

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Tero Piirainen

Keravan kaupungin runkopisteverkon saneeraus

Insinöörityö 4.5.2009

Ohjaaja: DI Jukka Hakala

Ohjaava opettaja: yliopettaja Vesa Rope

Tekijä Otsikko	Tero Piirainen Keravan kaupungin runkopisteverkon saneeraus
Sivumäärä Aika	54 sivua 4.5.2009
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	DI Jukka Hakala yliopettaja Vesa Rope
<p>Tässä insinööri­työssä on mitattu valikoitu osa Keravan kaupungin runkopisteverkosta GPS-tekniikalla ja tarkasteltu taso- ja korkeusrunkopisteiden tasalaatuisuutta.</p> <p>Työn tavoitteena oli määrittää sijainniltaan tarkasti tunnetut perusrunkopisteet myöhemmässä vaiheessa tapahtuvaa käyttökiintopisteverkon täydennysmittausta varten.</p> <p>Mittaus toteutettiin viidellä yhtä aikaa mittaavalla staattisella GPS-vastaanottimella, joilla mitattiin koko kaupungin alueen sisäänsä sulkeva pisteverkko. Verkkotasointu laskettiin ensin vapaana verkkona, minkä jälkeen verkko sidottiin neljän Maanmittauslaitoksen mittaaman EUREF-FIN-kiintopisteen avulla EUREF-FIN-koordinaatistoon.</p> <p>Tasointulaskennan tuloksina saatiin myös 3D-muunnosparametrit Keravan vj + N43-koordinaatiston ja EUREF-FIN-tasokoordinaatiston välille. EUREF-FIN-koordinaatit projisoitiin kahteen uuteen projektiokaistaan, GK25 ja TM35-FIN, mahdollista valtakunnallista paikkatietojen yhteiskäyttöä varten.</p> <p>Työssä tehtiin myös paikallinen EUREF-N43-pseudogeoidimalli, jonka avulla voidaan muuntaa korkeuksia eri korkeusjärjestelmien välillä noin 10 mm:n tarkkuudella.</p>	
Hakusanat	staattinen GPS-mittaus, EUREF-FIN, runkopisteverkko, WGS84

Author Title	Tero Piirainen Renewing the grid reference system of the city of Kerava
Number of Pages Date	54 4 May 2009
Degree Programme	Land Surveying
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Jukka Hakala, M.Sc. Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>In this bachelor thesis main aim was to measure and ensure the homogeneity of selected part of the grid reference and height systems of the city of Kerava. The target of this task was to achieve accurate control points for a subsequent inferiority reference point measurement.</p> <p>The survey was carried through with the five simultaneously measuring static GPS-receivers, which were used to measure the grid over city of Kerava area. The grid was first calculated by the free grid method and whereupon it was tied to EUREF-FIN coordinate system with four triangulation points measured by National Land Survey of Finland.</p> <p>As a result of this study, also transformation between the local vvj plane coordinates and the EUREF-FIN coordinates were accomplished. These computing results offer transformation parameters from the local vvj coordinates to GK25 and TM35-FIN plane coordinate systems. In addition, these parameters could be used in nationwide geographical information systems.</p> <p>Finally, as a result of this study, a local pseudogeoid model which enables the determination of transformation between different hight systems with the accuracy of 10 mm was accomplished.</p>	
Keywords	Static GPS-surveying, EUREF-FIN, grid reference system, WGS84

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Termit, lyhenteet ja määritelmät

1 Johdanto	8
2 Työn suunnittelu	9
2.1 Lähtötilanne	9
2.2 Pisteiden valinta	9
3 Mittaukset	11
3.1 GPS-verkon suunnittelu	11
3.2 Mittausten valmistelu	14
3.3 Mittauskalusto	15
3.4 Mittausten suorittaminen	16
3.5 Mittausdatan käsittely	17
4 Verkkotasoituksen laskenta	19
4.1 Verkkotasoituksen periaatteita	19
4.1.1 Vapaa verkkotasoitus	20
4.1.2 Verkon luotettavuus	23
4.2 Kytkeyty verkko	25
4.2.1 Yleistä	25
4.2.2 Kytkeytyn verkon laskenta	26
5 Koordinaatistomuunnokset	29
5.1 Yleistä muunnoksista	29
5.2 2D-muunnos	31
5.3 3D-muunnos	33
5.4 2D+1D-muunnos	35
6 Tuloksia	37
6.1 Muunnos EUREF-FIN-järjestelmästä Keravan vvj-järjestelmään	37
6.2 Muunnokset GK25- ja TM35-FIN-tasokoordinaatistoihin	38
6.2.1 GK25	38
6.2.2 TM35-FIN	40
6.3 Tulosten analysointia	42
7 Jatkotoimenpiteet	43

8 Yhteenveto	44
Lähteet	45
Liitteet	
Liite 1: Mittausohjeet maastoon	46
Liite 2: Mittausaikataulu	48
Liite 3: Raportti vektorilaskennasta	49
Liite 4: Pistekoordinaatit eri tasokoordinaatistoissa	51
Liite 5: 3D-muunnoksen yhteenveto	52
Liite 6: Keravan pseudogeoidi WGS84 \leftrightarrow N43	53
Liite 7: Pisteiden maantieteelliset EUREF-FIN-koordinaatit	54

Termit, lyhenteet ja määritelmät

Alkutuntematon	Kantoaallon jaksojen tuntematon lukumäärä katkeamattomassa mittausjaksossa yksittäisen satelliitin ja vastaanottimen välillä.
CF-muistikortti	CompactFlash-muisti, jota käytetään kannettavissa elektroniikkalaitteissa.
DOP	Dilution of precision, tarkkuuden epävarmuus. Ilmoittaa satelliittigeometrian vaikutuksen mittaustuloksen tarkkuuteen. Erilaisiin mitattaviin suureisiin liittyy erilaisia DOP-lukuja: GDOP Geometrinen (4D, kolme paikkakoordinaattia ja aika) PDOP Paikka (3D, kolme paikkakoordinaattia) HDOP Vaakasijainti (2D, tasokoordinaatit) VDOP Korkeus (1D) TDOP Aika (1D)
Ellipsoidi	Koordinaattijärjestelmän matemaattinen laskentapinta.
Geoidi	Maan painovoimakentän tasa-arvopinta, joka merialueilla yhtyy valtamerten keskivedenpintaan.
Geoidin korkeus (N)	Geoidin ja ellipsoidin välinen korkeusero. $N = h - H$, jossa h on ellipsoidinen korkeus ja H ortometrinen korkeus.
GPS	Global Positioning System. Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka koostuu; 1) avaruuslohkosta (21+3 satelliittia), tällä hetkellä 28 satelliittia, 2) valvontalohkosta (5 valvonta-asemaa), 3) sekä käyttäjistä (GPS-vastaanottimet).
GK25	Gauss-Krügerin sivuava, poikittainen lieriö karttaprojektio ja sivuttavan kaistan numero.

JHS	Julkishallinnossa käytettäväksi tarkoitettu yhtenäinen menettelytapa, määrittely tai ohje.
Monitieheijastus	Signaalin heijastumisesta aiheutuva virhe GPS-mittauksissa.
Narrowlane	L1- ja L2-kantoaalloista muodostettu lineaarikombinaatio, jonka aallonpituus on 10,7 cm. Käytetään kaksitaajuusvastaanotossa ionosfäärin vaikutuksen eliminoimiseen.
Pns-menetelmä	Pienimmän neliösumman menetelmä, matemaattinen optimointimenetelmä.
Reference-piste	Tukiasema. Differentiaalisessa GPS-mittauksessa (differential GPS) vastaanotin, joka on pystytetty tunnetulle pisteelle.
Rover-piste	Vastaanotin, joka liikkuu mittauksen aikana.
UTM	Universal Transverse Mercator. Kansainvälinen lieriöprojektiioon perustuva koordinaatisto. Suomessa TM35-FIN.
Vektori	Kahden havaintopaikan välinen kolmiulotteinen koordinaattieroista koostuva mittaustulos.
(φ, λ, h)	Maantieteelliset (geodeettiset) koordinaatit (Phi, Lambda, h = korkeus ellipsoidista)

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä perehdytään Keravan kaupungin runkoverkkoon sekä tutkitaan taso- ja korkeusrunkopisteiden homogeenisuutta koko kaupungin alueella.

Lähtökohtana on kaupungin vanha, eri vuosikymmeninä niin kolmio- kuin GPS-mittauksinkin tehty runkopisteverkko, jonka avulla ratkaistaan tarkat muunnosparametrit EUREF-FIN-liitokseen. Kaavoitusmittausohjeet 2003 antavat yleiset ohjeet ja määritelmät koordinaatistojen määrittämiseen ja sekä taso- että korkeuspisteiden mittaamiseen.

Aluksi työssä selvitetään alueella olemassa olevien käyttökiintopisteiden määrä sekä tarve niiden lisäämiseen. Keravalla, kuten muissakin pääkaupunkiseudun kehyskunnissa, rakentaminen on ollut nopeaa ja runsasta viime vuosien aikana. Tämä osaltaan jo antaa suuntaa sille, että uusille rakennettaville alueille, niin asumis-, yleisille kuin liiketoiminta-alueille, tarvitaan sijainniltaan luotettavia pisteitä kiinteistöjen muodostamista varten sekä varsinaista rakentamista varten.

Työ jakautui neljään osaan, tarpeen määrittämiseen, suunnitteluun, mittaamiseen sekä mittaustulosten laskentaan. Lopputuloksena oli tarkoitus saada sijainniltaan tarkasti tunnettu peruskiintopisteverkko, jota voidaan vuosittain tihentää uusilla käyttökiintopisteillä, ja tuottaa uusia korvaavia pisteitä tuhoutuneiden käyttökiintopisteiden tilalle GPS- ja takymetrimittauksin. Työstä laadittiin myös kaavoitusmittausohjeiden mukainen työkansio, joka arkistoidaan Keravan kaupungin mittausosaston arkistoon.

2 Työn suunnittelu

2.1 Lähtötilanne

Työsuunnitelman perustana oli perus- ja käyttökiintopisteiden tarve. Keravan tasokiintopisteverkon pisteet ovat joiltakin alueilta lähes kokonaan kadonneet, ja myös uusia kaupunginosia on rakennettu. Näille alueille on rakennettava ja mitattava uusia käyttökiintopisteitä. Jotta uudet pisteet olisivat käyttökelpoisia ja sijainniltaan tarkkoja, oli kaupungin vanha runkopisteverkko mitattava uudestaan GPS-mittauksin. Vanhat runkopisteverkot voivat sisältää verkon sisällä sijaintivirheitä, johtuen vanhoista mittaustulosten laskentatavoista. GPS-mittauksin nämä virheet voidaan eliminoida GPS-tekniikan paremman mittaustarkkuuden ansiosta. Näin toimien pystyttiin varmistamaan, että runkopisteverkko on koko kaupungin alueella homogeeninen ja uudet pisteet pystytään mittaamaan ja laskemaan mahdollisimman pienillä sulkuvirheillä verkon sisälle. Mittaukset päätettiin toteuttaa elokuussa 2008 viidellä staattisella GPS-mittauskalustolla.

2.2 Pisteiden valinta

Mittaukseen mukaan otettavien pisteiden valinta aloitettiin arkistotutkimuksilla ja maastokäynneillä, joiden yhteydessä tutkittiin vanhojen runkopisteiden käyttökelpoisuus uudelleenmittaukseen. Tavoitteena oli saada kaupungin alueelle tasaisesti jakautunut verkko, jota voidaan tihentää GPS- ja takymetrimittauksin käyttökiintopisteverkoksi seuraavien vuosien aikana.

Hyvän mittausperiaatteen mukaisesti koko mitattavan alueen on jäätävä lähtöpisteiden muodostaman monikulmion sisään, jotta virheiden kasautuminen pysyy hallinnassa. Tästä syystä valittiin ensin kaupungin ulkopuolelta riittävän monta tunnettua pistettä, jotta koko mitattava alue sulkeutuu sen sisäpuolelle. Pisteet olivat vanhoja I ja III luokan kolmiopisteitä, joista kolme oli mitattu myös EUREF-FIN-koordinaatistoon Maanmittauslaitoksen toimesta. Täten verkon koordinaatiston muunnokset ja vertailu

toiseen koordinaatistoon oli helposti toteutettavissa matemaattisin menetelmin verkonlaskentavaiheessa. Reunimmaisat pisteet sijaitsivat Keravan naapurikunnissa, Tuusulassa, Sipoossa ja Vantaalla. Näille kaikille oli aiemmin kolmiomittauksin mitattu Keravan vvj-koordinaatistossa olevat koordinaatit

Mittauksiin mukaan otettiin Järvenpäästä yksi piste, jolle ei ollut Keravan koordinaattijärjestelmässä olevia koordinaatteja. Tämä tehtiin siksi, että mitattava alue saatiin kokonaan sulkeutumaan mitattavien vektoreiden sisään myös Keravan pohjoisosassa.

Seuraavaksi valittiin alueen sisäpuolelle sopiva määrä mitattavia pisteitä, noin 1–2 kilometrin etäisyydelle toisistaan. Tässäkin pystyttiin hyödyntämään vanhoja III-luokan kolmiopisteitä sekä vanhoja GPS-pisteitä. Näissä oli se suuri etu, että ne on lähes kaikki rakennettu kallioille ympäröivää maastoa ylemmäksi, joten pisteiden liikkumattomuus ja esteetön näkymä taivaalle oli yleensä hyvä. Kaikilla näillä pisteillä on myös Keravan vvj-koordinaatit, ja tasoituslaskennassa Helmert-muunnos onnistuu sitä paremmin, mitä enemmän siinä on vvj-koordinaatistossa tunnettuja pisteitä mukana. Osa Keravan vanhoista GPS-pisteistä on rakennettu aukeille paikoille niitä varten rakennettuihin kaivoihin, jolloin on pyritty varmistamaan pisteiden hyvä liikkumattomuus. Yhdelle kaupungin alueella olevalle pisteelle oli mitattu EUREF-FIN-koordinaatit, ja näin saatiin neljäs piste EUREF-FIN-muunnokseen.

Aluksi valittiin kaupungin sisäpuolelta runsaat neljäkymmentä pistettä, joiden käyttökelpoisuus GPS-mittaukseen todettiin järjestelmällisillä maastotutkimuksilla. Lopulliseen mittaukseen valittiin kaupungin alueelle sopivin välein 25 pistettä, joille kaikille tehtiin estepiirros havaintoajankohdan määrittämistä varten. Piirroksen merkittiin kaikki pisteen ympärillä oleva 15°:n kulmassa horisontaalitasosta ylöspäin katveta aiheuttava kasvillisuus tai muu vastaava, joka mitattaessa mahdollisesti aiheuttaa monitieheijastuksia tai esteen. Joillakin pisteillä jouduttiin kasvillisuutta raivaamaan näkyvyyden varmistamiseksi.

3 Mittaukset

3.1 GPS-verkon suunnittelu

Mittausten suunnittelu aloitettiin valittujen pisteiden välille muodostuvien kolmi- ja nelikulmaisten geometristen silmukoiden suunnittelulla. Näin varmistettiin jokaiselle pisteelle useammassa havaintojaksossa mitattuja havaintoja, jolloin saatiin riittävästi ylimääritystä tasoituslaskentaan. Tämä auttoi paljastamaan mahdollisia karkeita virheitä havainnoissa.

Mittaussilmukassa tulee olla vektoreita vähintään kahdesta havaintojaksosta. Silmukka ei myöskään saa sulkeutua yhdessä havaintojaksossa. Jos seuraavassa havaintojaksossa oli samoja pisteitä edellisen kanssa, oli mittausryhmän tehtävä uusi laitteiston keskistys pisteelle, näin varmistettiin vektoreiden riippumattomuus. Silmukoiden mittausajankohdalla ja järjestyksellä ei ole merkitystä.

Kaavoitusmittausohjeet 2003 antavat seuraavanlaisen määrityksen vektoreiden lukumäärälle silmukassa (taulukko 1). Tässä työssä käytettiin peruskiintopisteille tarkoitettua menetelmää.

Taulukko 1. Havaintojaksojen pituus ja silmukoiden lukumäärä jaksossa eri luokan pisteille [1].

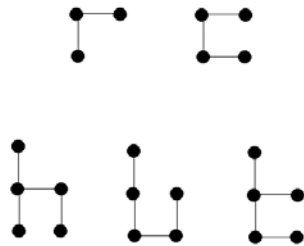
	Mittausmenetelmä	Silmukassa vektoreita	Jakson pituus
Peruskiintopisteet	Staattinen	enintään 4	45–90 min
Käyttöpisteet (1 ja 2 mittausluokka)	Staattinen	enintään 5	30–60 min
Käyttöpisteet (3 mittausluokka)	Staattinen pikamittaus	enintään 5	5–30 min

Havaintojaksossa mitattavien ei-triviaalien vektoreiden lukumäärä saadaan laskettua vähentämällä yksi vastaanottimien lukumäärästä $v = r - 1$, missä v = vektoreiden lukumäärä ja r = vastaanottimien lukumäärä.

Triviaaleja vektoreita havaintojaksossa syntyy kaavalla $tv = \frac{(r-1)(r-2)}{2}$. Triviaalit

vektorit, eli ne, jotka ratkeavat trigonometrisesti muiden vektoreiden avulla, eivät tuo

laskentaan parempaa tarkkuutta. Verkon laskennassa ja verkkotasoituksessa huomioitiin ainoastaan ei-triviaalit vektorit.



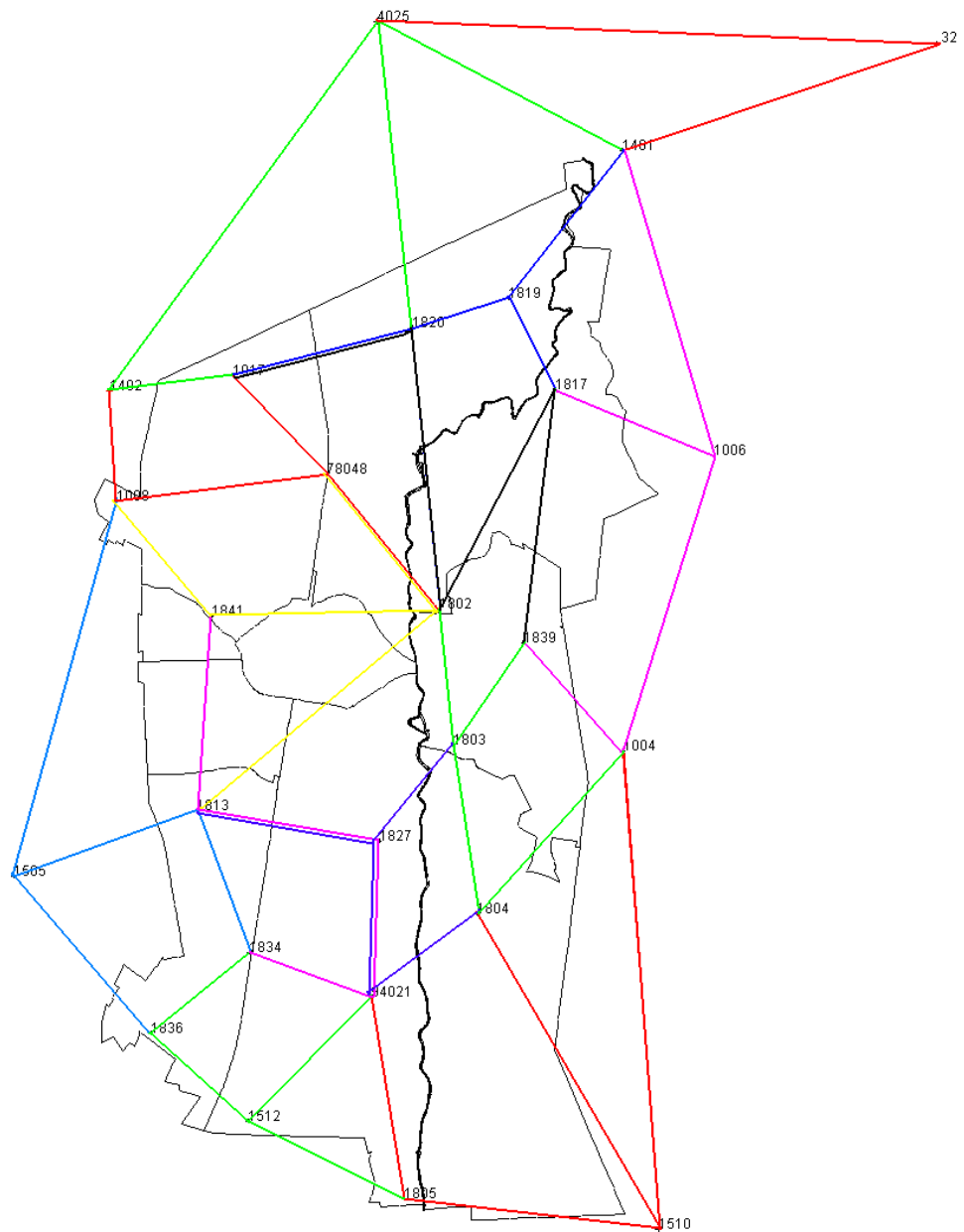
Kuva 1. Mahdolliset etenemiskuviot ei-triviaalien vektorien suhteen kolmella, neljällä ja viidellä vastaanottimella [2, s. 49].

Suunnittelussa käytettiin kuvan 1 mukaisia havaintojaksojen etenemiskuvioita. Näin menetellen pystyttiin varmistamaan, että silmukat eivät sulkeudu yhdessä havaintojaksossa.

GPS-mittausten laadunvalvonta voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen:

- vektorilaskenta (alkutuntemattomien ratkaisu)
- sulkuvirhetarkastelu
- verkkolaskenta (tasointus).

Havaintojaksoissa mitattavat vektorit suunniteltiin piirtämällä ne erivärisillä värikynillä 3D-Winillä tulostetuille kartakkeille. Tämä helpotti hahmottamaan havaintojaksojen lukumäärää ja sitä, että jokaiselle pisteelle tuli vähintään kolme vektoria (kuva 2).



Kuva 2. Havaintojaksoissa mitattavat vektorit eri väreillä kuvattuna. Näin jokaisen havaintojakson mittauskuvio on helppo hahmottaa.

3.2 Mittausten valmistelu

Mittausaikataulun suunnitteluun käytettiin Leica Geo Office Tools -ohjelmaa, jolla piirrettiin jokaisen pisteen esteellisyyskortti sähköiseen muotoon, jonka mukaan tietokone ohjelma laski satelliittikalenterista mahdolliset mittausajankohdat. Mittausajankohdan määrittämisessä hankaluuksia tuotti saada yhtäaikainen havaintojakso kaikille viidelle eri pisteelle vähintään 75 minuutin ajanjakso niin, että vähintään neljä satelliittia oli havaittavissa koko ajan. Hankaluuksia aiheuttivat muun muassa moottoritien sekä junaradan viereiset pisteet, jolloin osalla pisteistä oli esteetön näkyvyys suunnassa etelä-itä ja osalla suunnassa etelä-länsi. Tämän johdosta yhtäaikaiset mittausajankohdat olivat harvassa päivän aikana. Omalta osaltaan suunnitelmaa rajoitti myös Keravan kaupungin vuokraamien GPS-vastaanottimien vuokra-aika, joka oli vain viikon mittainen.

Myös kahden pisteen sijainti aiheutti ylimääräistä huomioitavaa. Toinen oli Tuusulan varuskunta-alueella sijaitseva piste, jolloin vaadittiin puolustusvoimien lupa alueella oleskeluun ja heidän edustajansa läsnäoloa mittausten ajan. Toinen sijaitsi Keravan vankilan alueella, mikä myös vaati ennakkoilmoituksen alueella työskentelystä.

Havaintojaksojen aikatauluja tehtäessä piti huomioida myös mittausryhmien siirtymäajat seuraaville pisteille, ja aikaa täytyi varata sopivasti myös kaluston oikeaoppiseen pystytykseen. Tämän muistamista helpottaakseni kirjoitin maastoryhmille pienen ohjeen havaintojakson aloittamiseen ja lopettamiseen (liite 1).

3.3 Mittauskalusto

Kalustona oli Leica Nilomark Oy:ltä vuokratut viisi staattiseen mittaukseen soveltuvaa laitteistoa. Mittausdatan vektoreiksi laskemista varten käytettiin Leica Geo Office -ohjelmaa, johon saatiin käyttöoikeus kahden viikon ajaksi.

Keravan kaupungin omaa GPS-kalustoa ei käytetty, sillä erilaiset antennigeometriat eri valmistajien välillä olisi pitänyt huomioida laskettaessa havaintoja vektoreiksi. Tämä olisi voinut aiheuttaa systemaattista virhettä havaintoihin.

Mittauksissa käytetyt vastaanottimet ja antennit olivat,

Leica SR550 ja AX1202-antenni (2 kpl)

Leica ATX1230 ja ATX-antenni (2 kpl)

Leica GX1230GG ja AX-antenni.

Laitteiden valmistaja ilmoitti vastaanottimien tarkkuudeksi staattisessa mittauksessa seuraavat arvot [3]:

Taso (X, Y): 5 mm + 0.5 ppm, staattinen

Pysty (Z): 10 mm + 0.5 ppm, staattinen

Jokaiselle laitteistolle oli kolmijalat, optinen pakkokeskistysalusta sekä kannatin antennille. Lisäksi jokaiseen vastaanottimeen kuuluivat Leican mittanauhat, jotka kiinnitetään suoraan kannattimeen, jolloin saadaan tarkka korkeus antennin korkeuden määrittämiseen. Jokaisella ryhmällä oli myös kompassi antennin suuntaamiseksi pohjoiseen sekä gsm-puhelin, jotta tekstiviestillä voitiin varmistaa mittauksen aloittamisen ja lopettamisen yhtäaikaisuus.

3.4 Mittausten suorittaminen

Mittauksissa käytettiin ainoastaan GPS-satelliitteja, sillä kaksi vastaanottimista ei ollut Glonass-yhteensopivia. Kaikki laitteet olivat kuitenkin kaksitaajuusvastaanottimia, joten laitteet käyttivät L1- ja L2-taajuuksia. Havaintojen tallennusväli vastaanottimissa asetettiin kymmeneen sekuntiin (liite 3).

Mittaukset suoritettiin kuuden päivän aikana 13 havaintojaksossa. Yhdessä havaintojaksossa saatiin mitattua 4 ei-triviaalia vektoria aiemmin esitellyn mittaustavan mukaan. Mittausajankohdat oli suunnitteluvaiheessa määritelty ± 15 minuutin tarkkuudella. Jokainen mittausryhmä hakeutui omalle mittauspisteelleen tekemäni havaintojaksoaikataulun mukaisesti (liite 2), asemoi kaluston, informoi minua ja odotti lupaa mittaamisen aloitukseen. Kun kaikki havaintojakson kojeasemat olivat valmiit mittaamiseen, mittaaminen aloitettiin yhtä aikaa. Mikäli GDOP-arvot ylittivät jollakin kojeasemalla sallitun (< 8.0), ryhmä informoi minua ja minä saamieni tietojen mukaan muita ryhmiä, mikäli mittausta jatkettiin yhtäläisen minuuttimäärän verran, jotta saatiin varmasti hyviä samanaikaisia havaintoja.

Mittaukset sujuivat suunnitelmien mukaan, tosin yksi vastaanottimen CF-muistikortti meni yhden havaintojakson alussa epäkuntoon mikä aiheutti kolmen vektorin mittauksen epäonnistumisen havaintojaksossa. Näistä kaksi saatiin kuitenkin toisessa havaintojaksossa mitattua uudestaan, sillä kaavoitusmittausohjeissa vaaditaan vähintään 15 % vektoreiden lukumäärästä kahteen kertaan mitattaviksi [1]. Näin vain yksi vektori jäi havaintojen osalta huonoksi. Tämä myös näkyi verkkotasoituksen yhteydessä, mutta kyseiselle vektorille ei enää tiukasta aikataulusta johtuen löytynyt uutta kelvollista mittaajankohdtaa.

3.5 Mittausdatan käsittely

Jokaisen vastaanottimen CF-muistikortti purettiin Leica Geo Office -ohjelmalla mittauspäivän päätteeksi tietokoneelle. Mittausdatalle ei tarvinnut tehdä sisäänlukuvaiheessa mitään muutoksia, sillä havaintopisteen numero sekä antennikorkeudet syötettiin vastaanottimeen jo havaintojakson alussa kojeen pystytyksen yhteydessä (liite 1). Ohjelma myös tunnisti datasta automaattisesti käytetyn vastaanottimen antennin sekä sarjanumeron (liite 3).

Tämän jälkeen havainnot laskettiin vektoreiksi havaintojakso kerrallaan käyttämällä narrowlane-menetelmää (L1+L2) [4]. Laskennassa käytettiin ohjelman tarjoamaa ilmakehän aiheuttamien virheiden korjausmallia. Kaavoitusmittausohjeet 2003 sisältää seuraavanlaisen ohjeistuksen verkkolaskentaan: ”Vektoreiden ratkaisu vaihehavainto-aineistosta tehdään ohjelmistovalmistajan ohjeiden mukaisesti. Ratkaisun luotettavuutta voi ohjelmiston antaman informaation lisäksi arvioida tarkastelemalla silmukoiden sulkuvirheitä ja kahteen tai useampaan kertaan havaittujen vektoreiden pituuksia”.

Havaintojaksosta valittiin yksi pisteistä refenssipisteeksi ja muut rover-pisteeksi mittauskuvion mukaan. Näin pisteiden väleistä muodostui vektoreita, jotka sitten myöhemmässä vaiheessa saatiin luettua verkkotasoitushjelmaan. Ohjelman ilmoittamat havaintojen laatulukemat olivat millimetrin kymmenyksiä, mutta vektorilaskennan antamat keskivirheet ovat usein liian optimistisia, sillä niissä näkyy vain vektoreiden päätepisteiden välinen sisäinen tarkkuus. Kokemuksesta tiedetään, että tarkastellassa vektorin tarkkuutta koko verkon suhteen, eli kun tarkastellaan myös sen ulkoista tarkkuutta, erilaiset ulkoiset virhelähteet, kuten päätepisteiden keskistysvirheet (xyz), aiheuttavat sen että vektorikomponenttien ulkoinen tarkkuus on yleisesti luokkaa $\sim 5 \text{ mm} \pm 0.5\text{--}1 \text{ ppm}$ [5]. Myös laitevalmistajien ilmoittamat tarkkuusluvut tukevat tätä (liite 3).

Tässä vaiheessa mittausdataa pystyi vielä jälkikäsittelemään Leica Geo Office -ohjelmalla, esimerkiksi poistamalla häiriötä aiheuttavia, yksittäisiä vain hetkellisesti näkyneitä satelliitteja. Myös laskennassa käytettävää havaintoajankohtaa pystyi tässä vaiheessa hieman muokkaamaan, jotta kaikilla pisteillä olisi ollut mahdollisimman paljon yhteisiä satelliitteja alkutuntemattomien ratkaisemiseen.

Kaavoitusmittausohjeiden mukaan ennen tasoitusta analysoidaan mitatut vektorit ja tarkistetaan sulkeutuvien kuvioiden sulkuvirheet. Ohjeiden mukaisten sulkuvirheiden on oltava <20 ppm [1]. Tässä projektissa päästiin tavoitetarkkuuden alle mainiosti, sulkuvirheet olivat suurimmillaan noin 6–7 ppm.

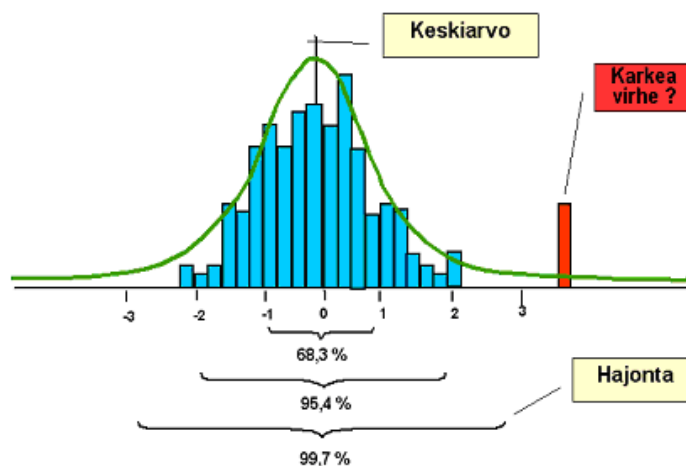
Tässä työssä kaikki mitattavat vektorit olivat alle 5 kilometrin mittaisia, joten broadcast-ratatiedot riittivät vektoreiden ratkaisemiseen [6]. Pidemmässä, 5–50 kilometriä pitkissä vektoreissa korjatut ratatiedot täytyy huomioida laskennassa. Toteutuneet ratatiedot ovat ladattavissa NASA:n internetsivuilta kahden viikon kuluttua havaintoajankohdasta [7].

4 Verkkotasoituksen laskenta

4.1 Verkkotasoituksen periaatteita

Koska kaikki mittaustulokset sisältävät käytännössä aina mittausvirheitä, mittaustulokset eivät käytännössä koskaan ratkea täsmällisesti, vaan on etsittävä pns-menetelmällä mahdollisimman hyvä ratkaisu. Jos mittauksissa ei tehdä karkeita virheitä, tulos on periaatteessa sitä tarkempi, mitä useampia mittauksia on tehty.

Pns-menetelmällä tehdyssä verkkotasoituksessa pyritään poistamaan kaikki karkeat virheet, jotka muuten leviäisivät koko verkon alueelle, jolloin verkon tarkkuus kärsisi (kuva 3). Hyvin suunnitellussa ja toteutetussa verkossa systemaattiset ja karkeat virheet voidaan paikallistaa automaattisesti virhetestissä. Virheet paljastetaan niihin liittyvien havaintojen jäännösvirheistä, jolloin ne eivät leviä pitkin verkkoa muihin havaintoihin.



Kuva 3. Normaalisti jakautuneet havainnot ja yksi selkeästi poikkeava, eli karkea virhe, joka vääristää keskiarvoa [8].

Karkeiden virheiden testaus on olennainen osa tasoitusprosessin laadunvalvontaa. Vain hyvillä havainnoilla päästään hyviin lopputuloksiin.

4.1.1 Vapaa verkkotasoitus

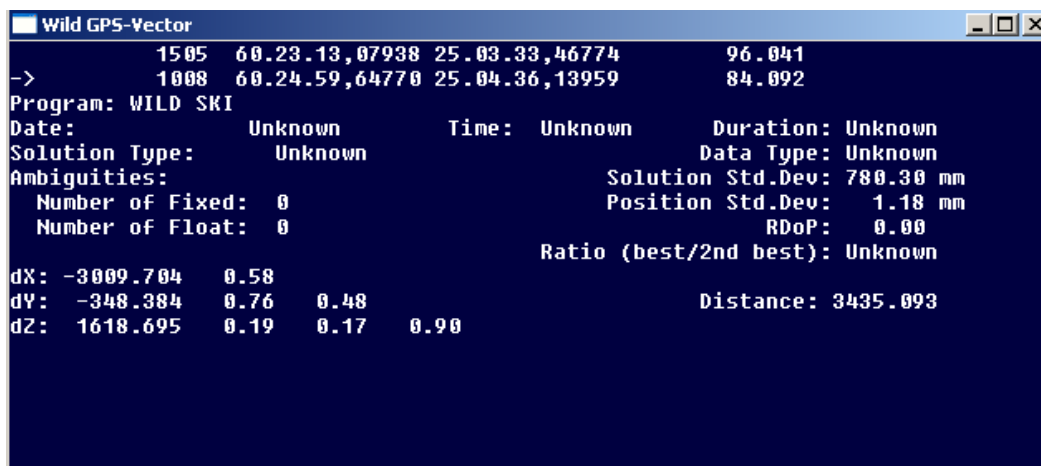
Verkkotasoitus tehtiin Inpho Technologyn Global XPositioning System

-verkkotasoitusohjelmalla. Vektoreita voitiin tarkastella yksitellen ja arvioida niiden laatua (kuva 4). Delta XYZ näyttää vektorin komponentit, joiden neliöiden summan neliöjuuresta saadaan vektorin pituus. Havaintojen tarkkuus, eli arviot keskivirheille saadaan vieressä esitetystä kovarianssimatriisin alakolmiosta. Diagonaalelementit, eli päälävistäjällä vinosti alas oikealle menevät elementit ovat vektorikomponenttien (Delta XYZ) keskivirheitä samassa järjestyksessä [5]. Kuvan 4 vektorin lasketut virhearviot olivat,

X: ± 0.58 mm

Y: ± 0.48 mm

Z: ± 0.90 mm.



```

Wild GPS-Vector
1505 60.23.13,07938 25.03.33,46774 96.041
-> 1008 60.24.59,64770 25.04.36,13959 84.092
Program: WILD SKI
Date: Unknown Time: Unknown Duration: Unknown
Solution Type: Unknown Data Type: Unknown
Ambiguities: Solution Std.Dev: 780.30 mm
Number of Fixed: 0 Position Std.Dev: 1.18 mm
Number of Float: 0 RDoP: 0.00
Ratio (best/2nd best): Unknown
dX: -3009.704 0.58
dY: -348.384 0.76 0.48 Distance: 3435.093
dZ: 1618.695 0.19 0.17 0.90
  
```

Kuva 4. Sisään tuodun vektorin tiedot. Ylhäällä pistenumero ja navigointiratkaisun likiarvo-koordinaatit.

Aito vapaa verkko -menetelmällä saatiin verkolle optimaalinen datumi ja origo asettui automaattisesti verkon painopisteeseen. Vaihtoehtoisesti verkko olisi voitu laskea osittain kytkettynä, jolloin yksi verkon pisteistä olisi valittu mahdollisimman läheltä verkon painopistettä, joka olisi ollut laskennassa paikallaan.

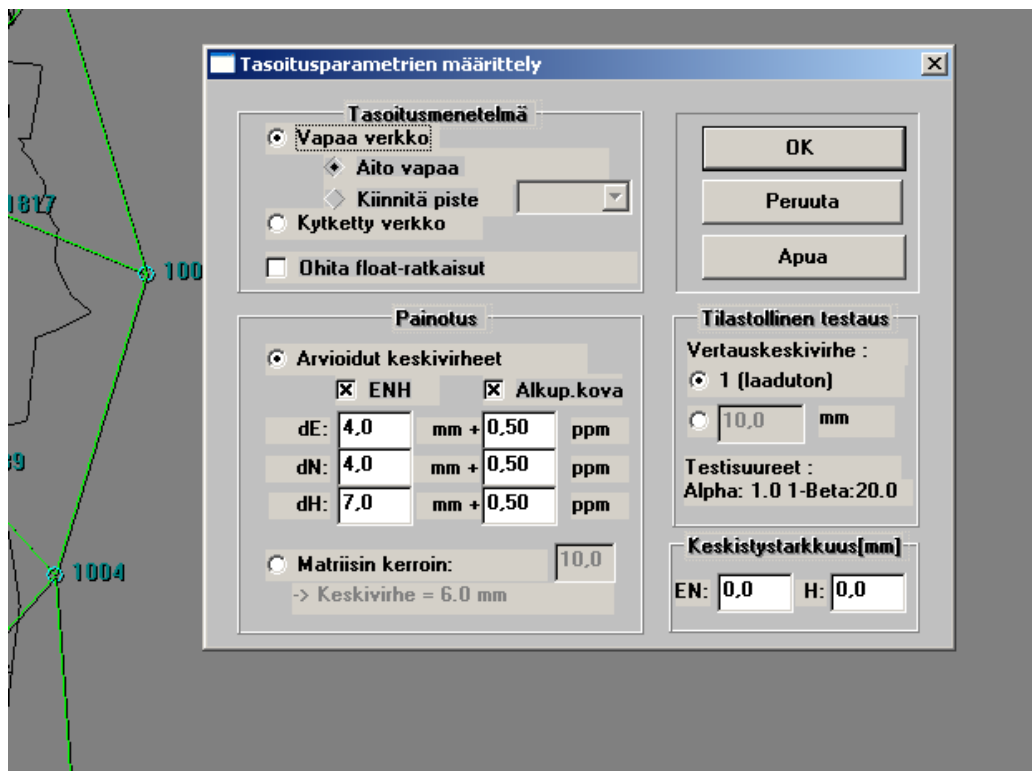
Jotta vältettäisiin lähtöpisteiden mahdollisten virheiden sekoittuminen havaintoihin, olisi suotavaa tasoittaa kaikki geodeettiset verkot ensin vapaana verkkona. Näin voidaan todentaa mahdolliset virheet verkosta, tai jos verkon sisäiset havainnot sopivat hyvin

keskenään, mutta verkko ei asetu tunnettuihin lähtöpisteisiin, voidaan päätellä näiden sisältävän virhettä. Edellä mainitun metodin mukaisesti toimien saatiin haettua karkeat virheet mitatuista vektoreista verkon sisällä. Jokainen löydetty karkean virheen sisältävä vektori deaktivoitiin ja tasoitus laskettiin uudestaan, kunnes karkeita virheitä ei enää esiintynyt.

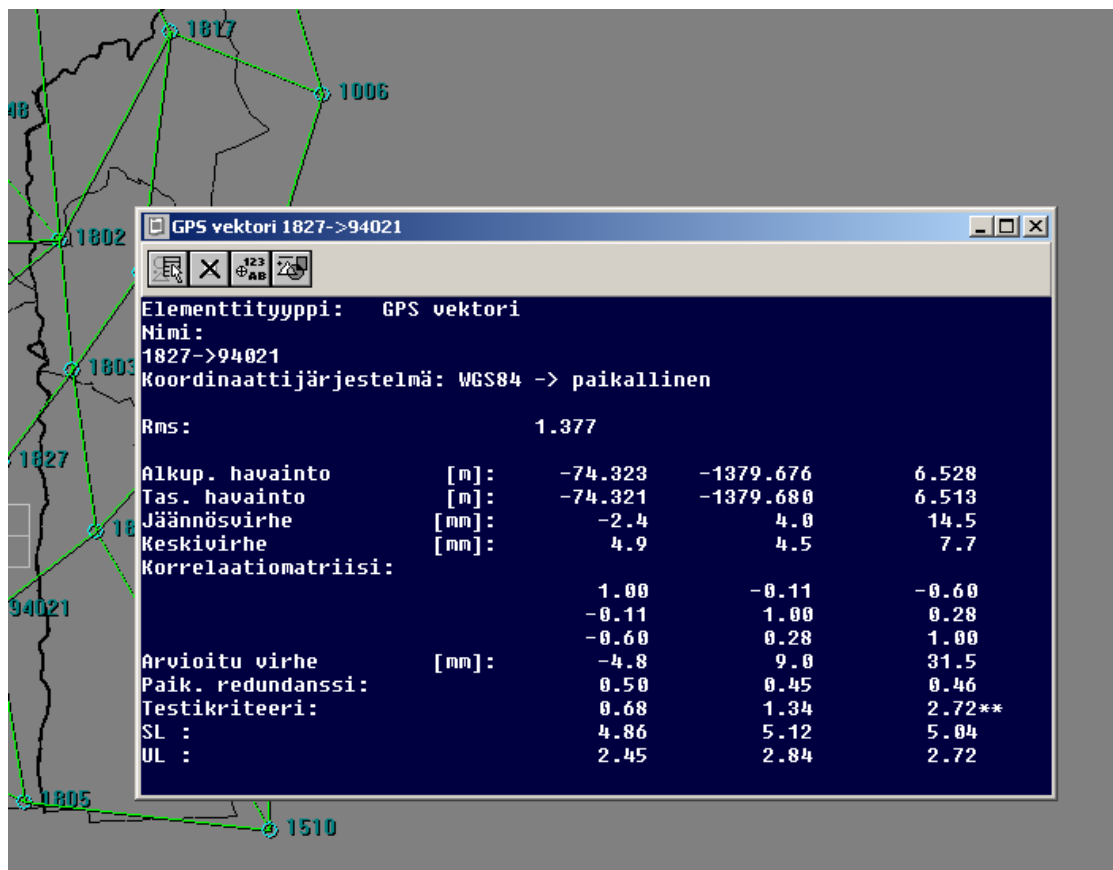
Vapaan verkon laskennassa käytettiin hieman pienempiä arvioitujen keskivirheiden painotuksia kuin GPS-vastaanottimien laitetoimittaja ilmoitti (kuva 5) [3].

(X, Y): 4 mm + 0.5 ppm

(Z): 7 mm + 0.5 ppm



Kuva 5. Vapaa verkko -tasoislaskennan asetukset ja painotukset.

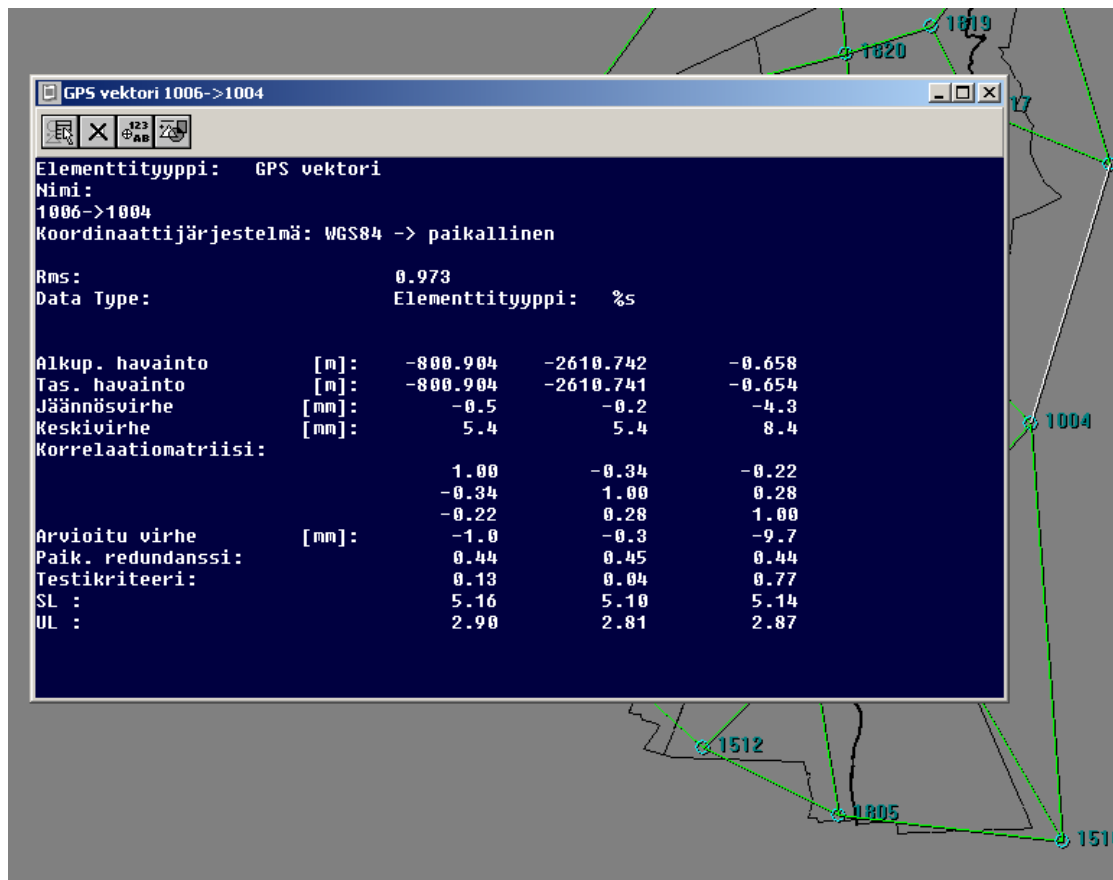


Kuva 6. Tasoitusohjelma ilmoittaa epäilemättään karkeasta virheestä, pistevälillä 1827–94021. Virheen suuruus arvioidussa virheessä (mm).

Tasoituslaskennassa käytetty ohjelma sisältää niin sanotun ”data-snooping”-toiminnon, joka matemaattisin menetelmin paljasti verkosta karkeat virheet. Verkosta ei löytynyt kuin yksi karkean virheen sisältävä vektori (kuva 6). Virhe aiheutui todennäköisesti liian lyhyeksi jääneestä havaintoajasta, joka johtui vastaanottimen muistikortin toimintahäiriöstä. Vasta kun kaikki mahdolliset karkean virheen sisältävät vektorit oli poistettu aineistosta, oli verkon tasoittaminen kytkettynä verkkona järkevää.

4.1.2 Verkon luotettavuus

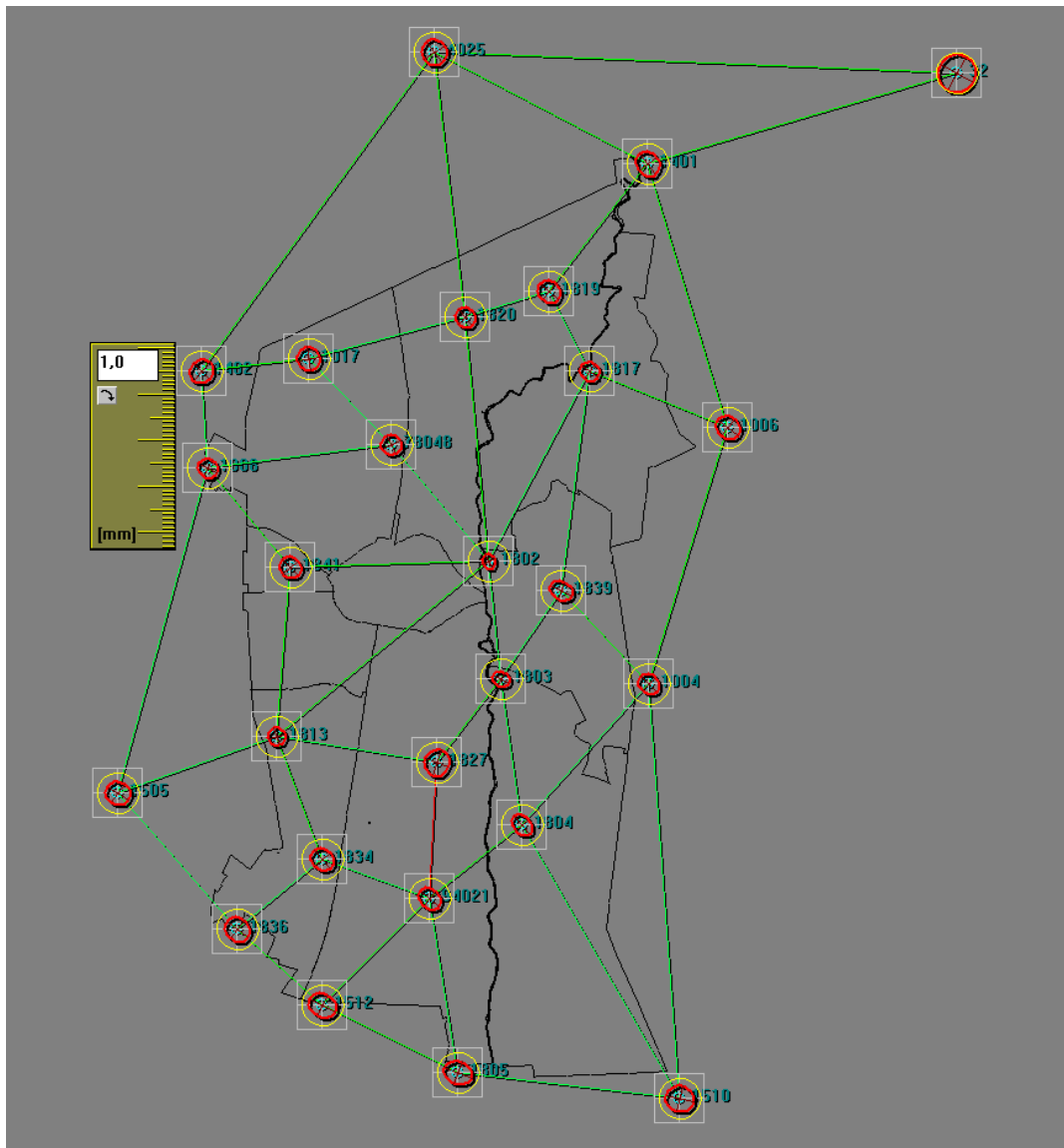
Geodeettisten verkkojen laatua voidaan tarkastella sisäisen ja ulkoisen luotettavuuden avulla. Sisäisellä luotettavuudella tarkoitetaan verkon rakenteellista kykyä paljastaa havainnoissa olevia karkeita ja systemaattisia virheitä (kuva 7).



Kuva 7. Hyvin onnistuneen vektorin tasoitustulokset. Arvioidut virheet ja jäännösvirheet ovat pieniä. Vertaa arvioituja virheitä kuvaan 6.

Geodeettisen verkon ulkoisella luotettavuudella tarkoitetaan virhetestissä paljastumattomien verkon karkeiden virheiden vääristävää vaikutusta tasoitustuloksiin.

Verkon sisäistä tarkkuutta voidaan havainnollistaa virhe-ellipsien ja tavoitetarkkuuksien avulla (kuva 8). Kuvasta näkyy, että virhe-ellipsit ovat lähes pyöreitä. Virhe-ellipsien ympärillä on tavoitetarkkuusympyrä, joka kuvaa laskenta-asetuksissa määriteltyä 10 mm:n sijaintitarkkuutta Keravan vvj-koordinaattipisteille.



Kuva 8. Virhe-ellipsit, tavoitetarkkuudet (keltainen rengas) sekä mittatikka vapaan verkkotasoituksen jälkeen.

4.2 Kytetty verkko

4.2.1 Yleistä

Satelliittimittausten havaintokoordinaatisto on kolmiulotteinen avaruuskoordinaatisto WGS84. Järjestelmä on maakeskinen 3-ulotteinen koordinaattijärjestelmä ja sen origo on Maan massakeskipisteessä. Suomen alueella käytettävä EUREF-FIN-koordinaatisto on laskennan kannalta riittävällä tarkkuudella yhtenevä WGS84-järjestelmän kanssa. Kytettäessä WGS84-järjestelmässä olevia havaintoja EUREF-FIN-koordinaatistoon täytyy ensin muuttaa maantieteelliset (φ , λ , h) koordinaatit suorakulmaiseen (X , Y , Z) koordinaatistoon.

Geodeettiset koordinaatit voidaan muuntaa 3D-suorakulmaisiksi koordinaateiksi koordinaatistossa, joka sijoitetaan vertausellipsoidiin nähden siten, että koordinaatiston origo yhtyy ellipsoidin keskipisteeseen, Z -akseli yhtyy pyörähdysakseliin, ja positiivinen X -akseli kulkee pisteen ($\varphi = 0$, $\lambda = 0$) kautta.

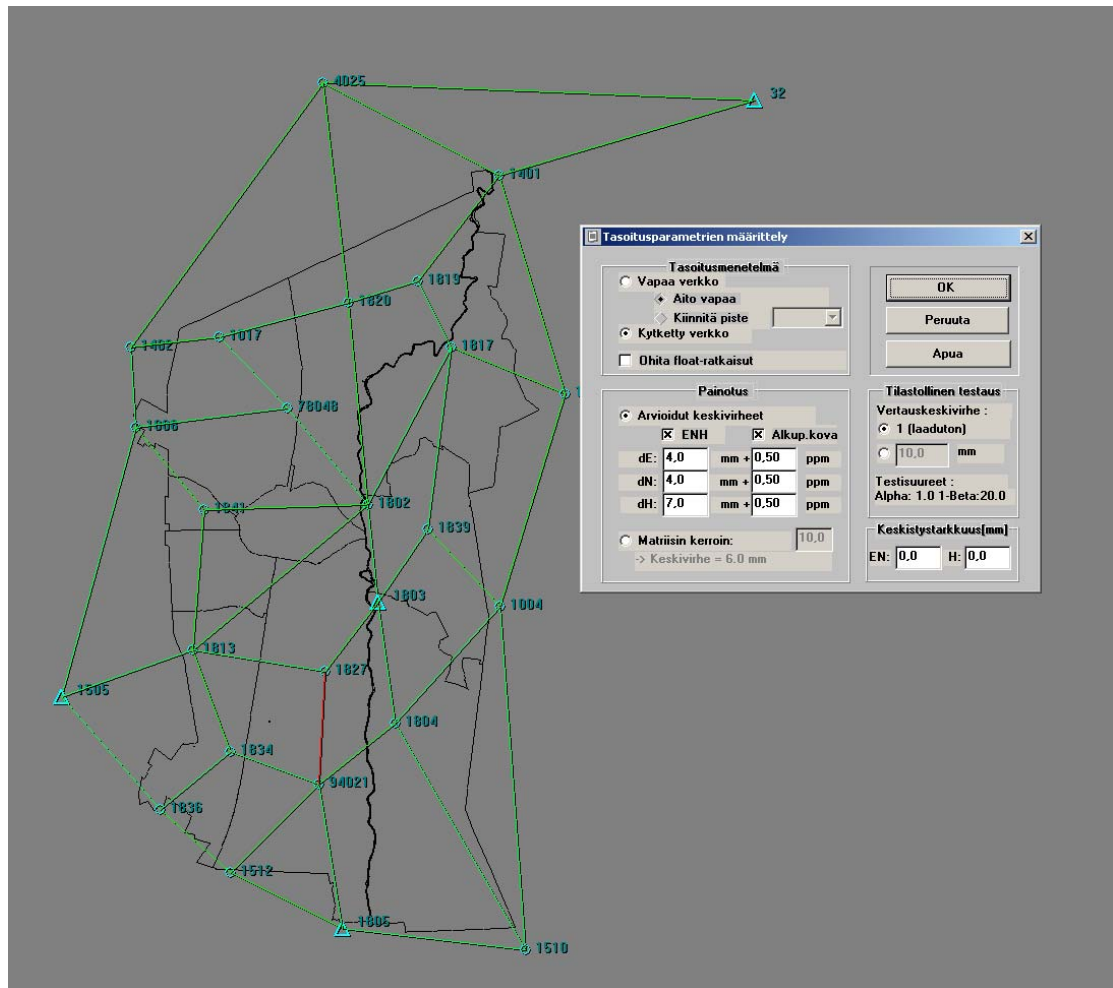
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [N + h] \cos \varphi \cos \lambda \\ [N + h] \cos \varphi \sin \lambda \\ [N(1 - e^2) + h] \sin \varphi \end{bmatrix}$$

missä N on ellipsoidin poikittaiskaarevuussäde
ja e ellipsoidin ensimmäinen eksentrisyys eli epäkeskisyys [9] .

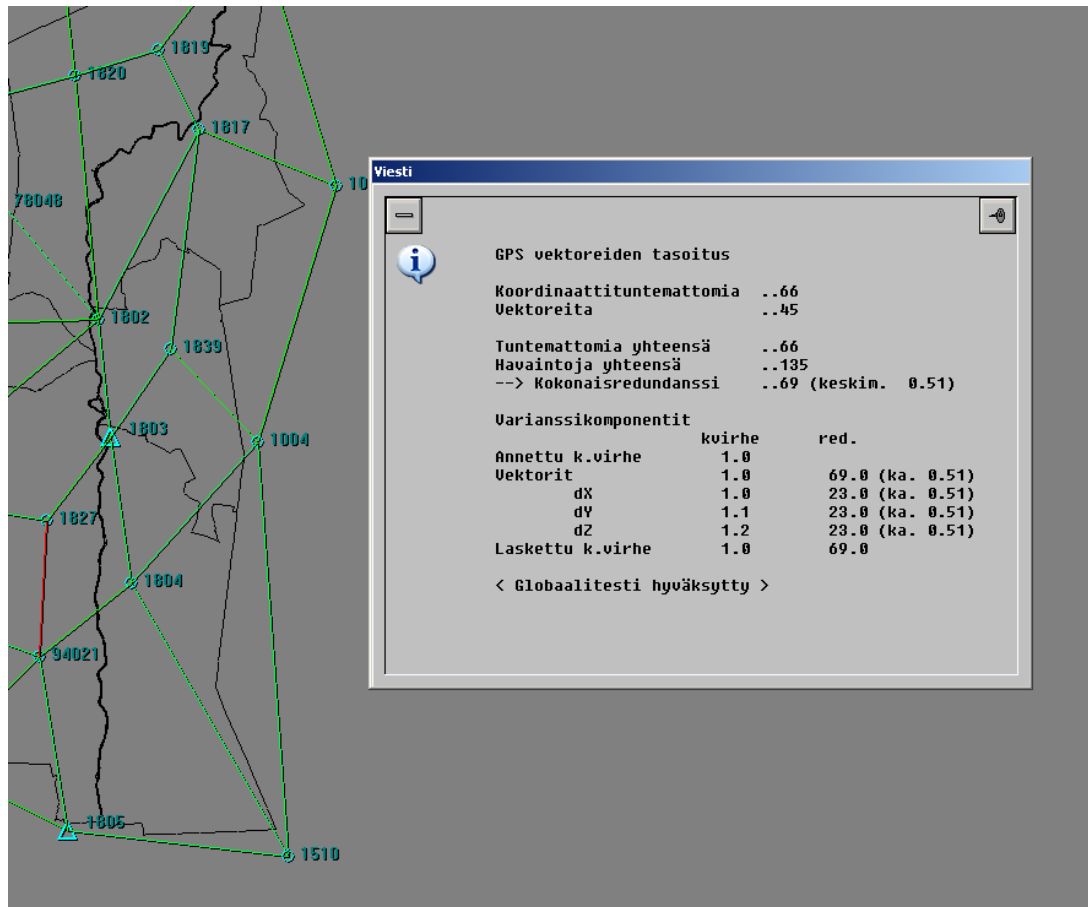
4.2.2 Kytketyn verkon laskenta

Kun vektorihavaintojen laatu oli varmistettu vapaan verkon tasoituksella, verkko liitettiin kytketyn verkon tasoituksella EUREF-FIN-koordinaatistossa olevien lähtöpisteiden määrittelemään koordinaattirunkoon. Lähtöpisteinä käytettiin Geodeettisen laitoksen ja Maanmittauslaitoksen mittaamia, sijainniltaan tarkasti tunnettuja EUREF-FIN-koordinaatistossa olevia kiintopisteitä.

Laskentaohjelmaan luettiin sisään koordinaattitiedosto, joka sisälsi mittauksessa mukana olleet neljä Maanmittauslaitoksen mittaamaa EUREF-FIN-koordinaattipistettä (kuva 9) (1505, 1803, 1805 sekä 32).



Kuva 9. Kytketyn verkon laskenta-asetukset ja EUREF-FIN-koordinaattipisteet sinisillä kolmioilla merkittyinä.



Kuva 10. Kytkeyn verkon tasoitustulokset.

Tunnetut EUREF-FIN-koordinaattipisteet asetettiin laskennassa sijainniltaan virheettömiksi, jotta voitiin todentaa vapaana lasketun verkon olevan myös ulkoiselta tarkkuudeltaan hyväksyttävä. Näin kytkeyn verkon tasoituksena saatiin EUREF-FIN-koordinaatit kaikille laskennassa mukana olleille pisteille (kuva 10).

Laskennasta tulostettiin muunnoksen yhteenveto (liite 5), josta ilmenevät tasoituksen eri havaintoelementtien, tuntemattomien parametrien ja havaintojen sekä tasoituksen redundanssiluvut. Lista sisältää myös muunnoksen arvioidun (*a priori*) ja tasoitetun (*a posteriori*) keskivirheen sekä lasketut varianssikomponentit (keskivirheet) kaikille havaintoryhmille.

Listauksessa esitetään myös sisäisen (SL) ja ulkoisen (UL) luotettavuuden tunnusluvut kaikille koordinaattihavainnoille ja koordinaattituntemattomille sekä tasoituksessa mukana olleiden kontrolloimattomien havaintojen ja koordinaattien lukumäärä.

5 Koordinaatistomuunnokset

5.1 Yleistä muunnoksista

Suomen valtakunnallisiin paikkatietotehtäviin JHS153 suosittaa käytettäväksi ETRS89-koordinaattijärjestelmän yhteydessä poikittaisasentoista leikkaavaa lieriöprojektiota TM35-FIN, joka perustuu kansainvälisesti tunnettuun UTM-projektioon. Tätä projektiota käytetään kuitenkin yksikaistaisena keskimeridiaanin ollessa 27 astetta itäistä pituutta. Keskimeridiaanin itäkoordinaatiksi on annettu 500 000 m ja pohjoiskoordinaatin nollapiste on päiväntasaajalla (taulukko 2).

Paikallisiin tehtäviin TM35-FIN-projektion aiheuttamat vääristymät voivat olla niin suuria, että on suotavampaa käyttää Gauss-Krügerin sivuavaa poikittaista lieriöprojektiota valiten keskimeridiaaniksi lähin tasa-aste (Keravalla 24°). Sama projektiio on ollut käytössä kartastokoordinaattijärjestelmässä (kkj).

Kartastokoordinaattijärjestelmä eroaa EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmästä myös vertailuellipsoidin osalta. EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä (joka on ETRS89-järjestelmän realisaatio Suomessa) käytetään GRS80-ellipsoidia, kun taas kkj:ssä käytetään kansainvälistä 1924-ellipsoidia (Hayford)[9].

Taulukko 2. Suomessa käytettävien tasokoordinaatistojen (karttaprojektioiden) ominaisuuksia. [7 s. 28; 10]

	ETRS-TM35-FIN	ETRS-GK _n	kkj
Karttaprojektio	UTM	Gauss-Krüger	Gauss-Krüger
Vertausellipsoidi	GRS80	GRS80	Kansainvälinen 1924
Keskimeridiaani(t)	27°	19°, 20°, 21° ... 31°	18°, 21°, 24°, 27°, 30°, 33°
Meridiaanikaistoja	1	13	6
Kaistanleveys (suhteessa keski- meridiaaniin)	n.13° (-8° – +5°)	1° (±0.5°)	3° (±1.5°)
Itäkoordinaatin arvo keskimeridi- aanilla	500 000m	500 000m	n 500 000 m, missä n=kaistannu- ro (0,1,2,3,4,5)
Mittakaava keski- meridiaanilla	0.9996	1.0	1.0

Kaavoitusmittausohjeissa todetaan, että jos alueelle tehdään runkoverkon GPS-mittaus, voidaan paikallinen koordinaatisto muuntaa EUREF-FIN-koordinaatistoon. Tällöin olisi vähintään yhden GPS-pisteen koordinaatit tunnettava EUREF-FIN-koordinaatistossa, mutta useamman käyttäminen on suotavaa.

5.2 2D-muunnos

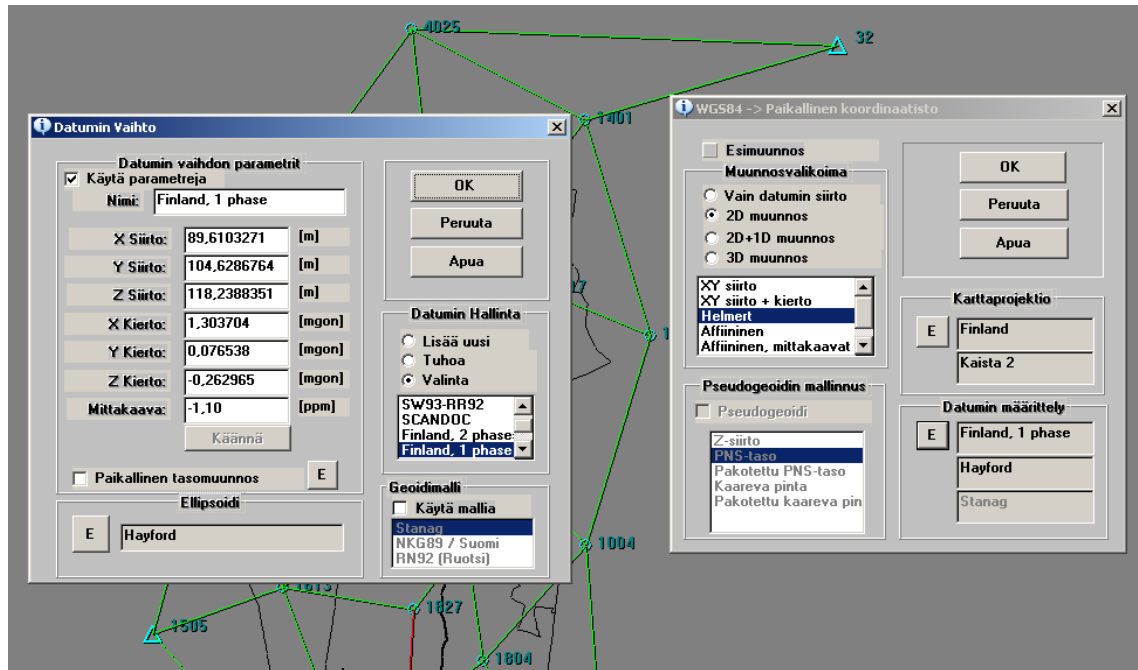
Kaksiulotteista muunnosta käytetään, kun halutaan ainoastaan uusien pisteiden x- ja y-tasokoordinaatit paikallisessa koordinaatistossa. Kaksiulotteinen muunnos tehdään aina datumin muunnoksen jälkeen, eli WGS84-koordinaatit muunnetaan paikalliseen projektioon jo datumin muunnosketjussa. Kaksiulotteinen muunnos lasketaan näin muunnetun koordinaatiston ja paikallisen karttakoordinaatiston välillä.

Paikallisesta koordinaatistosta pitää tuntea vähintään neljän pisteen tasokoordinaatit ja näiden tarkka ortometrinen korkeus (H). Käytettäessä useampaa pistettä, kuten tässä työssä, muunnoksen ylimääritys paranee.

2D-tasoitusmuunnoksessa verkko sovitettiin lähtöpisteisiin, joiden tasokoordinaatit ovat mittausalueella käytetyssä järjestelmässä (tässä työssä Kerava vvj).

Tasoitusmuunnoksessa käytettiin 4-parametrinen 2D Helmert -muunnosta (tuntemattomina koordinaatiston kierto, origon siirrot ja mittakaava), jolloin saatiin paras hyväksyttävä yhteensopivuus lähtöpisteiden kanssa.

Tasoitushjelmaan luettiin sisään vvj-koordinaatit (X ja Y) N43-korkeusjärjestelmässä (h), ja kaikille pisteille annettiin sijaintitarkkuudeksi 10 mm (X, Y, h). Tässä vaiheessa tarkastettiin, että GPS-mitatuilla koordinaattipisteillä ja vvj-koordinaattipisteillä oli varmasti samat pistenumerot.



Kuva 11. 2D-muunnoksen parametrit ja ellipsoidi, jolle muunnos tehdään.

Geodeettinen laitos on määrittänyt Suomen alueelle ETRS89-järjestelmän ja kkj-järjestelmän muunnosparametrit, joita käyttämällä päästiin laskennassa riittävän lähelle vvj-koordinaatteja. Muunnos voitiin tehdä JHS153:ssa esitetyllä 3D-yhdenmuotoismuunnoksella, koska tarkkuus ei ollut kriittinen tässä vaiheessa. Laskentaohjelmassa muunnosparametrit (Finland, 1 Phase) oli määritelty valmiiksi EUREF-FIN-koordinaatiston ja kkj-koordinaatiston välille (kuva 11).

Tästä edettiin kuten verkkotasoituksessaakin. Joukkoon sopimattomat pisteet asetettiin sijainniltaan vapaiksi yksi kerrallaan. Muunnos laskettiin uudelleen, kunnes verkko asettui riittävän hyvin tunnettuihin pisteisiin. Järvenpäässä oleva piste 4025 asetettiin suoraan koordinaateiltaan vapaaksi, koska sillä ei ollut entuudestaan Keravan koordinaatistoon kuuluvia koordinaatteja. Muunnoksessa paljastui myös yksi piste, 8204, joka ei sopinut joukkoon, joten myös se asetettiin koordinaatistossa sijainniltaan vapaaksi.

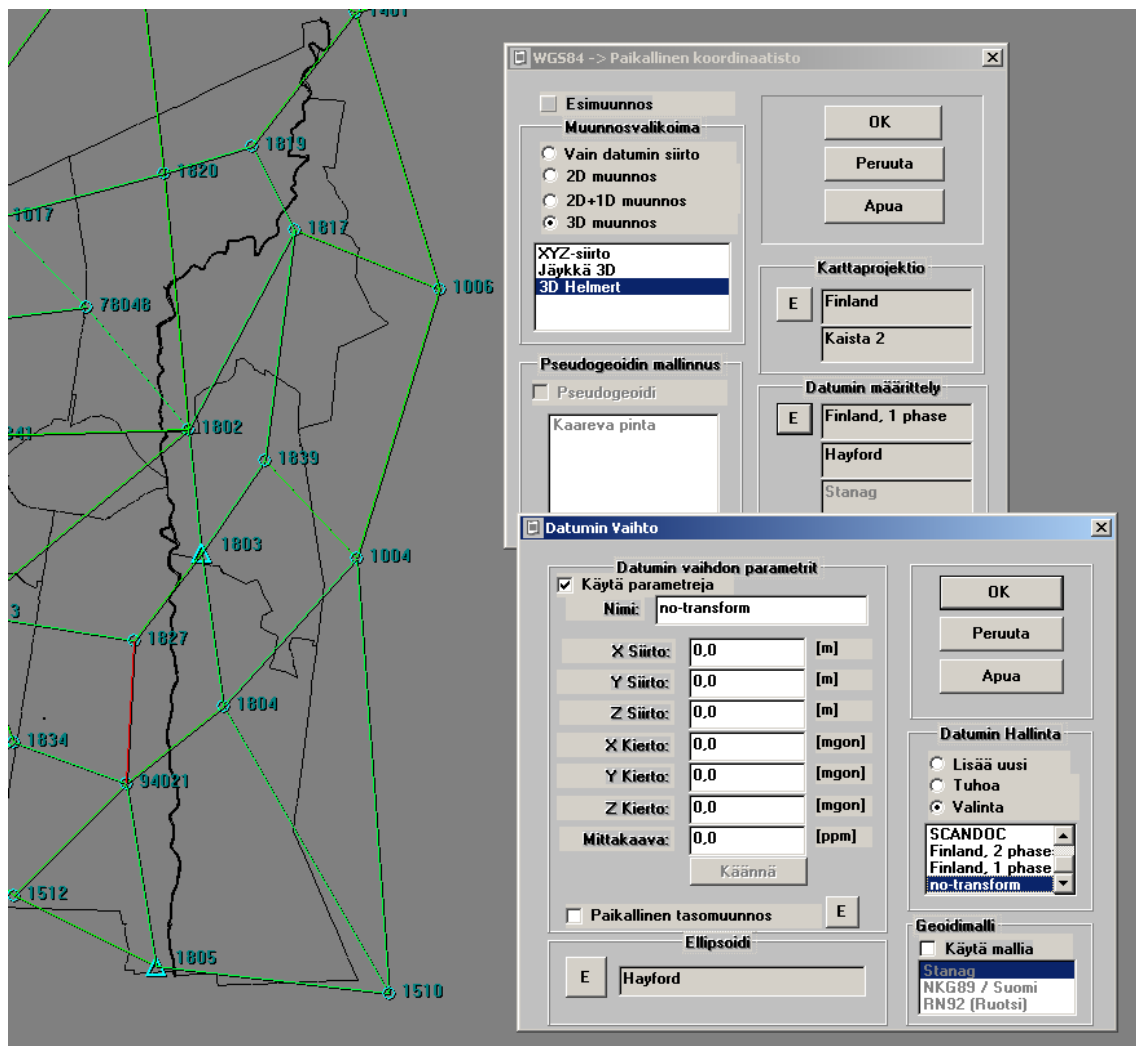
5.3 3D-muunnos

Kolmiulotteista muunnosta käytetään tuntemattomien datumimuunnoksen parametrien, eli pyörähdysellipsoidien välisten muunnosparametrien määrittämiseen.

Kolmiulotteinen muunnos lasketaan ensin paikalliselle ellipsoidille ja siitä datumimuunnoksella WGS84-koordinaatistoon.

Kun verkko oli saatu kytkettyä paikallisiin x- ja y-koordinaatteihin, suoritettiin 3D Helmert -muunnos, jossa tehtiin 7-parametrinen muunnos WGS84:n ja Keravan vvj-koordinaatiston välille. Kolmiulotteinen muunnosmalli siirtää kaikki kolme WGS84-koordinaattia (φ , λ , h) paikalliseen kartta- ja korkeuskoordinaatistoon (x, y, h) yhdellä kolmiulotteisella muunnoksella.

Kolmiulotteinen muunnos laskettiin vektoriverkon tasoituksesta saatujen WGS84-koordinaattien ja paikallisesta järjestelmästä (Kerava vvj) saatujen WGS84-koordinaatiston muunnettujen 2D-koordinaattien välillä. Laskenta-asetuksiin asetettiin datumin vaihdon parametreiksi 2D-muunnoksesta poiketen ”no-transform”, jolloin 3D-muunnoksesta saatiin tuloksena muunnoskertoimet EUREF-FIN-koordinaatiston ja Keravan vvj-järjestelmän välille (kuva 12).



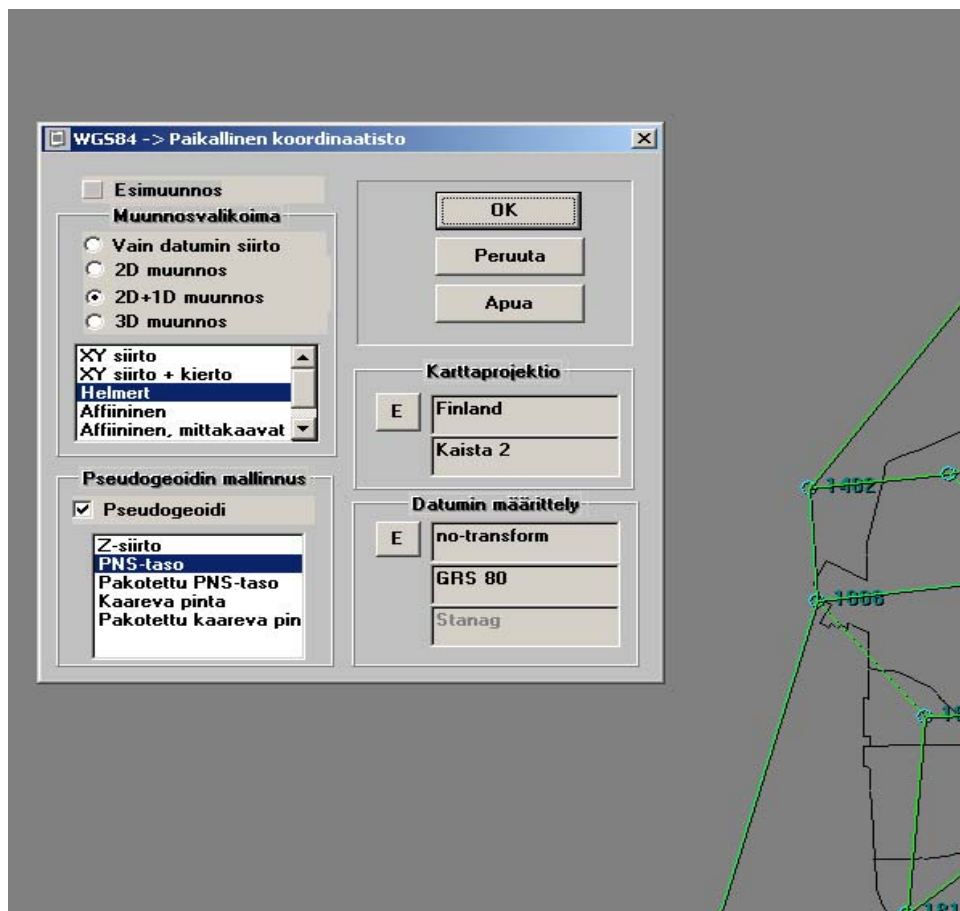
Kuva 12. Laskenta-asetukset. Näin ohjelmalla laskettiin muunnosparametrit, joilla pystyttiin laskemaan uudet pistekoordinaatit suoraan koordinaatistosta toiseen.

3D-muunnokseen otettiin laskennassa mukaan myös pisteiden korkeus (ortometrinen) ja pyrittiin samalla tavoin kuten 2D-muunnoksessakin poistamaan karkeat virheet, eli korkeudet, jotka eivät sopineet joukkoon. Joukkoon sopimattomia korkeuksia oli työssä useita, sillä useille vanhoille kolmiopisteille ei ollut määritettyä korkeutta ollenkaan, tai se oli trigonometrisesti määritetty. Tällöin korkeuden tarkkuus oli vain 100 mm.

5.4 2D+1D-muunnos

Työssä haluttiin laskea mitatuille pisteille tasokoordinaattien lisäksi myös korkeudet, joten muunnosketjun tuottamat korkeudet oli muunnettava paikalliseen järjestelmään sopiviksi. Tasokoordinaateille ja korkeuksille tehtiin siis erilliset muunnokset. Tämä oli järkevää, sillä paikallisissa järjestelmissä tasokoordinaatit ja korkeuskoordinaatit ovat toisistaan riippumattomia.

Muunnosketju oli yhdenmukainen 2D-muunnoksen kanssa. Tämän muunnoksen lisäksi tehdyssä korkeusmuunnoksessa sovitettiin datumimuunnoksella lasketut ortometriset korkeudet paremmin sopimaan lähtöpisteiden ortometrisiin korkeuksiin. Muunnos oli geoidimallin korjaus ja sitä kutsutaankin pseudogeoidin mallintamiseksi.



Kuva 13. 2D+1D-asetukset, joilla saatiin pseudogeoidimalli laskettua.

Ohjelman asetuksiin laitettiin pseudogeoidin mallinnus aktiiviseksi ja datumin määrittelyksi ”no transform” (kuva 13) ja vertaus ellipsoidina GRS80.

Muunnoksesta saatiin tuloksena ortometriset korkeudet paikallisen N43-järjestelmän ja ellipsoidikorkeuden välillä. Näistä arvoista laskettiin paikallinen geoidimalli Keravan alueelle.

Tästä mallista muodostettiin 3D-Win-ohjelmalla korkeusmalli, josta voi päätellä geoidin olevan lineaarinen kaupungin alueella (liite 6). Tämän mallin mukaan voidaan interpoloida GPS-korkeusmittauksista muunnokset eri korkeusjärjestelmien välille (N43, N60, N2000) 10–20 mm:n tarkkuudella.

6 Tuloksia

6.1 Muunnos EUREF-FIN-järjestelmästä Keravan vvj-järjestelmään

Työn pääasiallisena lopputuloksena saatiin varmistettua runkoverkon homogeenisyys mitatulla alueella. Tämä onnistui työssä hyvin, sillä 2D-muunnoksessa ainoastaan yksi piste ei sopinut joukkoon, mikä mahdollisesti johtui pisteen liikkumisesta alkuperäisestä sijainnistaan. Pisteen koordinaatipoikkeamat olivat y-koordinaatin suuntaan n. 200 mm.

Laskennassa varmistui, että Keravan tasokoordinaatisto on hyvin paikkansa pitävä, mutta korkeusrunkoverkko olisi uudelleenmittauksen tarpeessa ja samalla saataisiin tarkat muunnoskertoimet uudempiin korkeusjärjestelmiin (N60 ja N2000).

Toisena merkittävänä tuloksena saatiin muunnoskertoimet EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmän ja Keravan vvj-järjestelmän välille (taulukko 3). Näin ollen on jatkossa mahdollista tuottaa kaikki mitatut EUREF-FIN-koordinaattitiedot suoraan Keravan vvj-koordinaatteina.

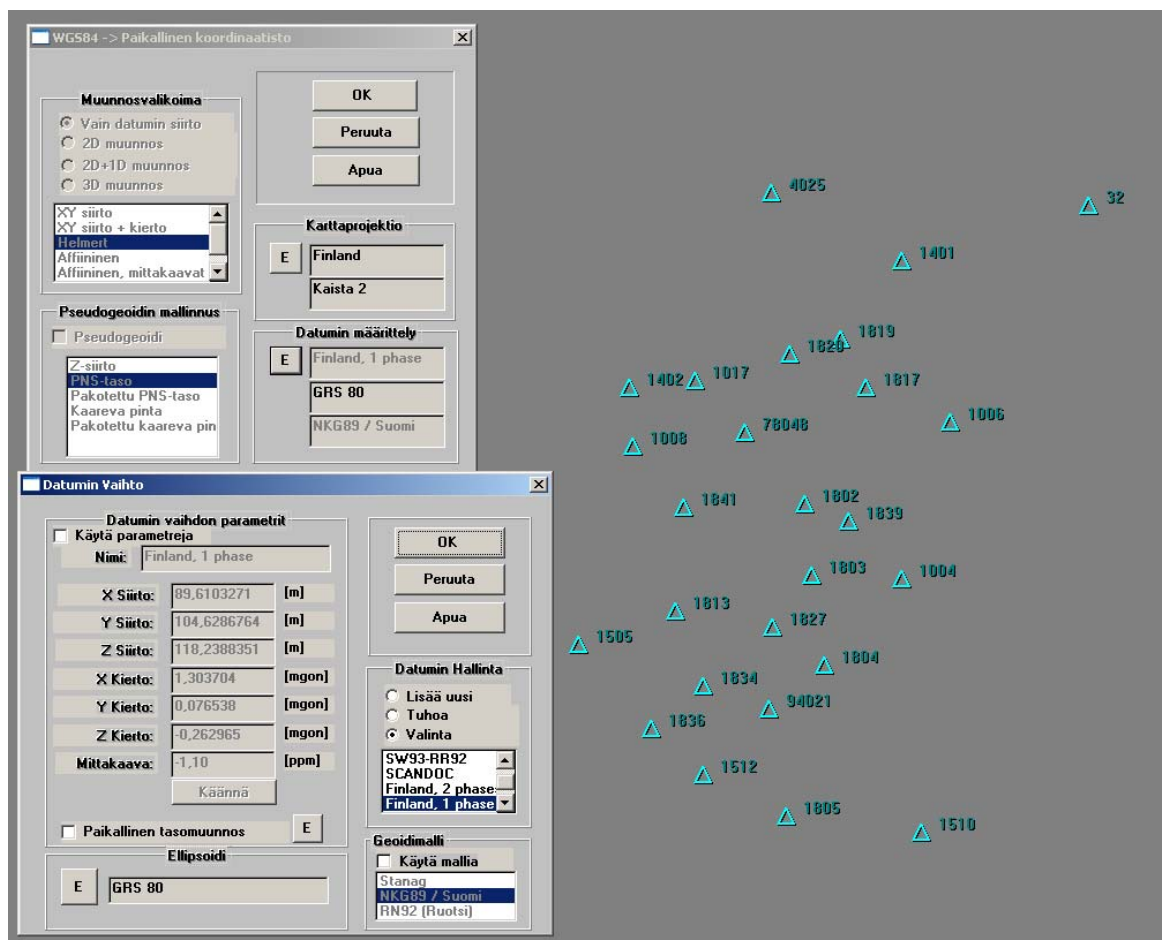
Taulukko 3. Muunnosparametrit EUREF-FIN-koordinaatiston ja Keravan vvj:n välillä.

	Parametri	Parametrinarvo	s		
Siirto	X	79.410701	m	2.600	mm
Siirto	Y	231.600150	m	2.600	mm
Siirto	Z	114.502914	m	2.600	mm
Kierto	X	0.000342	gon	0.089	mgon
Kierto	Y	0.000087	gon	0.068	mgon
Kierto	Z	0.000661	gon	0.068	mgon
Mittakaava		-3.067	ppm	0.9	ppm

6.2 Muunnokset GK25- ja TM35-FIN-tasokoordinaatistoihin

6.2.1 GK25

Työssä saatiin myös muunnos Keravan kaupungin koordinaatistosta GK25-tasokoordinaatistoon mahdollisia valtakunnallisia paikkatietojen yhteiskäyttöä varten. Muunnos tehtiin konvertoimalla mitatut geodeettiset EUREF-FIN-koordinaattipisteet projektiokaistaan GK24 (keskimeridiaani 24°) (kuva 14).



Kuva 14. Projisointiasetukset EUREF-FIN-koordinaatistosta ETRS-GK24-tasokoordistoon.

Tämän jälkeen laskettiin 2D Helmert -muunnos 3D-Win-ohjelmalla GK24-koordinaattien ja Keravan vvj-koordinaattien (keskimeridiaani 24°) välille (taulukko 4).

Taulukko 4. Helmert-muunnoksen parametrit vvj:stä GK24-tasokoordinaattijärjestelmään.

Kertoimet	A	1.000000
	B	0.000013
Mittakaava		1.000000
Kiertokulma	mgon	0.000809

Seuraavaksi GK24-tasokoordinaatit muunnettiin suoraan GK25-tasokoordinaateiksi 3D-Win-ohjelmassa olevan kaistanvaihto-toiminnon avulla.

Muunnos laskettiin myös toiseen suuntaan, jolloin GK25-tasokoordinaatit muunnettiin kaistanvaihdolla GK24-koordinaateiksi ja niiden ja Keravan vvj:n välille laskettiin 2D Helmert -muunnos (taulukko 5).

Taulukko 5. Helmert-muunnoksen parametrit GK24-tasokoordinaattijärjestelmästä Kerava vvj:ään.

Kertoimet	A	1.000000
	B	-0.000013
Mittakaava		1.000000
Kiertokulma	mgon	-0.000807

Muunnosparametrit tallennettiin omiksi tiedostoikseen, vvj->GK24.hel ja GK24->vvj.hel, joilla muunnokset voidaan jatkossa tehdä suoraan 3D-Win-ohjelmassa. Näin suurtenkin aineistojen muuntaminen käy helposti.

3D-Win-ohjelman antamista muunnoskertoimien osalta on huomioitava, että ohjelma ei ilmoita origon siirtoja ja kertoimet A ja B ovat yleisesti käytetyn muunnoskaavan (kaava 1) kertoimet C ja D.

$X_{\text{uusi}} = a + (X_{\text{vanha}} * c) + (Y_{\text{vanha}} * d)$
$Y_{\text{uusi}} = b - (X_{\text{vanha}} * d) + (Y_{\text{vanha}} * c)$

Kaava 1. Uudet koordinaatit saadaan syöttämällä kaavaan muunnosparametrit etumerkkeineen. a=x-akselin siirto, b=y-akselin siirto ja c ja d ovat kertoimia.

Origojen siirrot vvj→GK24 -järjestelmien välillä ovat seuraavat:

Origon siirto x-akselilla = -141.774 m

Origon siirto y-akselilla = -92.698 m

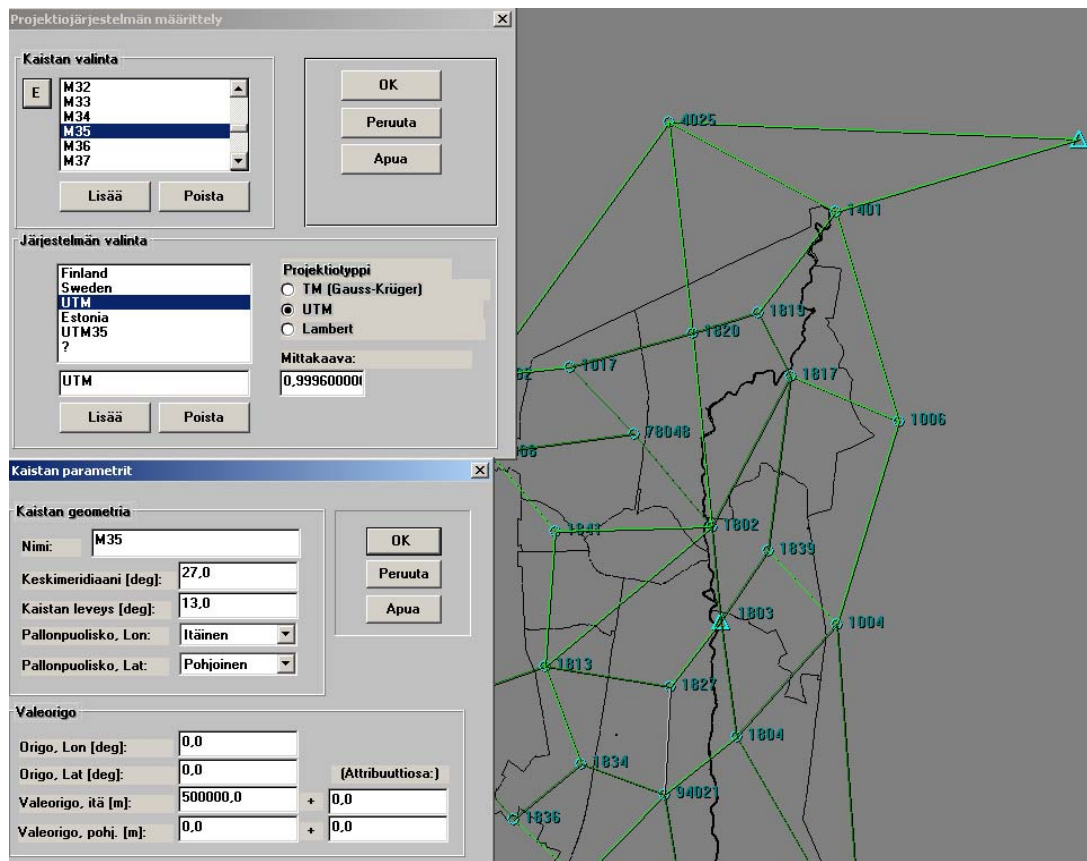
Origojen siirrot GK24→ vvj -järjestelmien välillä ovat seuraavat:

Origon siirto x-akselilla = 141.773 m

Origon siirto y-akselilla = 92.700 m

6.2.2 TM35-FIN

Tasokoordinaattien projisointi TM35-FIN-järjestelmään voidaan tehdä XP-Global -ohjelmaa käyttäen kuten GK24-järjestelmäänkin. Muunnos aloitetaan konvertoimalla mitatut geodeettiset EUREF-FIN-koordinaattipisteet UTM-järjestelmän projektiokaistaan 35, mittakaavaksi asetetaan 0.9996 (kuva 15). JHS154:n mukaisesti itäkoordinaatin valeorigoksi määritetään 500 000 m, kaistanleveydeksi (13°) sekä keskimeridiaaniksi(27°) [10].



Kuva 15. Projisointiasetukset EUREF-FIN-koordinaatistosta TM35-FIN-tasokoordinaatistoon.

Samaan muunnoksen lopputulokseen päästään myös GK24-koordinaattien avulla tekemällä kaistanvaihto 3D-Win-ohjelmalla kaistaan 27, joka on sama kuin TM35-FIN-järjestelmän keskimeridiaani. Tämän jälkeen pohjoiskoordinaatin arvo kerrotaan

mittakaavakertoimella ja itäkoordinaatin arvosta ensin vähennetään valeorigo, sitten kerrotaan mittakaavakertoimella ja lisätään tulokseen valeorigon arvo takaisin.

$$N\text{-TM35-FIN} = N\text{-GK27} * 0.9996$$

$$E\text{-TM35-FIN} = (E\text{-GK27} - 500\,000\text{ m}) * 0.9996 + 500\,000\text{ m}$$

ja toiseen suuntaan sama toimenpide on:

$$N\text{-GK27} = N\text{-TM35-FIN} / 0.9996$$

$$E\text{-GK27} = (E\text{-TM35-FIN} - 500\,000\text{ m}) / 0.9996 + 500\,000\text{ m}$$

N=pohjoiskoordinaatin arvo ja E=itäkoordinaatin arvo.

Huomioitavaa on, että muunnoksien avulla ei voida korvata mittaamalla tapahtuvaa paikkatiedon tuotantoa, kun vaaditaan parasta mahdollista tarkkuutta. Esimerkiksi paikallisen kiintopisteverkon mittaaminen ja tihentäminen ovat tällaisia suurta tarkkuutta vaativia tehtäviä ja vaativat tarkkoja ja hyvän mittaustavan mukaisia toimintoja maastossa [10].

6.3 Tulosten analysointia

Tässä insinööriyössä tulosten luotettavuus oli äärimmäisen tarkkaan huomioitava. Jokaisen mittauspäivän päätteeksi tarkastettiin kaikkien vastaanottimien keräämä data ja varmistettiin havaintojen sulkuvirheet. Näin voitiin varmistaa, että laskentaan menevässä datassa ei ollut huonoja havaintoja, jotka jouduttaisiin poistamaan. Tasoituslaskennassa työn tarkkuutta tarkasteltiin sulkuvirheiden ja keskimääräisen tarkkuuden avulla.

Taulukko 6. Laskentaohjelman raportti pisteiden keskimääräisestä tarkkuudesta.

KESKIMÄÄRÄINEN TARKKUUS					
	X	3,6	mm		
	Y	2,9	mm		
	Z	4,9	mm		
	Pistevirhe	6,7	mm		
	Maksimiakselin pituus	5,4	mm		
TARKKUUDEN HOMOGEENISUUS			RMS	max	min
			[mm]	[mm]	[mm]
	X		0,6	4,5	2,4
	Y		0,3	3,5	2,3
	Z		0,6	5,8	3,1
	Pistevirhe		0,8	7,9	5
	Maksimiakselin pituus		0,6	6,1	3,9
ULKONEN LUOTETTAVUUS			UL		
	Keskimäärin		4,3		
	Ulkoisen luotettavuuden		RMS	0,76	
	Paras	UL	3		
	Huonoin	UL	5,91		
	Pisteitä ilman kontrollia		0		

RMS-arvo on aineiston hajonnan mitta (taulukko 6). Hajontaluku on reaaliluku, joka saa suuren arvon, jos havainnoissa on paljon vaihtelua. Jos taas vaihtelu on havainnoissa pientä, arvo lähestyy nollaa. Toisin sanoen, mitä pienempi on RMS-arvo, sen parempaan lopputulokseen päästään.

7 Jatkotoimenpiteet

Tässä työssä mitattu peruskiintopisteverkko mahdollistaa jatkossa verkon tihentämisen luokaltaan hyviksi, verkkomaisten jonomittausten lähtö- ja sulkupisteiksi. Uudet, verkkoon liitettävät pisteet voidaan mitata jatkossa kolmea GPS-vastaanotinta käyttäen, joista kaksi on nyt mitatuilla pisteillä ja kolmas uudella, verkkoon kytkettävällä pisteellä. Uusien pisteiden on oltava vähintään 500 metrin etäisyydellä tässä työssä mitatuista pisteistä. Uudet pisteet on myös tasoituslaskettava tässä työssä esiteltyjen tapojen mukaan ennen liittämistä verkkoon. Uudet tasokiintopisteet ovat näin ollen tarkkoja lähtöpisteitä takymetrimittauksien lähtö- ja sulkupisteiksi, kun pisteverkkoa tihennetään takymetrimittauksilla käyttöpisteiksi.

Tihennetty verkko on myös pyrittävä pitämään geometrialtaan hyvänä, jolloin jonojen mittaus näiden välille onnistuu mahdollisimman pienillä sulkuvirheillä. Hyvässä verkossa eri aikaan mitatut käyttöpistejonot ovat käyttökelpoisia keskenään eikä jonoissa esiinny suuria sulkuvirheitä.

Nyt mitatuille pisteille olisi syytä tehdä korkeuksien vaaitus tarkkavaaituslaitteistolla, jolloin saadaan suoraan muunnokset myös korkeusjärjestelmästä toiseen (N43->N60 ->N2000). Vaaitus tulisi toteuttaa siten, että korkeus tuodaan ja suljetaan useammasta kuin yhdestä vaaitusjonosta jokaiselle runkopisteelle. Näin saadaan myös korkeusmittauksiin ylimääritystä ja mahdolliset karkeat virheet havaitaan mittauksista.

Jatkossa on huomiota myös kiinnitettävä pisteselityskortteihin ja niissä esitettäviin koordinaatteihin. On pohdittava, pidetäänkö entinen malli ja tapa, jossa esitetään vain vvj-koordinaatit, vai olisiko järkevää merkitä uusiin kortteihin myös geodeettiset ja maantieteelliset EUREF-FIN-koordinaatit sekä pisteen ortometrinen korkeus eri järjestelmissä.

8 Yhteenveto

Yhteenvetona voidaan todeta projektin onnistuneen sille asetettujen vaatimusten osalta. Mittausaikataulut pitivät hyvin eikä mitään suurempia ongelmia mittauksissa ilmennyt. Hyvät ennakkovalmistelut sekä riittävän ajan varaaminen mittausten suorittamiseen olivat avainasemassa mittausten onnistumiselle.

Ylimääräistä aikaa olisi varattava aina sen verran, että jos jotain yllättävää sattuu, kuten tässä projektissa CF-muistikortin hajoaminen, niin uuden havaintojankohdan löytäminen onnistuu myöhemmin.

Jatkotoimia ajatellen pitäisin hyvän verkkotasoituskalkulaattorin hankintaa tärkeänä Keravan kaupungille. Ohjelmaa hankittaessa olisi syytä kiinnittää huomiota tarjolla olevien ohjelmien ominaisuuksista GPS-vektori- ja tasoituskalkulaattoriin sekä takymetrihavaintojen tasoituskalkulaattoriin.

Runkopisteverkon saneerausta olisi hyvä jatkaa uusilla GPS-kampanjoilla mahdollisimman pian jotta kaupungin tasokiintopisteverkko saataisiin riittävän tiheäksi ja luotettavaksi muuan muassa hyvien ja ajan tasalla olevien kaavan pohjakarttojen tekemiseen. Hyvä ja tiheä tasokiintopisteverkko nopeuttaa ja parantaa kaikkien maastossa tapahtuvien mittausten laatua, ja tätä kautta tuo tehokkuutta Keravan kaupungin Mittauspalvelut-yksikköön.

Lähteet

- 1 Maanmittauslaitos, Kaavoitusmittausohjeet 2003. Maanmittauslaitoksen julkaisu n:o 94, 2003.
- 2 HMK Geodesi, GPS. Lantmäteriverket. Gävle: Trycksam AB, 1993.
- 3 Nilomark Oy, Leica 1200+. Tekniset tiedot ja ominaisuudet. (WWW-dokumentti.) < <http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=9527>> Luettu 4.5.2009.
- 4 GPS sanasto. (WWW-dokumentti.) <www.sci.utu.fi/maantiede/laitos/tilat_laitteet/laitekuvaukset/GPS_sanasto.pdf> Luettu 4.5.2009.
- 5 Hakala, Jukka: Asiantuntija DI, Geodesia & fotogrammetria, Destia Oy, Kerava. Sähköpostikeskustelut 5.11.2008–16.3.2009
- 6 Vermeer, Martin: Käytännön geodesia 29.1.2008. (WWW-dokumentti.) <<http://users.tkk.fi/mvermeer/yleis.pdf>> Luettu 9.1.2009
- 7 Lukkari Mikko: Vantaan kaupungin EUREF-FIN-liitos. Insinööriyö. Espoon–Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu, 2006.
- 8 Hakala, Jukka: Geodeettisten runkoverkkojen hallinta. Luentomateriaali. Espoon-Vantaan teknillinen ammattikorkeakoulu, 2008.
- 9 JHS-suositus 153. (WWW-dokumentti.) < <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS153/JHS153.pdf>> Luettu 9.1.2009
- 10 JHS-suositus 154. (WWW-dokumentti.) < <http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154.pdf>> Luettu 9.1.2009

Liite 1: Mittausohjeet maastoon

Johdanto

Keravalla mitataan elokuussa 2008 runkopisteverkon peruskorjaukseen liittyvät GPS-verkkomittaukset. Mittaukset on pyrkimys suorittaa viikossa ja tämän saavuttamiseen vaaditaan mittausryhmiltä tarkkaa ja huolellista työtä sekä aikataulujen noudattamista.

Mittauksen kulku

Mittauspäivä aloitetaan aamupalaverilla, jossa käydään läpi päivän aikataulu, jokaisen ryhmän pisteet sekä ryhmien siirtymiset seuraaville pisteille. Mitattavat pisteet muodostavat sulkeutuvia silmukoita, joilla on vähintään yksi yhteinen vektori toisen silmukan kanssa. Mikäli mittauspiste ei vaihdu, paikallaan oleva laitteisto keskitetään uudestaan muiden siirtyessä eri antennikorkeuteen. Tällä varmistetaan mittauksen riippumattomuus. Ryhmille annetaan maastoon paikannuskansio, jossa on mittausohjeet, satelliittien havaintoajat, kartake pisteen ympäristöstä sen löytämiseksi, vastaanottimen käyttöohjeet sekä havaintolomakkeet. Havaintolomakkeet täytetään mittauksen yhteydessä.

Mittaus maastossa

Aamupalaverissa annetuille pisteille siirrytään aikataulun mukaisesti. Mikäli ryhmiä on viisi ja kuljetuskaluston lukumäärä on kolme, tämä täytyy huomioida siirtymissä. Pisteellä kojeet keskitetään tarkasti pisteen päälle ja antenni suunnataan pohjoista kohti. Tämän jälkeen mitataan antennikorkeus (millimetrin tarkkuudella), varmistetaan että laitteistossa on tarvittavat johdot ym. paikallaan ja tarkistetaan vielä keskistys. Kojeeet käynnistetään ennalta sovittuna ajankohtana ja syötetään niihin mitattavan pisteen numero. Vastaanottimen mitatessa havaintoja täytetään havaintolomake. Mittaus lopetaan vasta, kun siitä kertova tekstiviesti saapuu, minkä jälkeen vastaanotin sammutetaan. Tämä siksi, että joillakin ryhmillä on voinut olla ongelmia. Ennen laitteiston purkamista tarkistetaan vielä keskistys ja mitataan antennikorkeus, minkä

jälkeen siirrytään aikataulun mukaisesti seuraavalle pisteelle. Mittausajan pituus pistettä kohti selvitetään aamupalaverissa, ja sitä voidaan joutua kenties pidentämään, mikäli vastaanottimen GDOP arvojen tai satelliittien lukumäärissä on toleransseja ylittäviä arvoja. Mikäli mittauspiste on katveinen, voidaan mittausaikaa myös joutua pidentämään. Arviolta pisteellä menee tunnista puoleentoista.

Muuta huomioitavaa

Päivän päätteeksi tallennetut tiedot puretaan tietokoneelle ja laitteiston/radiopuhelinten akut laitetaan lataukseen, jotta seuraavan päivän mittaus olisi mahdollinen. Täytetyt havaintolomakkeet kerätään myös talteen. Riippuen satelliittien näkyvyysajoista päivistä voi tulla pitkiäkin, mikä täytyy jokaisen ottaa huomioon.

Liite 2: Mittausaikataulu

Havaintojakso-
suunnitelma

Jakso	Pisteet				
I	1004	1111	9202	94021	1805
II	94021	1805	1512	1836	1834
III	1836	1834	1505	1813	1008
IV	1813	1834	1827	1841	94021
V	1813	1841	9200		
VI	1402	1008	1016	1017	9200
VII	1402	1017	4025	1401	1820
VIII	1820	9200	1819	1817	1017
IX	1401	1006	1817	1004	1839
X	9200	9201	9202	1004	1839
XI	9201	9202	94021	1827	1813
XII	1839	1817	9200	1819	1017
XIII	1008	1841	1401	1819	1817

	Havaintojaksoaikataulu	
--	------------------------	--

	Alkaa	-	loppuu klo.		Pvm	
VI	17:10		18:30		18.8.2008	ma
I	7:45		9:05		19.8.2008	ti
VIII	9:50		11:10		19.8.2008	ti
X	13:40		15:00		19.8.2008	ti
III	10:00		11:20		20.8.2008	ke
XI	12:55		14:15		20.8.2008	ke
IX	15:30		16:50		20.8.2008	ke
IV	8:40		10:00		21.8.2008	to
II	11:10		12:30		21.8.2008	to
XIII	15:10		16:30		22.8.2008	to
XII	9:40		11:00		22.8.2008	pe
V	13:00		14:20		22.8.2008	pe
VII	9:40		11:00		23.8.2008	la

Liite 3: Raportti vektorilaskennasta

Page 1 of 2

- when it has to be right



Results - Baseline 1512 - 1836

Project Information

Project name: Kerava runkoverkko
 Date created: 08/18/2008 18:35:39
 Time zone: 2h 00'
 Coordinate system name: MKKJ_Kaista2
 Application software: LEICA Geo Office 6.0
 Processing kernel: PSI-Pro 2.0
 Processed: 08/22/2008 11:41:51

Point Information

Receiver type / S/N:	Reference: 1512 ATX1230 / 308223	Rover: 1836 GX1230GG / 468136	
Antenna type / S/N:	ATX KERAVA / -	AX KERAVA / -	
Antenna height:	1.4840 m	1.6130 m	
Initial coordinates:			
Latitude:	60° 22' 01.90271" N	60° 22' 27.61456" N	
Longitude:	25° 05' 46.42517" E	25° 04' 50.81250" E	
Ellip. Hgt:	85.3138 m	74.2346 m	
Time span:	08/21/2008 09:55:26 - 08/21/2008 10:59:06		
Duration:	1h 03' 40"		
Windows (Exclude):	From	To	Duration
Window 1:	08/21/2008 09:54:45	08/21/2008 09:55:16	31"
Window 2:	08/21/2008 10:59:16	08/21/2008 11:05:14	5' 58"

Processing Parameters

Parameters	Selected	Used	Comment
Cut-off angle:	15°	15°	
Ephemeris type (GPS):	Broadcast	Broadcast	
Ephemeris type (GLONASS):	Broadcast	Broadcast	
Solution type:	Automatic	Phase: all fix	
GNSS type:	Automatic	GPS	
Frequency:	Automatic	Automatic	
Fix ambiguities up to:	80 km	80 km	
Min. duration for float solution (static):	5' 00"	5' 00"	
Sampling rate:	Use all	10	
Tropospheric model:	Saastamoinen	Saastamoinen	
Ionospheric model:	Automatic	Computed	
Use stochastic modelling:	Yes	Yes	
Min. distance:	8 km	8 km	
Ionospheric activity:	Automatic	Automatic	

Observation Statistics

Number of common epochs:	383
Number of used observations (L1):	3147
Number of rejected observations (L1):	34

Number of rejected observations (L2): 93

Ambiguity Statistics

Total number of GPS ambiguities: 59
 Number of fixed GPS ambiguities: 31
 Total number of GLONASS ambiguities: 0
 Number of fixed GLONASS ambiguities: 0
 Number of independent fixes: 215
 Avg. time between independent fixes: 20"

Percentage of fixed epochs (L1): 99%
 Percentage of fixed epochs (L2): 98%
 Percentage of fixed epochs (overall): 100%

Overall Statistic:

Status	From	To	Duration
Fixed	08/21/2008 09:55:28	09/21/2008 10:59:08	1h 03' 40"

Final Coordinates

	Reference:1512	Rover:1836	
Coordinates:			
Latitude:	60° 22' 01.90271" N	60° 22' 27.63195" N	
Longitude:	25° 05' 46.42517" E	25° 04' 50.80458" E	
Ellip. Hgt:	85.3138 m	75.3776 m	
Solution type:	Phase: all fix		
GNSS type:	GPS		
Frequency:	L1 and L2		
Ambiguity:	Yes		
Quality:	Sd. Lat: 0.0004 m Posn. Qlty: 0.0004 m	Sd. Lon: 0.0002 m Sd. Slope: 0.0003 m	Sd. Hgt: 0.0008 m
MD:	0.9398 m		
Cofactor matrix Qxx:	0.00000020	-0.00000001 0.00000008	0.00000003 -0.00000001 0.00000090
Baseline vector:	dX: -289.8778 m Slope: 1166.5851 m	dY: -1087.6244 m dHgt: -9.9363 m	dZ: 385.0519 m
DOPs (min-max):	GDOP: 2.0 - 3.1 PDOP: 1.8 - 2.6	HDOP: 1.0 - 1.1	VDOP: 1.5 - 2.4

Liite 4: Pistekoordinaatit eri tasokoordinaatistoissa

	GK-25		TM35-FIN		Kerava-vvj	
32	6704393,820	511881,578	6703022,099	401853,067	6705133,040	567093,750
1004	6698213,597	508670,052	6696943,910	398456,363	6698904,521	563976,180
1006	6700811,751	509510,425	6699514,652	399374,953	6701515,236	564777,072
1008	6700487,109	504226,190	6699350,603	394084,727	6701110,470	559498,130
1017	6701575,815	505273,961	6700406,723	395164,778	6702215,009	560529,319
1401	6703511,572	508736,826	6702235,962	398683,863	6704203,162	563962,586
1402	6701463,867	504178,374	6700328,106	394066,588	6702086,443	559435,502
1505	6697187,852	503269,978	6696082,741	393029,100	6697796,943	558592,027
1510	6693981,208	508920,530	6692707,034	398578,274	6694676,204	564290,796
1512	6694986,763	505309,953	6693821,362	395000,832	6695626,954	560665,210
1802	6699490,631	507066,039	6698268,676	396892,273	6700157,126	562352,904
1803	6698281,364	507166,551	6697057,243	396956,021	6698949,476	562471,730
1804	6696793,059	507356,402	6695564,266	397100,581	6697464,155	562684,175
1805	6694283,432	506673,545	6693077,185	396342,099	6694944,332	562039,368
1813	6697736,574	504888,782	6696581,955	394663,381	6698370,175	560202,384
1817	6701411,602	508116,988	6700156,349	398000,745	6702093,928	563374,644
1819	6702229,085	507715,219	6700985,424	397624,080	6702905,253	562960,489
1820	6701979,168	506861,967	6700761,587	396763,868	6702642,402	562111,087
1827	6697444,131	506507,915	6696240,604	396272,465	6698102,327	561825,856
1834	6696481,111	505335,287	6695313,857	395071,475	6697121,584	560667,891
1836	6695781,927	504456,431	6694641,839	394172,047	6696409,124	559799,703
1839	6699180,280	507800,596	6697936,264	397616,875	6699857,938	563092,097
1841	6699456,526	505052,565	6698295,690	394879,231	6700092,501	560340,072
4025	6704686,096	506593,527	6703474,685	396577,788	6705345,095	561801,629
78048	6700693,499	506090,743	6699500,261	395954,189	6701345,150	561359,428
94021	6696065,800	506412,685	6694866,166	396135,492	6696722,619	561751,510

Liite 5: 3D-muunnoksen yhteenveto

Projekti : Kerava_Tero_3D_OK

20.2.2009

12:52:20

Sivu:1

Muunnoksen yhteenveto

MUUNNOS

Datum : ei / Hayford

Muunnosluokka : 3D Koordinaatiston muunnos

Esimuunnos : EI

Muunnos : 3D Helmert

TASOITUSAINEISTO

Pisteitä	..	12
X-koordinaattihavainnot	..	12
Y-koordinaattihavainnot	..	12
Z-koordinaattihavainnot	..	12
Havaintojen kokonaismäärä	..	36
Tuntemattomien kokonaismäärä	..	7
-> Kokonaisredundanssi	..	29(Keskimäärin 0.81)

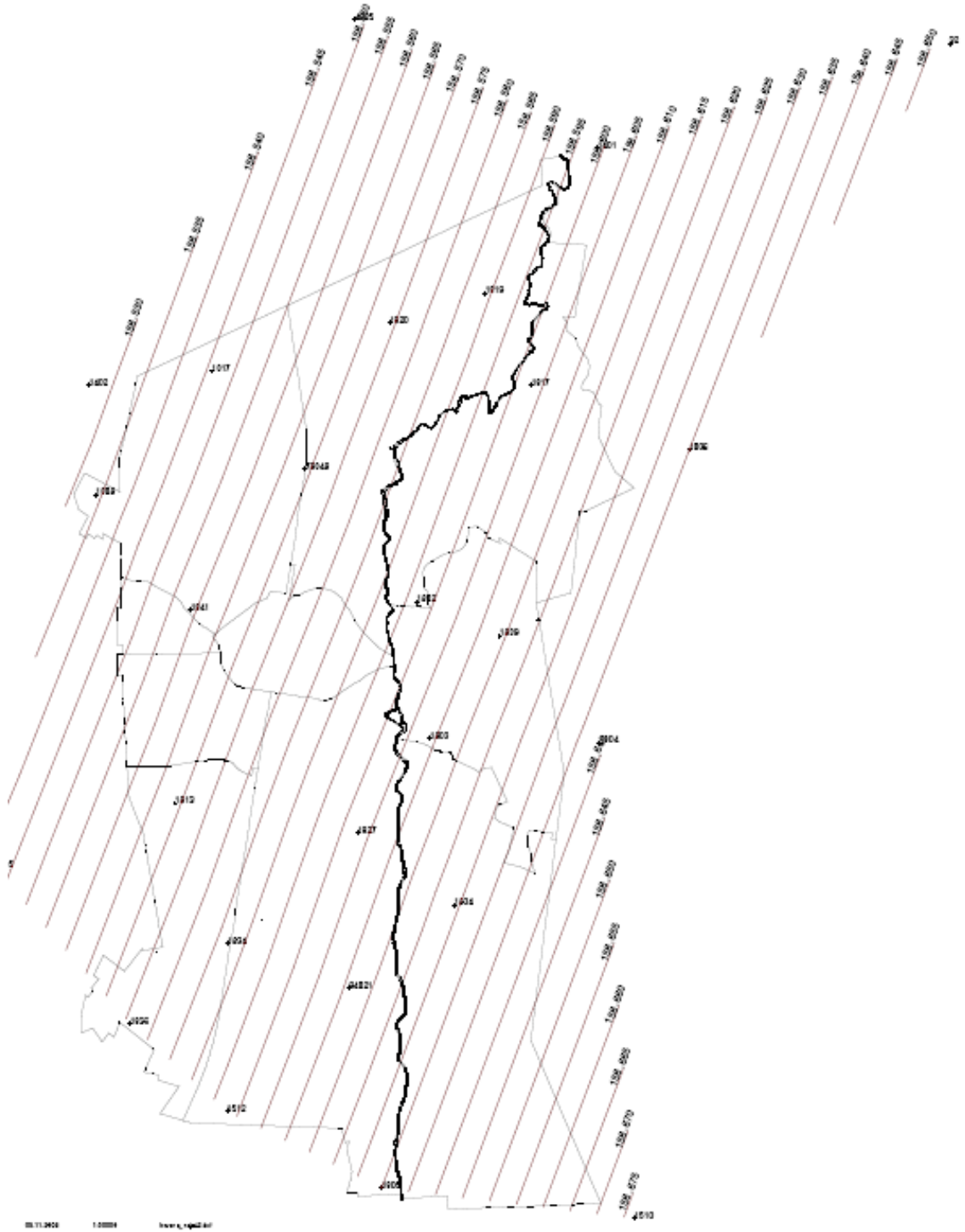
VARIANSSIKOMPONENTIT

	s	Keskim. Ylimääritys ylimääritys	
A priori keskivirhe	..	10.0	
Koordinaattihavainnot X	..	9.2	10.00 0.83
Koordinaattihavainnot Y	..	8.1	10.00 0.83
Koordinaattihavainnot Z	..	9.6	9.00 0.75
Tasoitettu keskivirhe	..	9.0	29.00 0.81

LUOTETTAVUUS

	Sisäinen uotettavuus SL	Ulkoinen uotettavuus UL	Kontrol- imattomie lukumäärä
Koordinaattihavainnot X	3.75	0.63	0
Koordinaattihavainnot Y	3.75	0.63	0
Koordinaattihavainnot Z	3.99	1.04	0
Koordinaattituntemattomat		6.74	0

Liite 6: Keravan pseudogeoidi WGS84<>N43



Liite 7: Pisteiden maantieteelliset EUREF-FIN-koordinaatit

Piste no.	P	I	h
32	60 27 05.30801	25 12 57.16764	98.727
1505	60 23 13.06226	25 03 33.46411	96.691
1805	60 21 39.06855	25 07 15.30065	55.573
1827	60 23 21.20202	25 07 04.86616	65.082
1004	60 23 45.91785	25 09 26.13958	79.562
1006	60 25 09.79697	25 10 21.45873	80.195
1008	60 24 59.63074	25 04 36.13627	84.771
1017	60 25 34.76288	25 05 44.70018	83.896
1401	60 26 37.09148	25 09 31.33317	76.120
1402	60 25 31.19190	25 04 33.08552	79.768
1510	60 21 29.14792	25 09 41.81764	92.908
1512	60 22 01.86612	25 05 46.42372	84.802
1802	60 24 27.29151	25 07 41.56286	69.859
1803	60 23 48.21330	25 07 47.97260	77.383
1804	60 23 00.11329	25 08 00.17305	100.542
1813	60 23 30.73301	25 05 19.18767	70.147
1817	60 25 29.28763	25 08 50.49263	57.679
1819	60 25 55.72897	25 08 24.34838	56.719
1820	60 25 47.70949	25 07 28.54010	73.593
1834	60 22 50.14811	25 05 48.21956	58.074
1836	60 22 27.59534	25 04 50.80322	74.859
1839	60 24 17.21541	25 08 29.50138	62.098
1841	60 24 26.29812	25 05 30.03730	73.031
4025	60 27 15.18690	25 07 11.31507	74.820
78048	60 25 06.21367	25 06 37.98724	74.194
94021	60 22 36.67298	25 06 58.49041	71.584