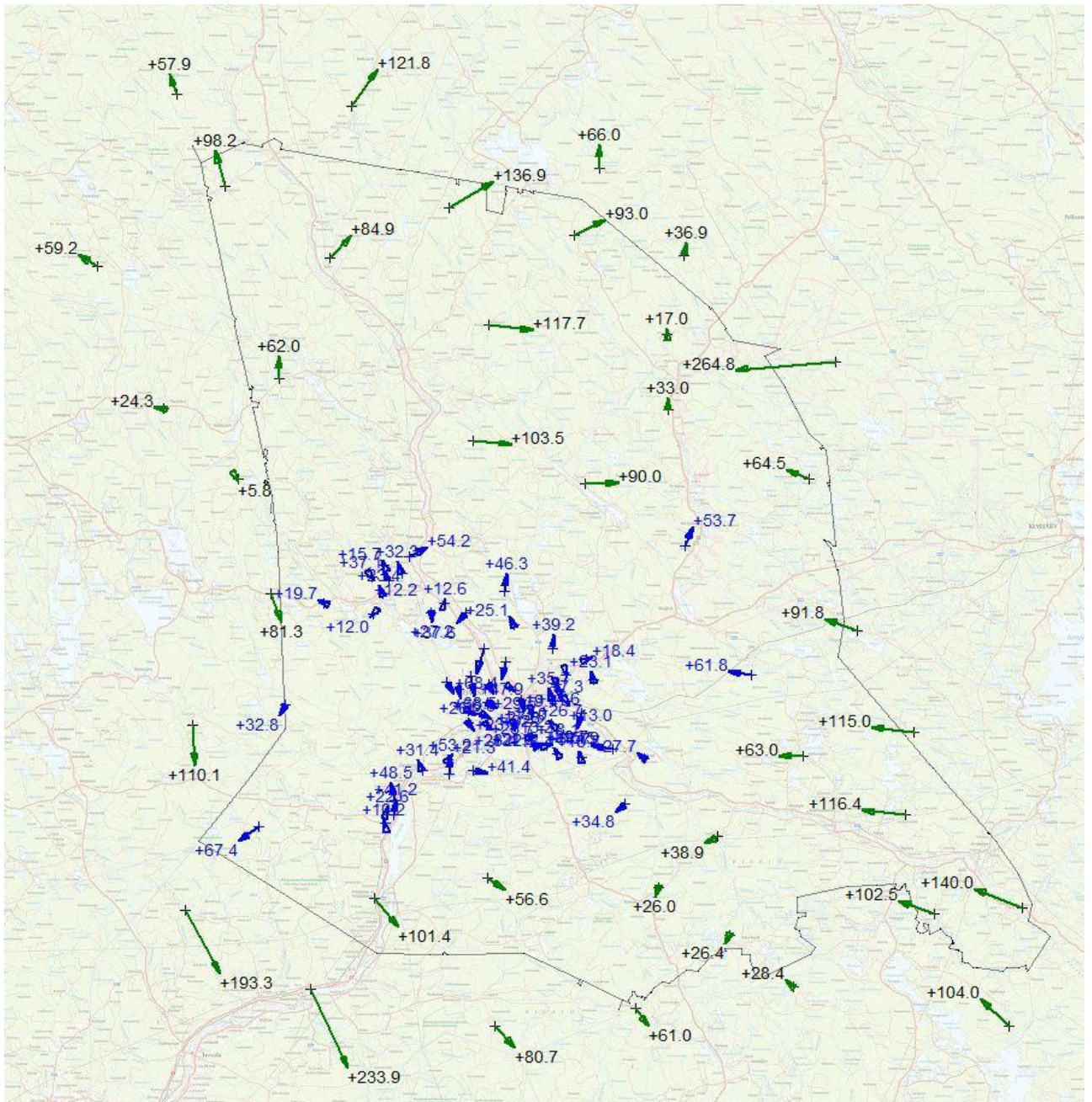
8 ROVANIEMEN KAUPUNGIN KOORDINAATTIMUUNNOS

8.1 Alkutilanne muunnokselle

Koordinaattimuutosta varten Rovaniemen alueelta tarkistettiin vuoden 2011 aikana lukuisia kiintopisteitä sekä arvioitiin niiden soveltuvuutta koordinaattimuunnoksessa mitattaviksi runkopisteiksi. Tarkistuksen perusteella osa kiintopisteistä hylättiin suoraan liian peitteisen maaston, hankalien kulkuyhteyksien tms. syiden vuoksi. Osa pisteistä hylättiin vielä verkkopiirroksen suunnitteluvaiheessa, koska niiden ei katsottu tarjoavan merkittävää parannusta kyseiseen verkkopiirroksen suunnitteluun. Jäljelle jäi yhteensä 68 kiintopistettä, joiden koordinaatit tunnettiin sekä GK27-järjestelmässä että KKJ3-järjestelmässä. KKJ3-pisteet olivat pääosin 3. luokan pisteitä, EUREF-pisteet vastaavasti E1/E2 ja E3/E4-luokan pisteitä. Kolme pisteistä osoittautui vanhojen kiintopisteiden lähelle rakennetuiksi uusiksi kiintopisteiksi, jotka olivat mukana vanhalla pistenumeroilla, joten myös kyseiset pisteet poistettiin laskennassa käytettävien pisteiden joukosta. (Hakala 2012, 6.)

8.2 Valtakunnalliset EUREF – pisteet muunnoksessa

Koko Rovaniemen kaupungin alueen kattavan muunnospisteistön saamiseksi inventoitiin Maanmittauslaitoksen rekisteristä sopivia EUREF E1- ja E2-luokan kiintopisteitä täydentämään pisteistöä. Alustavissa koemuunnoksissa kävi kuitenkin nopeasti ilmi, ettei Rovaniemen GNSS 2012-muunnospisteistöä ja valtakunnallista muunnospisteistöä voida käyttää samassa muunnoksessa. Koemuunnoksissa tuli ilmi Rovaniemen kaupungin laajuudesta johtuen, KKJ3-järjestelmän merkittävät, jopa desimetriluokkaa olevat vääristymät. Koemuunnoksissa todettiin kuitenkin GNSS 2012-kampanjassa mitattujen kiintopisteiden yhteensopivuuden olevan merkittävästi parempi. (Hakala 2012, 7.)



Kuvio 6. Kuvassa on esitetty Helmert – muunnoksen jäännösvirhevektorit. Sinisellä kuvassa näkyvät vektorit, ovat kesällä 2012 koordinaattimuunnosta varten mitattujen pisteiden jäännösvirhevektorit ja vihreällä MML:n rekisteristä inventoitujen pisteiden jäännösvirhevektorit. Vektoreiden pituudet esitetään millimetreinä. (Hakala 2012, 7.)

KKJ-järjestelmän suurien vääristymien vuoksi todettiin, ettei koko kaupungin alueelle voida suorittaa koordinaattimuunnosta Helmert-yhdenmuotoismuunnoksella, koska virhevektoreista ilmi käyvä koordinaatiston

vääristymä on muodoltaan sellainen, ettei sitä voida luotettavasti mallintaa edes voimakkaammilla affiinisilla muunnosmalleilla. Koemuunnoksessa suoritettujen 5-ja 6-parametristen muunnosten tulokset eivät merkittävästi eronneet Helmertmuunnoksella saaduista tuloksista, joten alueella ei ole havaittavissa koordinaattiakseleiden erimittakaavaisuutta tai akseleiden kiertokulmien eroavaisuutta. (Hakala 2012, 8.)

8.3 Koordinaattimuunnosta varten mitattujen pisteiden muunnokset

Kesällä 2012 mitattujen pisteiden perusteella alueelle määritettiin koordinaattimuunnokseen tarvittavat muunnosparametrit. Alustavassa laskennassa käytettiin 65 alueella sijaitsevaa muunnospistettä. Alustavassa laskennassa kävi kuitenkin ilmi, että 7 alueella sijaitsevaa pistettä tuli poistaa laskennasta joko numerointivirheen tai liiallisen karkean virheen vuoksi. Lopullisessa muutoksessa käytettiin siis yhteensä 58 pistettä. Kyseisen määrän katsottiin olevan alueelle varsin riittävä, mahdollistaen riittävän laskennallisen ylimäärityksen ja täten parantaen muunnosparametrien tarkkuutta sekä luotettavuutta. (Hakala 2012, 8.)

Taulukko 2. Alustavan laskennan perusteella muunnosparametrien laskennasta hylätyt 7 pistettä. Pisteistä taulukon 4 ylintä hylättiin numerointivirheen vuoksi ja 3 alinta liiallisen karkean virheen vuoksi. (Hakala 2012, 8)

| Muunnoksen sijoittama paikka | | | Rekisterikoordinaatit | | dN | dE | Virhevektori | |
|------------------------------|-------------|--------------|-----------------------|--------------|----------------|-----------------|----------------|---|
| 90M8977 | 7377140.454 | 27455670.925 | 7377178.410 | 27455827.255 | 37.956 | 156.330 | 160.872 | m |
| 93M0133 | 7373160.673 | 27447678.558 | 7373177.091 | 27447673.734 | 16.418 | - 4.824 | 17.112 | m |
| 83M8399C | 7386101.923 | 27438689.210 | 7386104.958 | 27438673.183 | 3.035 | - 16.027 | 16.312 | m |
| 72M0105 | 7383331.892 | 27446564.951 | 7383330.330 | 27446565.227 | - 1.562 | 0.276 | 1.587 | m |
| 90M9005G | 7420647.765 | 27423810.603 | 7420647.922 | 27423810.634 | 0.157 | 0.031 | 0.160 | m |
| 00G1202 | 7371196.763 | 27429153.695 | 7371196.854 | 27429153.622 | 0.091 | - 0.073 | 0.117 | m |
| 87M8704F | 7348337.800 | 27441012.517 | 7348337.711 | 27441012.473 | - 0.089 | - 0.044 | 0.099 | m |

8.4 Alueen affiinisit muunnokset

Mahdollisen koordinaattiakseleiden erimittakaavaisuuden ja koordinaattiakseleiden kiertokulmien eroavaisuuksien vuoksi alueelle laskettiin muunnokset myös 5-ja 6-parametriset affiinisit muunnokset. Muunnoksissa ei kuitenkaan

havaittu merkittävää eroa Helmert-muunnoksella saatuihin tuloksiin, joten Rovaniemen kaupungin vanhassa, KKJ-järjestelmään perustuvassa verkossa ei ole havaittavissa yllä mainittuja virheitä. Toisin kuin 6-parametrisessä affiinissä muunnoksessa, 5-parametrisessä affiinissä muunnoksessa koordinaattiakseleiden väliset kulmat oletetaan suorakulmaisiksi, joten 5- ja 6-parametristen laskentojen tulokset eroavat toisistaan lähinnä koordinaattiston kierron ja koordinaattiakselien kulmien osalta. Kuten aiemmin todettiin, eivät nämä eroavaisuudet kuitenkaan aiheuta muunnosparametrien laskentamenetelmän vaihtamista yhdenmuotoisesta Helmert-muunnoksesta affiiniseen muunnokseen. (Hakala 2012, 9.)

Taulukko 3. 5- ja 6-parametristen muunnosten laskentatuloksista. Tuloksista voidaan todeta koordinaattiakseleiden mittakaavakertoimien olevan identtiset molempien muunnosten kesken. Laskentatavasta johtuen 6-parametrisessä muunnoksessa koordinaattiston kierto poikkeaa hieman 5-parametrisen tuloksista, koska 5-parametrisessä muunnoksessa koordinaattiakseleiden välinen kulma oletetaan suorakulmaiseksi. Muunnoksen keskivirheMO, kuvaa muunnoksen sopivuutta vanhaan järjestelmään. (Hakala 2012, 9.)

| 5-parametrinen muunnos | | | 6-parametrinen muunnos | | |
|------------------------|----------------------|----|------------------------|----------------------|----|
| N-siirto | - 121.22114 | m | N-siirto | - 121.70302 | m |
| E-siirto | 23999832.23421 | m | E-siirto | 23999830.73037 | m |
| a | 0.9999984659 | - | a | 0.9999984741 | - |
| b | 0.0000001774 | - | b | 0.0000000549 | - |
| c | 0.9999982540 | - | c | 0.9999982621 | - |
| d | 0.0000001774 | - | d | 0.0000003773 | - |
| m_N | 0.9999985 (-1.5 ppm) | - | m_N | 0.9999985 (-1.5 ppm) | - |
| m_E | 0.9999983 (-1.7 ppm) | - | m_E | 0.9999983 (-1.7 ppm) | - |
| kierto | 0.11 | cc | kierto_N | 0.24 | cc |
| | | | kierto_E | 0.04 | cc |

8.5 Helmert yhdenmuotoisuusmuunnos Rovaniemellä

Kuten jo aiemmin todettiin, ei koemuunnoksissa todettu pisteistön affiinisuuutta, joten koordinaattimuunnoksen laskennassa käytettiin Helmertin yhdenmuotoisuusmuunnosta. Alla olevassa taulukossa on esitetty lopullisen muunnospisteistön

Helmert-yhdenmuotoisuuksien tulokset. Vaikka kaupungin uusi järjestelmä tulee käyttämään GK26-keskimeridiaania, esitetään tulokset GK27-keskimeridiaanilla, koska vanhan KKJ-järjestelmän keskimeridiaanina käytetään 27 astetta.

Taulukko 4. Kaupungin lopullisen muunnoksen tuloksista laskettuna KKJ3- järjestelmästä GK27- järjestelmään, sekä GK27- järjestelmästä KKJ3- järjestelmään siirtyminen. (Hakala 2012, 10)

| Parametri | KKJ3 → GK27 | GK27 → KKJ3 | Yksikkö |
|--------------------------|---------------|-----------------|---------|
| N -siirto | - 120.2325 | 115.8468 | m |
| E -siirto | 23999831.9174 | - 23999871.8894 | m |
| a – kerroin | 0.9999983345 | 1.0000016655 | – |
| b – kerroin | 0.0000001827 | - 0.0000001827 | -- |
| Kierto | 0.12 | - 0.12 | cc |
| Mittakaava | 0.9999983 | 1.0000017 | – |
| Mittakaavaero | - 1.7 | 1.7 | ppm |
| Muunnoksen keskivirhe m0 | | ± 0.025 | m |

Tuloksista voidaan todeta koordinaatistojen kierron sekä mittakaavaeron olevan pientä, muunnoksen keskivirhe m0 kuvaa uuden ja vanhan järjestelmän keskimääräistä yhteensopivuutta kierron ja mittakaavakorjauksen jälkeen. (Hakala 2012, 10.)

8.6 Lopullisen muunnosmallin valinta

Koska staattisessa mittauksessa ja jälkilaskennassa ei havaittu suuria vääristymiä, päätti kaupunki viime hetkellä käyttää suurimpaan osaan kaupungin alueesta maanmittauslaitoksen aiemmin määrittämiä muunnosparametreja. Ainoaksi poikkeukseksi muodostui Muurolan alue, jossa päädyttiin käyttämään kau-

kaupungin määrittämää muunnosta, koska siellä havaittiin muita alueita suurempia paikallisia virheitä. (Lehtinen 2013)

Vaikka kaupungin ja maanmittauslaitoksen muunnosten väliset erot olivat pääosin pieniä, päädyttiin käyttämään maanmittauslaitoksen muunnosta, koska rajamerkkien koordinaatit kaupungin tietokantaan tulevat maanmittauslaitokselta, mutta rajaviivat sekä kiinteistöjen alueet määritetään erikseen kaupungin toimesta omaan tietokantaan. Koska maanmittauslaitos on jo siirtynyt ETRS89-järjestelmään, käyttämällä maanmittauslaitoksen muunnosta, ovat aiemmin kaupungin tietokantaan määritetyt rajaviivat sekä kiinteistöjen alueet keskenään identtisiä, joten näin vältetään rajaviivojen ja kiinteistöalueiden uudelleen määrittämiseltä suurimmassa osassa kaupunkia. Jos olisi käytetty kaupungin omaa muunnosta, olisi kaikki rajaviivat sekä kiinteistöjen alueet pitänyt muokata sopimaan rajapyykkien koordinaatteihin kaupungin tietokannassa. Ottamalla käyttöön maanmittauslaitoksen muunnos, välttyy Rovaniemen kaupunki valtavasti henkilöresursseja sitovalta työltä. (Lehtinen 2013)

Vaikka maanmittauslaitoksen muunnosparametrit ovatkin luultavasti määritetty käyttäen harvempaa runkopisteistöä Rovaniemen kaupungin alueella, voidaan muunnoksen riittävä yhteensopivuus ja tarkkuus varmistaa vertaamalla sitä Rovaniemen kaupungin määrittämää muunnokseen. Näin toimimalla selvisi mm. Muurolan alueen keskimääräistä suuremmat poikkeamat.

9 LOPPUPOHDINTA

Opinnäytetyöhön liittyen tehtiin sähköpostikysely muutamalle kunnalle, joissa ETRS89-järjestelmään siirtyminen on jo suoritettu tai prosessi on meneillään. Useissa vastauksissa koordinaattijärjestelmämuunnoksen syiksi mainittiin Julkisen Hallinnon Suositukset sekä Maanmittauslaitoksen tuen loppumisen Kartastokoordinaattijärjestelmälle. Suunnitteilla olevat tai jo suoritettut kuntaliitokset sekä kunnilla käytössä olevat eri järjestelmät olivat osasyynä muutokseen. Lisäksi useassa vastauksessa korostettiin eri tahojen yhteistyön helpottumista, kun jokaisella taholla on käytössä sama järjestelmä.

Kyselystä kävi ilmi, että jokaisessa vastanneessa kunnassa mitattiin vanhan järjestelmän runkopisteitä koordinaattimuunnokseen liittyen. Mittausten yhteydessä useassa kunnassa rakennettiin myös täysin uusia runkopisteitä täydentämään vanhaa pisteistöä. Mitattujen runkopisteiden määrä vaihteli muutamista kymmenistä useisiin satoihin pisteisiin. Muutamassa kunnassa koordinaattimuunnos tehtiin samanaikaisessa yhteistyössä naapurikuntien kanssa, joten ilmoitetuissa lukumäärissä pisteitä voi olla usean kunnan alueella. Noin puolet vastanneista kunnista kertoi mitattujen pisteiden painottuneen enemmän asutuskeskusten ympärille, kuitenkin näissäkin kunnissa pisteistö ulottui myös haja-asutusalueelle.

Jokainen kyselyyn vastannut kunta kertoi käyttäneen ulkopuolista apua muutokseen liittyen. Ainoastaan kahdessa suurimmassa kyselyyn vastanneessa kunnassa pystyttiin koordinaattimuunnokseen sisältyvät mittaukset hoitamaan itse. Vastausten perusteella tyypillisin ulkopuolinen apu liittyi muunnoksen suunnittelun ja laskentaan. Useassa kunnassa mittaukset suoritettiin yhteistyössä alihankkijoiden ja kunnan mittausosaston kanssa. Eräässä noin 20 000 asukkaan kunnassa käytettiin yhteensä noin 50 000 euroa koordinaattimuunnokseen liittyviin konsulttipalkkioihin.

Kyselyn perusteella muutoksessa kohdatut ongelmat liittyvät lähinnä puutteellisiin henkilöstöresursseihin. Esimerkiksi lähtöpisteaineistojen kerääminen ja erilaiset suunnittelutyöt koettiin erityisen työläiksi. Useassa vastauksessa korostettiin myös ulkopuolisen avun sekä riittävän väljän aikataulutuksen helpottaneen suuresti muunnoksen eri työvaiheissa. Valtaosa kyselyyn vastanneista kunnista olivat tyytyväisiä muunnoksen työvaiheisiin eivätkä muuttaisi toimintaansa, suu-

rimmaksi ongelmaksi koettiin lähinnä aikataulutus. Muunnoksen suurimmaksi eduksi koettiin eri tahojen välisen yhteistyön helpottuminen, tosin kyselyä tehtäessä useassa kunnassa uusi järjestelmä oli vasta siirtymävaiheessa.

Koordinaattijärjestelmän muuttamisen voidaan todeta olevan kaiken kaikkiaan varsin työläs prosessi. Eri työvaiheet vaativat paljon resursseja ja aikaa, joten etenkin pienille kunnille muutostyön voisi kuvitella olevan lähes mahdoton suorittaa itsenäisesti. Tällöin työ täytyy joko osittain tai kokonaan ulkoistaa tai tehdä yhteistyössä muiden kuntien kanssa. Esimerkiksi mittaustyössä tarvitaan niin paljon havaintolaitteita ja työvoimaa, että harvassa kunnassa pelkästään omat resurssit tähän riittävät. Muutoksen avulla saadaan kuitenkin eri kuntien ja laitosten materiaalit yhtenäisemmäksi, jolloin mm. tietojen siirrosta tulee huomattavasti yksinkertaisempaa.

Opinnäytetyötä tehdessä huomasimme, että runkomittauksista on melko vähän informaatiota. Monessa teoksessa asiaa on käyty suurpiirteisesti läpi, mutta tarkempaa perehtymistä ei oikein meinannut löytyä. Työn ollessa jo loppusuoralla, julkaistiin uusi Julkisen Hallinnon Suositus 184, jossa juuri tähän asiaan on perehdytty syvemmin. Siitä selviää tarkasti mm. runkomittausten tarkkuusvaatimukset sekä säädökset mittausten suorittamiseen. Etenkin mittaustyön suunnitteluun uudesta suosituksesta löytyy hyvää ohjeistusta.

Lähdeluettelo:

[Hakala J. 2012. Rovaniemen kaupunki KKJ3 ↔ EUREF -muunnos. Kerava. Geopixel Oy.](#)

Häkli, P. - Puupponen, J. - Koivula, H – Poutanen, M. 2009. Suomen geodeettiset koordinaatit ja niiden väliset muunnokset. Geodeettisen laitoksen tiedote 30. Masala. Geodeettinen laitos.

Juhta 2008. JHS 153: ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. 27.6.2008. <http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/recommendations/153/full>

Juhta 2008. JHS 154: ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako. 14.10.2008. <http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/recommendations/154/full>

Juhta 2012. JHS 184: Kiintopistemittaus EUREF- FIN- koordinaattijärjestelmässä. 4.12.2012. <http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/recommendations/184/full>

Laurila, P. 2012. Mittaus ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu julkaisusarja D nro 3

Lehtinen, K. 2013. Rovaniemen kaupungin mittaustyönjohtajan haastattelu 18.3.2013.

Niemelä, O. 1998. Suomen karttojen tarina 1633-1997 Näin Suomi kartoitettiin katseltavaksi. Helsinki. Karttakeskus Oy.

Ollikainen M. 2012. Maanmittauslaitos ETRS89- koordinaattijärjestelmään. Maankäyttö 2/2012, 6-8.

Poutanen M. 1998. GPS-paikanmääritys. Hämeenlinna. Karisto Oy:n kirjapaino.

Rantatupa, H. – Teeriaho Y. 2011. Peruskarttamme pitkä polku. Maanmittaushallituksen topografit ry. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy

Unesco. 2005. THE STRUVE GEODETIC ARC – Submission to the World Heritage Committee for Inscription on the World Heritage List. Osoitteessa: <http://whc.unesco.org/uploads/nominations/1187.pdf> **18.1.2013**