

Eero Ämmälä

# N2000-korkeusjärjestelmään siirtyminen Rauman kaupungissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

10.4.2013

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Eero Ämmälä N2000-korkeusjärjestelmään siirtyminen Rauman kaupungissa</p> <p>31 sivua + 5 liitettä 10.4.2013</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>maanmittaustekniikka</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>paikkatietoinsinööri Vesa Posio yliopettaja Vesa Rope</p>
<p>Insinööriyössä ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää muunnosvaihtoehdot, joilla Rauman kaupunki voisi suorittaa N2000-korkeusjärjestelmään siirtymisen. Rauman kaupunki on aikaisemmin käyttänyt N60-korkeusjärjestelmää.</p> <p>Insinööriyön tutkimusosan alussa määriteltiin lähtötilanne ja esiteltiin vaihtoehtoiset muunnosmenetelmät. Näistä tarkempaan tarkasteluun valittiin vakiokorjaus, ensimmäisen ja toisen asteen muunnosyhtälöt sekä digitaalinen pintamuunnos. Muunnosmenetelmien tarkkuudet testattiin ja tuloksia vertailtiin. Lopulta päädyttiin suosittamaan käyttämään vakiokorjausta paikkatietoaineistojen korkeusmuunnoksiin ja ensimmäisen asteen muunnosyhtälöä erityistä tarkkuutta vaativille kohteille.</p> <p>Insinööriyön toisena tavoitteena oli tutustua valtakunnallisiin geoidimalleihin ja antaa suosituksia paikallisen geoidimallin määrittämistarpeesta.</p> <p>Valtakunnallisten geoidimallien FIN2005N00 ja FIN2000 tarkkuus Rauman alueella päätettiin määrittellä tutkimuksella, jossa VRS-mittausmenetelmällä mitattiin korkeuksia kymmenellä valtakunnallisella N2000-korkeuskiintopisteellä.</p> <p>Tutkimustulosten pohjalta tultiin siihen päätelmään, että molemmat valtakunnalliset geoidimallit tuottavat Rauman alueella riittävän pieniä jäännösvirheitä. Tutkimustulosten pohjalta todettiin myös, että Raumalla on mahdollista parantaa GNSS-mittauksen tarkkuutta määrittämällä paikallista geoidimallia kevyempi geoidin korjaus vaakatasossa. Toistaiseksi Rauman kaupunkia kuitenkin suositellaan käyttämään FIN2005N00-geoidimallia N2000-korkeusjärjestelmän yhteydessä.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>N2000, JHS163, geoidi, FIN2005N00, muunnosyhtälö, Rauma</p>

Author Title	Eero Ämmälä Transition Process to N2000 System in the Town of Rauma
Number of Pages Date	31 pages + 5 appendices 10 April 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Vesa Posio, Engineer of Spatial Information Vesa Rope, Principal Lecturer
<p>This final year project had two objectives. In the first objective, the alternative solutions of height system transformation into the N2000 systems were investigated. This final year project was commissioned by Town of Rauma.</p> <p>The initial data was defined and different alternatives for transformations were introduced. Transformation methods of standard correction, equations of first and second degree and surface transformation were selected to more detailed investigation. The method's accuracies were tested and the results were compared. Eventually the recommendations were given: the standard correction should be used for spatial information generally, and the equation of first degree should be used for objects with high precision requirement.</p> <p>In the second objective, the goal was to acquaint oneself with two national geoid models of Finland, FIN2005N00 and FIN2000. Also recommendations about demand of a local geoid model were given.</p> <p>To determinate the accuracy of the national geoid models a research was carried out. The research included height measurements by VRS surveying technique. National N2000 benchmarks were use as test points.</p> <p>The outcome of the research indicated that both national geoid models would produce enough small residual errors in the area of Rauma. The research also illustrated that it is possible for the Town of Rauma to determinate a vertical correction of geoid. The process for this would be lighter than the one for a local geoid model.</p> <p>For the present, the Town of Rauma is still recommended to use the FIN2005N00 geoid model with the N2000 height system.</p>	
Keywords	N2000, JHS163, geoid, FIN2005N00, transition, Rauma

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	N2000-järjestelmään siirtyminen	1
1.2	Ohjeita ja aikaisemmat tutkimukset	2
2	Korkeusjärjestelmien perusteet	2
2.1	Aiemmat korkeusjärjestelmät Suomessa	2
2.2	N2000-järjestelmä	4
3	Muunnosvaihtoehdot	5
3.1	Lähtötilanne	5
3.2	Muunnosvaihtoehdot	7
3.3	Vakiokorjaus	8
3.4	Pintamuunnos	8
3.5	Matemaattiset muunnosyhtälöt	9
4	Sopivan muunnoksen valinta	11
4.1	Paikkatietoaineistojen korkeudet yleisesti	11
4.2	Taso- ja korkeuskiintopisteiden korkeudet	11
5	Suositus käytettävästä geoidimallista	13
5.1	Geoidi	13
5.2	Ellipsoidisten korkeuksien muuntaminen	13
5.3	Suomen valtakunnalliset geoidimallit	14
5.4	Geoidimallin käyttö	15

5.5	Paikallinen geoidimalli	16
5.6	Tutkimus valtakunnallisten geoidimallien tarkkuudesta Raumalla	18
5.6.1	Tutkimuksen lähtötiedot	18
5.6.2	Tutkimuksen suorittaminen	19
5.7	Tutkimuksen tulokset	20
5.8	Päätelmät	21
6	N2000-järjestelmään siirtymisessä huomioitavaa	22
6.1	Korkeuskäyrästäön ajantasaistaminen	22
6.2	Tarkkavaaitukset jatkossa	22
6.3	Tiedottaminen	24
6.4	Maankäytön suunnittelu	25
6.5	Mittauslaitteet ja paikkatieto-ohjelmistot	26
6.6	Pisteselityskortit	27
7	Yhteenveto	28
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1. Pintamuunnoksen kolmioverkkorakenne	
	Liite 2. Kaltevan pinnan muunnosyhtälön parametrit ja jäännösvirheet	
	Liite 3. Toisen asteen muunnosyhtälön parametrit ja jäännösvirheet	
	Liite 4. Kaavio paikallisen muunnospinnan johtamisesta valtakunnallisen geoidimallin ja GPS/vaaitushavaintojen avulla	
	Liite 5. Vertailu FIN2005N00- ja FIN2000-geoidimallien korkeustarkkuudesta	

## Lyhenteet

**EUREF-FIN** ETRS89-koordinaatiston realisaatio Suomessa. Perustuu Geodeettisen laitoksen vuosina 1996–1997 mittaamiin 100 pisteeseen. Verkkoa on tiennetty sittemmin Geodeettisen laitoksen ja Maanmittauslaitoksen toimesta. EUREF-FIN on kolmiulotteinen koordinaatisto, ja sen vertausellipsoidi on GRS80.

**EUVN-DA** European vertical network. Projekti jonka tarkoituksena oli yhdistää eurooppalaiset korkeusjärjestelmät sekä luoda homogeeninen GPS/vaaitusverkko ja -tietokanta joka on yhteensopiva ETRS89- ja EVRS-järjestelmien kanssa.

**EVRS** European Vertical Reference System. Euroopan korkeusjärjestelmä.

### Geopotentialiluku

Maan painovoimakentän potentiaali jossakin pisteessä geoidin potentiaalisiin suhteen. Saadaan metrisistä korkeuseroista kertomalla ne havaintovälin keskimääräisellä painovoimalla. SI-yksikkö on  $\text{m}^2/\text{s}^2$ . Koska painovoima on likimain  $9,8 \text{ m/s}^2$ , ovat geopotentialiluvut hieman pienemmät kuin vastaavat metriset korkeuserot.

**GNSS** Global Navigation Satellite Systems. Yhteisnimitys maailmanlaajuisille satelliittipaikannusjärjestelmille, kuten GPS, GLONASS, Galileo ja Beidou (Compass).

**INSPIRE** Infrastructure for Spatial Information in Europe. Direktiivi, jolla Eurooppaan luodaan kansalliset paikkatietoaineistot ja -palvelut yhdistävä yhteinen paikkatietoinfrastruktuuri.

**Kantakartta** Digitaalinen taustakartta, jossa on esitetty kaikki suunnittelulle ja rakentamiselle tärkeät elementit, mm. kiinteistöt, rakennukset, liikenneväylät, maastokuviot, vesistöt sekä korkeustiedot.

KKJ Kartastokoordinaattijärjestelmä. Aiemmin valtakunnallisissa kartastotöissä käytetty tasokoordinaatisto. KKJ koostuu peruskoordinaatistosta, jossa Suomi on kuvattu kuudessa 3 asteen levyisessä Gauss-Krüger-projektiokaistassa, sekä yhtenäiskoordinaatistosta, jossa Suomi kuvattu yhdessä projektiokaistassa.

#### Monitieheijastus

Signaalin heijastumisesta aiheutuva virhe GPS-mittauksissa.

NAP Hollannin korkeusjärjestelmän referenssitaso, käytetään myös EVRS-järjestelmän lähtötasona, jossa NAP:n geopotentialiluku on nolla.

PPM Parts per million. Kaavoitusmittausohjeessa (MML/1/012/2003) mittausten tarkkuutta arvioidaan suhteellisena tarkkuutena, joka tarkoittaa pistevirheen (pistekeskivirheen) suhdetta pisteiden väliseen etäisyyteen.

#### Vertausellipsoidi

Kuvaa maapallon muotoa matemaattisesti. Ellipsoidin määrittävät parametrit ovat *isoakselin puolikas* ja *litistyneisyys*.

VRS Virtual Reference Station. Suhteellinen paikanmääritys perustuu satelliittien signaalien kantoaallon hyväksikäyttöön vähintään kahdella vastaanottimella, joista toinen on koordinaateiltaan tunnetulla pisteellä. VRS-menetelmässä kartoitusvastaanottimen lähelle luodaan virtuaalinen tukiasema.

WGS84 World Geodetic System 84. Yhdysvaltojen puolustusministeriön käyttämä, määrittelemä ja ylläpitämä maailmanlaajuinen koordinaattijärjestelmä.

# 1 Johdanto

## 1.1 N2000-järjestelmään siirtyminen

Korkeusjärjestelmä määrittelee kohteen korkeuden vertauspinnasta. Yleisin vertauspinta on keskimerenpinta, ja usein käytetäänkin termiä ”korkeus merenpinnasta”. Suomessa valtakunnalliset korkeusjärjestelmät on perinteisesti sidottu Helsingin keskivedenpintaan. 2000-luvun alussa yleisimmin käytössä oli N60-järjestelmä, jota on käytetty valtakunnallisissa kartastotehtävissä ja niihin kiinteästi liittyvissä toiminnoissa. Merkittävässä määrin on ollut käytössä myös N43- ja NN-järjestelmiä. Kunnissa on edellä lueteltujen lisäksi käytetty myös omia paikallisia järjestelmiä.

Vuosituhanne vaihteessa Suomessa muodostui tarve vastata kahteen korkeusjärjestelmiä koskevaan muutostekijään. Maankuoren nousu, joka on pahimmillaan noin 1 senttimetri vuodessa, pakottaa Suomen uudistamaan korkeusjärjestelmänsä noin 50 vuoden välein. Toisaalta Euroopan unionin asettama INSIPRE-direktiivi edellyttää jäsenmaita toimittamaan ympäristöön liittyvää paikkatietoa tilaajan niin halutessa yhteis-eurooppalaisessa koordinaattijärjestelmässä. Tästä johtuen Suomessa ollaan paraikaa toteuttamassa uuden korkeusjärjestelmän N2000:n käyttöönottoa. Suomen kunnat ovat laajasti lähteneet mukaan hankkeeseen, ja muun muassa Maanmittauslaitos on ilmoittanut lopettavansa aineistojen tuottamisen sekä luovuttamisen N60-järjestelmässä lähivuosina.

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää muunnosmenetelmät, joilla Rauman kaupunki voisi suorittaa N60-korkeusjärjestelmän vaihtamisen N2000-järjestelmään ja valita menetelmistä testien perusteella parhaiten Raumalle soveltuvat. Koska myös Raumalla on korkeuden mittaamisessa yhä enemmän siirrytty käyttämään GNSS-vastaanottimia, perehdytään tässä työssä lisäksi suomalaisiin geoidimalleihin ja annetaan suosituksia paikallisen geoidimallin tarpeesta Raumalla.

Tämä työ on jatkoa Ari-Pekka Asikaisen laatimalle insinööriyölle ”Rauman kaupungin siirtyminen EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin”, jossa pohdittiin vaihtoehtoja taso- ja korkeusjärjestelmien uudistamiseksi Raumalla.



## 1.2 Ohjeita ja aikaisemmat tutkimukset

Julkisen hallinnon suositus 163 on tarkoitettu paikkatietoaineistojen ja -järjestelmien tuottajille ja käyttäjille. Siinä määritellään perusteet N2000-järjestelmälle, joka valtakunnallisten toimijoiden tulee ottaa käyttöön. Syytä perustellaan maannousulla ja Euroopan yhteisön tavoitteella yhtenäisestä korkeusjärjestelmästä. Suosituksen tarkoituksena on ollut yhtenäistää ja nopeuttaa uuden järjestelmän käyttöönottoa. Suosituksessa eri käyttäjille on myönnetty vaihteleva aikataulu järjestelmään siirtymiseksi toimijan tilanteen ja toimialan mukaisesti. Suosituksessa myös määritellään useille laitoksille ja toimijoille vastuualueet N2000-järjestelmään siirtymiseksi.

Kaiken kaikkiaan maastomittauksien laatua on Suomessa ohjattu vuonna 2003 julkaistuilla kaavoitusmittausohjeilla (MML/1/012/2003). Vanhentuva ohjeistus tullaan korvaamaan Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunnan (JUHTA) suosituksilla. JUHTA on 5. joulukuuta 2012 julkaissut suosituksen numero 184 "Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä", jossa kuitenkin ohjeistetaan vain taso- ja maantieteellisten koordinaatistojen käyttöä mittauksissa. Toistaiseksi ei siis ole vielä käytössä koko Kaavoitusmittausohjeet-kokoelman korvaavia suosituksia, joten sen ohjeistuksia korkeuden mittauksen osalta on tässä työssä edelleen noudatettava.

N2000-korkeusjärjestelmään siirtymisestä on jonkin verran tutkimustuloksia. Rauman tapauksessa pääasiallisena lähteenä on käytetty edellä mainittua Asikaisen insinööri-työtä. Muita tutkimustöitä ovat muun muassa Antti Väätäisen "Virtain kaupungin muunnosvaihtoehdot EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin siirtymiseksi" sekä Petri Honkasen "Lahden kaupungin taso- ja korkeusjärjestelmien vaihtaminen EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin". Varsinaisesti pelkästään korkeusjärjestelmävaihdoksiin keskittyneitä tutkimuksia ei käytännössä ole kirjoitettu.

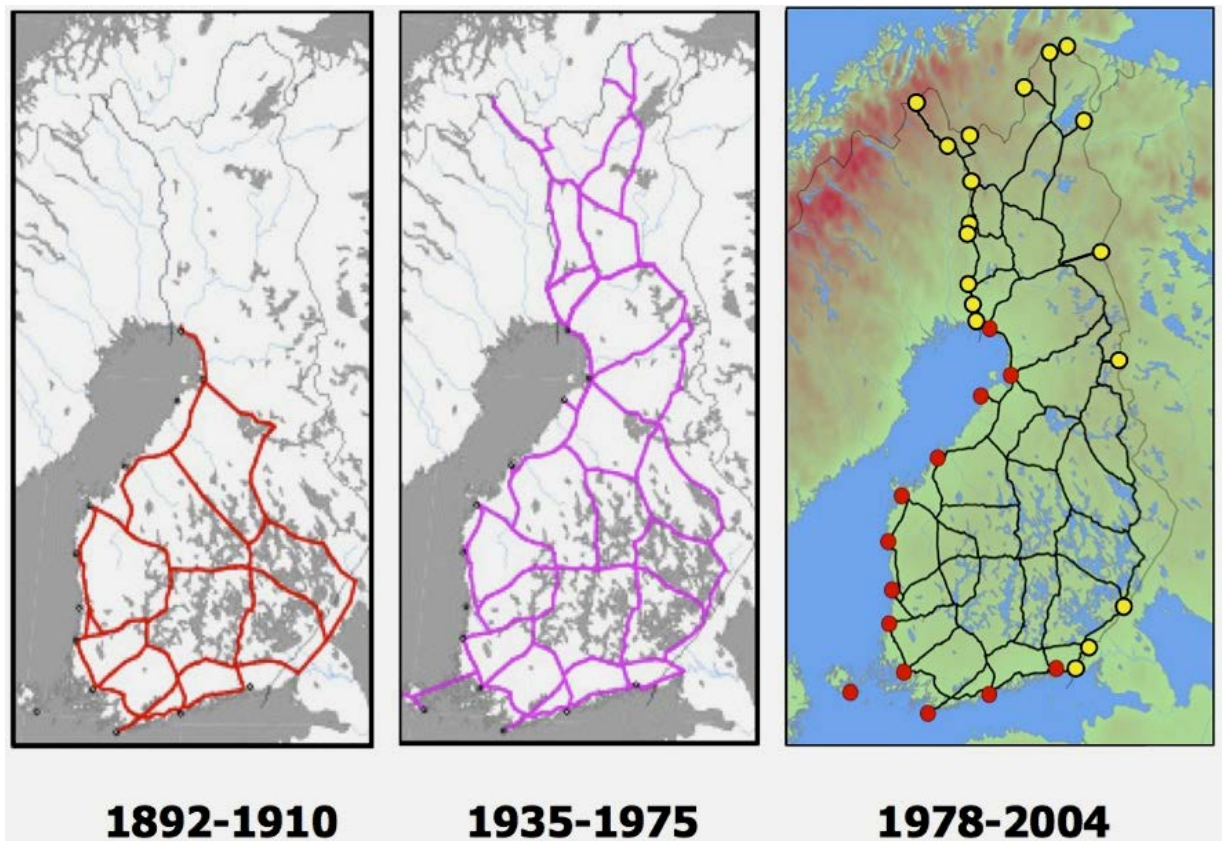
## 2 Korkeusjärjestelmien perusteet

### 2.1 Aiemmat korkeusjärjestelmät Suomessa

Alkujaan korkeuden mittaus on ollut tarpeen vesistöjen ja veden kulun määrittelyssä. Ensimmäiset laajamittaiset korkeusmittaukset kartoitusta varten Suomessa tekivät ve-

näläiset sotilastopografit 1800-luvun loppupuolella. Mittaus toteutettiin trigonometrisillä menetelmillä mittaamalla myös korkeuskulmat monikulmiomittausten yhteydessä. Taso saatiin liittämällä monikulmioverkko vaaituksilla merenrannan vesiasteikkoon. Myös ilmanpaine-erojen määrittelyllä johdettiin kohteiden välisiä korkeuseroja.

Tie- ja vesirakennusten ylihallitus suoritti vuosina 1882–1910 ensimmäisen tarkkavaaituksen, jonka perustana Suomeen luotiin ensimmäinen korkeusjärjestelmä. Tämä Normaalinollaksi kutsuttu järjestelmä, jossa korkeudet vastasivat suurin piirtein vuoden 1900 tilannetta, kattoi eteläisen osan Suomesta Oulu–Kajaani-linjan alapuolelta (kuva 1, vasen kartta). Vaaitusverkon 11 silmukassa vaaitus sidottiin mareografeihin Helsingissä, Hangossa, Viipurissa ja Vaasassa. Vertailutasoksi valittiin vesiasteikon nollapiste Helsingin Katajanokan sillan perustuksissa. Sieltä korkeus siirrettiin Tähtitorninmäellä sijaitsevalle ensimmäisen luokan tarkkavaaituksen peruspisteelle. Mittaustuloksille suoritettiin ortometrinen korjaus, mutta mittausten aikaista maanousua ei huomioitu.



Kuva 1. Suomen kolme tarkkavaaitusta ja niiden vaaituslinjat. Oikeanpuoleisessa kartassa punaiset pisteet merkitsevät mareografeja ja keltaiset rajankohтия, joissa vaaitusverkko yhtyy ruotsalaiseen/venäläiseen/norjalaiseen vaaitusverkkoon (Geodeettinen laitos 2007)

Maannousun takia Suomen korkeusjärjestelmä on uusittava aika ajoin. Vuosien kuluessa myös huomattava määrä kiintopisteistä on hävitetty erilaisten rakennustöiden yhteydessä. Suomen toinen tarkkavaaitus aloitettiin vuonna 1935 ja se toteutettiin useassa vaiheessa Geodeettisen laitoksen toimesta. Vuoteen 1955 mennessä työt olivat edenneet Aavasaksa–Kemijärvi-tasalle. Sitä mukaa kun mittaus edistyi, laskettiin kiintopisteille korkeuksia. Mittausten aikana tapahtunutta maannousua ei otettu huomioon. Muodostui uusi, tilapäinen korkeusjärjestelmä, joka perustason mukaan sai nimekseen N43. Peruspisteeksi valittiin yksi Helsingin Pasilassa sijaitseva kiintopiste, jonka korkeusluvaksi otettiin NN-järjestelmän mukainen arvo. N43-järjestelmän lähtökorkeus vastasi vuoden 1943 keskivedenpintaa Helsingissä. Vaikka N43 lähtötaso on sama kuin NN-järjestelmässäkin eroavat korkeusluvut kaikkialla, missä maannousun nopeus poikkeaa Helsingin maannousun nopeudesta.

Toisen tarkkavaaituksen työt jatkuivat Lapissa vuosina 1953–1962, ja viimeiset vaaituslinjat toteutettiin Ahvenanmaalla 1967–1972. Kaiken kaikkiaan muodostunut vaaitusverkko tasoitettiin geopotentialilukuja käyttäen. Kun kahden tarkkavaaituksen antamien korkeuseromittausten sekä Suomessa tuolloin toimineiden mareografien havaintojen avulla saatiin tietoa maankohoamisesta, korjattiin (redukoitiin) toisen tarkkavaaituksen antamat arvot ajallisesti vuoteen 1960. Näin syntyi korkeusjärjestelmä N60, jossa oli huomioitu mittausten aikainen maankohoaminen.

Koska ensimmäinen tarkkavaaitus ei ulottunut pohjoisimpaan Suomeen asti, ei siellä tehdyille toisen tarkkavaaituksen havainnoille voitu tehdä edellä mainittua redukointia. Tästä syystä Lappiin muodostui Aavasaksa–Kemijärvi-linjan pohjoispuolelle väliaikainen Lapinnolla (LN) -järjestelmä. Sen lähtökorkeudet saatiin jo lasketuista N60-järjestelmän pisteistä. Vuosina 1973–1975 mitattiin Lapin halkaiseva vaaituslinja uudelleen, jolloin saatiin ensimmäistä kertaa selville maannousu Lapin alueella. LN-järjestelmä korvautui N60-järjestelmällä vuonna 1977, kun laskenta oli alueella valmistunut. (Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 3; Rantatupa ym. 2011: 81–82; Saarikoski 2007; Salmenperä 1998; Tikka 1976: 216–219.)

## 2.2 N2000-järjestelmä

Kolmas tarkkavaaitus aloitettiin vuonna 1978. Vaaituksia jatkettiin aina vuoteen 2006 saakka, jolloin vaaituslinjojen yhteispituudeksi oli kertynyt 9 158 kilometriä.

Suomen kansallisen tasoituksen lähtöarvo määritettiin pohjoismaisena yhteistyönä Itämeren ympäri tehdyllä tasoituksella, josta käytetään lyhennettä BLR2000 (Baltic Leveling Ring). Sen lähtötaso on NAP, ja siinä oli vaaitushavaintoja Suomesta, Skandinaviasta, Hollannista, Pohjois-Saksasta, Puolasta ja Baltiasta. Korkeusjärjestelmän N2000 lähtötaso on Kirkkonummella Geodeettisen laitoksen Metsähovin observatorion alueella oleva kiintopiste PP2000, jonka korkeuslukema on saatu BLR2000-tasoituksesta.

Järjestelmä ei ole aiempien kansallisten korkeusjärjestelmien tavoin sidottu Helsingin keskimääräiseen merenpintaan vaan se perustuu Amsterdamin keskimerenpinnan määrittämään korkeustasoon. Lisäksi N2000 ei perustu ortometriisiin korkeuksiin vaan normaalikorkeuksiin (Rantatupa ym. 2011: 81–82; Saarikoski 2007.)

### 3 Muunnosvaihtoehdot

#### 3.1 Lähtötilanne

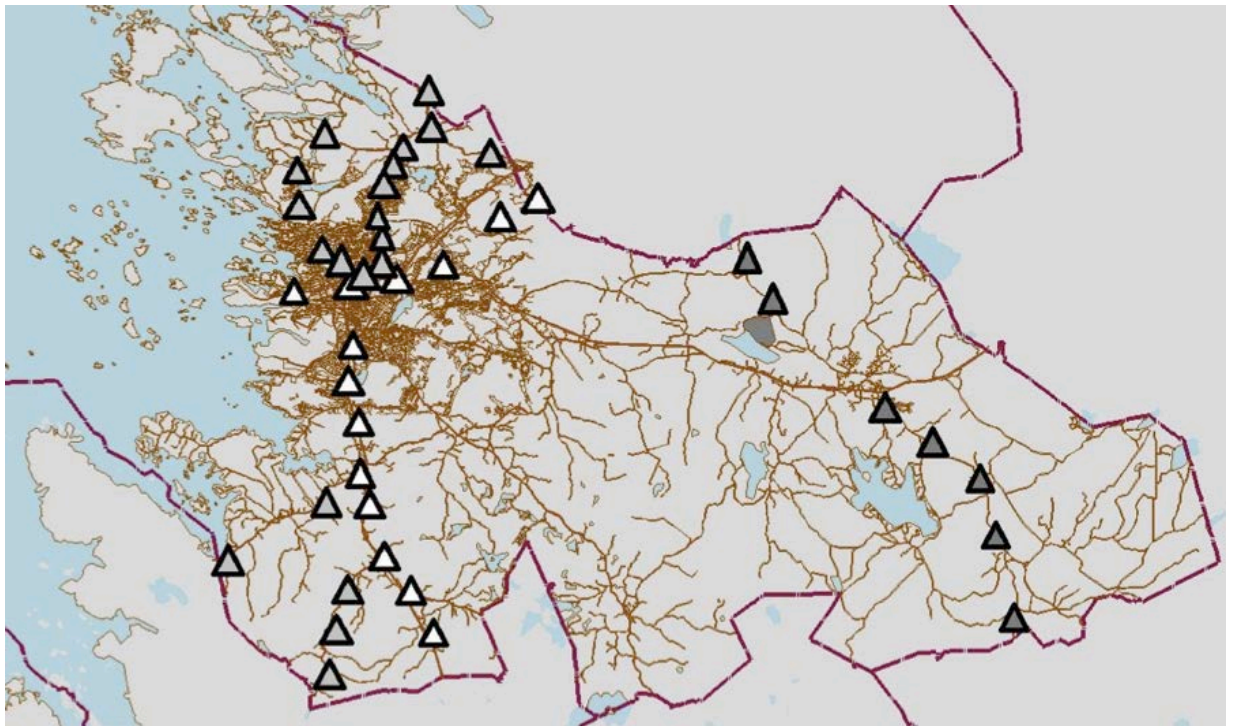
Rauma on lounaissatakuntalainen 39 900 asukkaan satamakaupunki. Kunnan leveys on noin 40 kilometriä ja korkeus noin 26 kilometriä. Rauman kaupunki käyttää paikkatieto-ohjelmistona ohjelmistoyhtiö Teklan tuotteita kuten TeklaGIS, Xstreet ja Xpipe. Raumalla ja ympäryskunnissa on ollut käytössä KKJ-koordinaatisto ja N60-korkeusjärjestelmä. Rauman kaupungissa N60 on ollut käytössä vuodesta 1986 lähtien. Rauman kaupunki ylläpitää runkopisteverkkoaan asemakaava-alueilla.



Kuva 2. Kartta Rauman ympäryskunnista 2012. Lappi ja Kodisjoki myös merkitty.

Rauman kaupunkiin on kuntaliitoksissa liitetty vuonna 2007 Kodisjoen ja vuonna 2009 Lapin kunnat(kuva 2). Liitetyillä kunnilla ei ole ollut omaa mittaustoimea, vaan Maanmittauslaitos on vastannut kaikista kiinteistö- ja mittaustoimista. Näin ollen kuntaliitosten mukana ei ole tullut uutta runkopisteverkkoa.

Karttatarkastelulla voidaan helposti todeta Rauman kaupungin tärkeimpien ja "arvokkaimpien" runkopisteiden sijaitsevan rajatulla alueella, jossa on laadittuna asemakaava tai rakennuskaava. Vanhan Lapin kunnan keskustan alueella on Maanmittauslaitoksen ylläpitämää korkeuskiintopisteistöä, korkeusluokitukseltaan korkeintaan 2. luokkaa. Näin ollen laadittavat muunnokset tulee tehdä siten, että ne tuottavat parhaimman tuloksen eli pienimmän jäännösvirheen kaupungin keskusta-alueella. Muunnoksen tarkkuuteen kaupungin asemakaava-alueilla on muutenkin kiinnitettävä huomiota.



Kuva 3. Havainnekuva N2000-korkeuspisteistä Rauman alueella. Valkoiset kolmiot ovat 1. lk., vaalean harmaat kolmiot 3. lk. ja tumman harmaat kolmiot idempänä 2. lk. (Asikainen 2012: 48).

Olemassa olevaa tarkkavaaivattua N2000-korkeuskiintopisteistöä Raumalla on runsaasti (kuva 3). Geodeettisen laitoksen 1. luokan korkeuspistejono myötäilee etelästä valtatie 8 reunaan keskustaan saakka, jossa jono yhtyy Rauman satamasta rautatien reunaan pitkin kulkevaan 1. luokan pistejonoon, joka jatkuu kunnan rajojen yli koilliseen. Geodeettisen laitoksen toimesta Raumalla on myös 3. luokan korkeuspisteverkkoa eri

puolilla etelä- ja pohjoisosissa kaupunkia. Maanmittauslaitoksen 2. luokan korkeuspistejono kulkee Eurajoentietä pitkin kohti Lapin kunnan keskustaa.

### 3.2 Muunnosvaihtoehdot

Tätä insinööriyötä määriteltäessä asetettiin kaksi tavoitetta korkeusmuunnoksen valinnalle. Ensinnäkin, Rauman kaupungin paikkatietoaineistolle, esimerkkinä kantakartta, tulee määrittää yksinkertainen ja nykyisissä käytössä olevissa paikkatieto-ohjelmistoissa toteutettava. Toiseksi, kaupungin suurempaa muunnostarkkuutta vaativalle korkeusaineistolle eli käytännössä runkopisteistölle, tulee määrittellä tarkka muunnosmenetelmä.

Asikainen [2012: 47-51] esittää insinööriyössään seuraavat vaihtoehdot N2000-korkeusjärjestelmään siirtymiseksi Raumalla:

- Vakiokorjaus. Painotettava keskusta-alueelle. Voidaan käyttää koko kunnan alueella ja kaikelle paikkatietoaineistojen korkeusdatalle.
- Vaaitusjonojen uudelleenlaskenta. Periaatteessa pitäisi onnistua mutta varsin työläs menetelmä. Edellyttää uusia vaaituksia.
- Matemaattisen muunnosyhtälön määrittäminen valtakunnallisista N2000-korkeuspisteistä.

Väätäinen [2010: 17-18] esittää insinööriyössään Virtain kaupungille muunnosvaihtoehdoiksi pienimmän neliösumman muunnosyhtälöt ja Geodeettisen laitoksen muunnoskolmiot.

Honkanen [2010: 70] esittää Lahden kaupungille tehdyn muunnosmenetelmävertailun lopuksi, että vaaitujen ja muunneltujen pisteiden ero oli vertailun perusteella vain yksi millimetri. Honkasen mukaan tämä osoittaa, että runkopisteiden muuntaminen on riittävän tarkka menetelmä, kunhan huomioidaan menetelmän kontrolloimattomuus.

Kaikkiin mainittuihin menetelmiin tutustuttiin ja niiden mahdollista tarkkuutta sekä käytettävyyttä arviointiin. Tarkempiin testeihin sekä jatkotutkintaan valittiin lopulta vakiokorjaus, pintamuunnos ja matemaattiset muunnosyhtälöt.

### 3.3 Vakiokorjaus

Vakiokorjaus on kiinteä luku, joka lisätään kaikkiin N60-korkeuksiin niitä muunnettaessa. Rauma on muodoltaan leveä, mikä käytännössä tarkoittaa, että maannousun nopeus on kunnan itäosassa hitaampaa kuin länsirannikolla ja keskustassa. Maannousun erilaisuudesta johtuen vakiokorjaus antaa parhaan tuloksen kaupungin keskustaan, jossa tärkein paikkatietoaineisto sijaitsee. Korjaus itsessään ei siis huomioi maannousun vaihtelua. Rauman seudulla maannousun keskimääräiseksi nopeudeksi on arvioitu 5,35 millimetriä vuodessa.

Rauman alueen vakiokorjaus muodostettiin alueella olevien N2000- korkeuskiintopisteiden painotetusta keskiarvosta painottaen kaupungin keskustaa. Parhaimmat tulokset saatiin vakiokorjauksella +0,337 metriä.

Vakiokorjaus on Suomessa yleinen menetelmä muuntaa kuntien paikkatietoaineisto N2000- korkeusjärjestelmään. (Espoon kaupunki 2012: 1; Helsingin kaupunki 2012: 4; Lusa 2012: 26; Vantaa 2012.)

### 3.4 Pintamuunnos

Pintamuunnos tarkoittaa digitaalista korkeusmallia, jonka pinta koostuu N60- ja N2000- järjestelmien välisistä eroista. Pinta koostuu valituista N2000- korkeuspisteistä, jolloin se on epätasainen ja epäsäännöllinen. Pintamuunnosta käytetään siten, että paikkatieto-ohjelmaan syötetään joukko muunnettavia N60-pisteitä, jotka ohjelma niin sanotusti nostaa korjauspinnan mukaiseen N2000- korkeuteen. Pintamuunnoksen kolmiverkkoraenne on kuvattu liitteessä 1 ja kuvassa 4. Muunnospisteiden etäisyys toisistaan verkossa on pienimmillään vajaa kolme kilometriä ja pisimmillään 20 kilometriä.

Tämä muunnostekniikka pohjautuu Raumalla käytössä olevan paikkatieto-ohjelmiston (Tekla) luomiin mahdollisuuksiin. Pintamuunnos huomioi maannousun vakiokorjausta paremmin, minkä takia sen avulla voidaan tuottaa helposti korkeusmuunnoksia. Muunnospisteillä ei kuitenkaan ole varsinaista aikaisempaa yhteyttä toisiinsa. Tällöin mahdolliset vääristymät käytetyssä korkeuspisteessä heijastuvat pisteen ympäristöön ja siten vaikuttavat muunnoksen luotettavuuteen.







Korkeusmuunnoksen kaava on tällöin muotoa

$$Z_{korj} = a + b * N + c * E \quad (1)$$

jossa a on vakio, b ja c ovat kallistuksen parametrit sekä N ja E ovat muunnettavan kohteen koordinaatit valitussa koordinaatistossa. Mikäli pinnan kallistus eli parametrit b ja c saavat arvon nolla yksinkertaistuu polynomi vakiokorjaukseksi, joka siis ei huomioi maannousun vaihtelua. Muunnoskaavaa käytetään määrittelemällä sen avulla muunnettavan kohteen sijainnin mukainen korjaus, joka lisätään kohteen N60-korkeuteen. Rauman alueella korjaus on tyypillisesti korkeusväliltä 0,328–0,351 metriä. [Asikainen 2012: 47–50]

Laajoilla alueilla muunnoksissa suositellaan yleisesti käytettäväksi moniasteisempia polynomeja. Kuitenkin yhden kunnan alueella saadaan hyviä tuloksia jo 2. asteen polynomilla. Muunnosyhtälön kaavaksi muotoutuu tällöin

$$Z_{korj} = a + b * N + c * E + d * N^2 + e * NE + f * E^2 \quad (2)$$

jossa a, b, c, d, e ja f ovat parametreja sekä N ja E ovat muunnettavan kohteen koordinaatit valitussa koordinaatistossa.

Kaavoitusmittausohjeiden [2003: 13] mukaan geoidimallin määrittämiseen voidaan käyttää 1. ja 2. asteen polynomeja, mikäli kyseessä on suppea alue (halkaisija pienempi kuin 20–30 km) ja alueella on vähintään 5–6 vaaittua korkeuskiintopistettä. Vaikka ohjeessa viitataan eri käyttötarkoitukseen, voidaan geoidimallin sijaan kyseistä ohjeistusta käyttää myös korkeusjärjestelmien välisiin muunnoksiin.

Sekä kaltevan pinnan että 2. asteen muunnosyhtälöiden parametrit voidaan määritellä pienimmän neliösumman menetelmällä muunnospisteitä käyttäen. Muunnospisteiltä edellytetään korkeustietoa N60- ja N2000-korkeusjärjestelmissä. Laskennassa tavoitteena on saada muunnoksille mahdollisimman pienet keskivirheet (Väätäinen 2010: 17).

## 4 Sopivan muunnoksen valinta

### 4.1 Paikkatietoaineistojen korkeudet yleisesti

Määritettyä vakiokorjausta (+0.337 m) testattiin valtakunnallisilla N2000-korkeuspisteillä, joita oli käytettävissä noin 100 kappaletta. Jäännösvirheeksi muodostui keskimäärin koko kunnan alueella 4 millimetriä, kaupungin keskustassa 3 millimetriä ja Lapin keskustan lähellä 9 millimetriä. Keskihajonnaksi tuli 5 millimetriä.

Testi osoitti, että vakiokorjausta voidaan hyvin käyttää Rauman kaupungin kantakartan, rajamerkkien ja yleisesti paikkatietoaineiston korkeuksien muuntamiseen sillä muodostuvat virheet jäävät riittävän pieniksi.

### 4.2 Taso- ja korkeuskiintopisteiden korkeudet

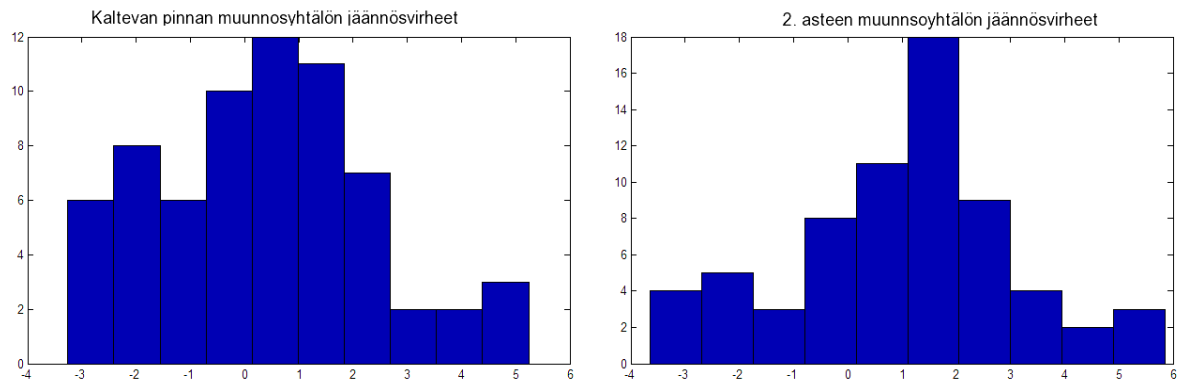
Myös matemaattisten muunnosyhtälöiden sekä pintamuunnoksen tarkkuutta tutkittiin valtakunnallisten N2000-korkeuspisteiden avulla. Pienimmän neliösumman menetelmällä määriteltiin ensimmäisen ja toisen asteen muunnospolynomien parametrit. Laskenta suoritettiin Matlab ohjelman versiolla R2011. Muunnospisteinä käytettiin Rauman ja lähikuntien alueen N2000-korkeuspisteitä. Muunnospisteiden koordinaatteina käytettiin KKJ-järjestelmän mukaisia tasokoordinaatteja, jolloin muunnoksen yhteydessä nimenomaisten muunnosparametrien kanssa on käytettävä KKJ1-koordinaatteja. Molempien muunnosyhtälöiden laskennan tulokset ja jäännösvirheet on kuvattu liitteissä 2 ja 3. Kaltevan pinnan muunnosyhtälö parametreineen on

$$Z_{korj} = -0.85170835 + 3.0059e^{-07} * N + -5.5404e^{-07} * E \quad (3)$$

jossa  $Z_{korj}$  on N60-korkeuteen lisättävä arvo sekä N ja E ovat muunnettavan kohteen koordinaatit valitussa koordinaatistossa. Toisen asteen muunnosyhtälö on parametreineen

$$Z_{korj} = 497.44989426 + -0.0001367668 * N + -4.47603e^{-05} * E + 9.6195e^{-12} * N^2 + 4.3726e^{-12} * NE + 4.7413e^{-12} * E^2 \quad (4)$$

Kaltevan pinnan muunnosyhtälön jäännösvirheet olivat keskimäärin 1,6 millimetriä ja kaupungin keskustassa 1,3 millimetriä. Toisen asteen yhtälömuunnos jäännösvirheet olivat keskimäärin 1,9 millimetriä ja keskustassa 1,4 millimetriä. Kuvassa 5 on esitetty molempien muunnosmenetelmien jäännösvirheiden jakautuminen. Histogrammin perusteella kaltevan pinnan muunnosyhtälön virheet ovat tiiviisti kapeammalla välillä, kun 2. asteen muunnosyhtälössä virheet jakautuvat leveälle välille.



Kuva 5. Kaltevan pinnan ja 2. asteen muunnosyhtälöiden jäännösvirheiden histogrammit. Vaaka-akselilla virheluokat, yksikkö millimetriä. Pystyakselilla lukumäärä luokassa.

Matemaattisten muunnosmallien tutkituissa tarkkuuksissa oli ennako-oletuksista poikkeava tulos: yleensä moniasteisemmilla polynomeilla on saatu parempia tuloksia kuin lineaarisilla, mutta tässä tapauksessa tulos on päinvastainen. Tarkalleen ottaen Lapin keskustan alueella saatiin pienempi jäännösvirhe toisen asteen muunnosyhtälöllä kuin lineaarisella polynomilla. Lisäksi kaikki testipisteet saivat tällä muunnoksella järjestelmällisesti liian suuren korjauksen. On mahdollista vetää johtopäätös, että Maanmittauslaitoksen 2. luokan korkeuspisteet Lapin alueella ovat saattaneet aiheuttaa laskentaan jonkinlaista häiriötä. Tosin ilman 2. luokan korkeuspisteitä suoritettu laskenta tuottaa kaupungin keskustaan vääristynyttä jäännösvirheiden muuttumista. Toinen mahdollinen virhelähde voivat olla alkuperäiset N60-korkeushavainnot, jotka eivät eri pisteiden välillä olekaan yhteneviä N2000-havaintojen kanssa.

Pintamuunnosta voidaan käyttää paikkatieto-ohjelmassa kahdella tavalla: joko niin sanotusti ohjelman taustalla käyttäjän sitä tarvitessa tai erillisen formaattiin uloskirjoituksen yhteydessä. Kun muunnosta testattiin ohjelman taustalla, tämä onnistui hyvin ja muunnetut korkeudet olivat hyvin lähellä vaaittuja N2000-korkeuksia. Sen sijaan, kun muunnosta testattiin uloskirjoittamalla eräitä kaupungin kantakartan kohteita DXF-tiedostoformaattiin, muunnos epäonnistui. Kirjoitetussa vektoritiedostossa osa

korkeuksista oli muuttunut nollakorkeuksiksi ja tehdyt korkeuskorjaukset olivat satunnaisen suuruisia. Muunnoksen toimintaa ja ohjelmiston uloskirjoitustoimintaa tutkittiin moneen otteeseen mutta vikaa ei saatu poistumaan. Syyksi paljastui käytetyn paikkatieto-ohjelmiston kyseisessä kehitysversiossa oleva virhe, jota Raumalla ei olisi tietoteknisistä resursseista johtuen pystytty korjaamaan määräaikaan mennessä. Tästä johtuen ajatuksesta käyttää pintamuunnosta laajassa mittakaavassa jouduttiin luopumaan.

Tässä luvussa käsitellyistä muunnosmenetelmistä erityistä tarkkuutta vaativille kohteille suositellaan Rauman kaupungilla käytettävän kaltevan pinnan muunnosyhtälöä eli ensimmäisen asteen polynomia edellä kuvatuilla parametreilla.

## 5 Suositus käytettävästä geoidimallista

### 5.1 Geoidi

Geoidi on Maan painovoiman potentiaalinen tasa-arvopinta, joka kuvaa parhaiten valtamerten keskivedenpinnan vapaata asettumista. Vedenpinta ei ole täsmälleen potentiaalinen tasa-arvopinta johtuen muun muassa merivirroista, tuulista, lämpötila- ja suolaisuuseroista. Geoidin voidaan ajatella kuvaavan meren pintaa, joka ulotetaan myös mannerten alapuolelle. Geoidin matemaattinen määrittäminen on vaikeaa sillä se on pinta jota määrittelevät maamassat ja tiheysvaihtelut (Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 2).

Geoidimalleja, geoidikorkeuksien käyttö ja paikallisen geoidimallin määrittäminen on kuvattu laajasti Geodeettisen laitoksen tiedotteessa numero 29: "Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa". Tässä työssä kuvataan tiedotteen pohjalta tärkeimmät kohdat.

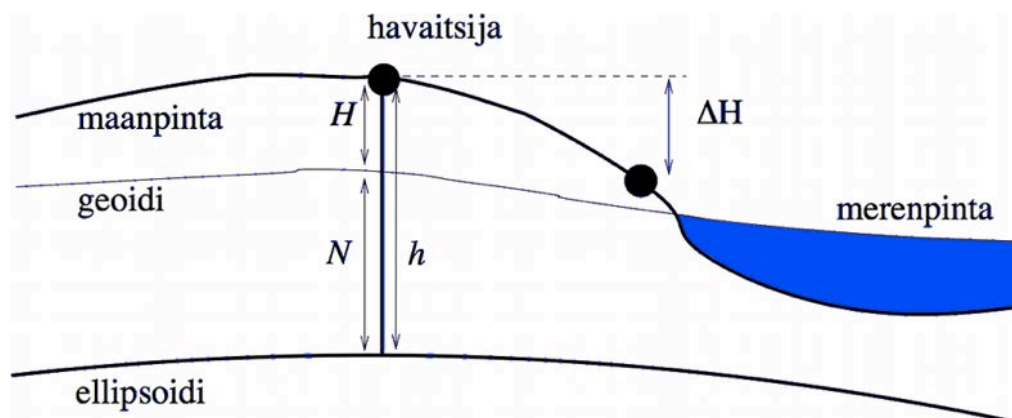
### 5.2 Ellipsoidisten korkeuksien muuntaminen

Ellipsoidikorkeus on mitatun pisteen etäisyys ellipsoidipinnasta. GPS-mittausten tuloksena saadaan kohteen kolmiulotteiset koordinaatit (X,Y,Z) jotka voidaan muuntaa maantieteellisiksi koordinaateiksi ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) ja ellipsoidikorkeudeksi (h). Kyseessä on geo-

metrinen suure, jonka perusteella ei voida määrittää veden virtaamissuuntaa (Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 2).

Tarkkavaaitsemalla mitattujen pisteiden välisistä geopotentialieroista muodostuu vaaittu korkeus ( $H$ ). Nollatasona käytetään yleensä keskimerenpintaa, jonka oletetaan vastaavan geoidipintaa. Painovoiman huomioimistavasta riippuen syntyy joko ortometrinen tai normaalikorkeusjärjestelmä. Suomen N60 on ortometrinen ja N2000 on normaalikorkeusjärjestelmä (Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 2).

Geoidi kuvataan yleensä korkeuksina ellipsoidiin nähden (kuva 6). Geoidimallissa kuvataan siis geoidin korkeutta vertausellipsoidin pinnasta eli geoidikorkeutta ( $N$ ). Geoidikorkeus on positiivinen ellipsoidin yläpuolella ja negatiivinen sen alapuolella. Geoidin pinta on Rauman seudulla noin 19 metriä ellipsoidin yläpuolella (Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 2, 17).



Kuva 6. Havainnekuva erilaisista korkeuksista. Ellipsoidinen korkeus  $h$ , vaaittu korkeus  $H$  ja geoidikorkeus  $N$ . (Poutanen 2010: 112)

Geoidikorkeuden, ellipsoidikorkeuden ja vaaitun korkeuden välinen yhteys on

$$N = h - H \quad (5)$$

### 5.3 Suomen valtakunnalliset geoidimallit

Geoidimallin määrittämiseen käytetään pitkällä aikavälillä tehtyjä havaintoja ja tutkimuksia Maasta. Aiemmin perinteinen menetelmä on ollut astronomisten ja geodeettisten koordinaattien eroista lasketut luotiviivapoikkeamat. Nykyisin geoidinmäärittäminen

telmät perustuvat Maan painovoiman potentiaalien määrittämiseen. Painovoimakentän kartoitusta tehdään Maata kiertävien satelliittien avulla. Globaaleja geoidimalleja voidaan parantaa alueellisesti Maan pinnalla tehtyjen painovoimamahavaintojen avulla. 1980- ja 1990-lukujen aikana Suomen ja Pohjoismaiden alueille on laskettu useampia geoidimalleja. (Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 5)

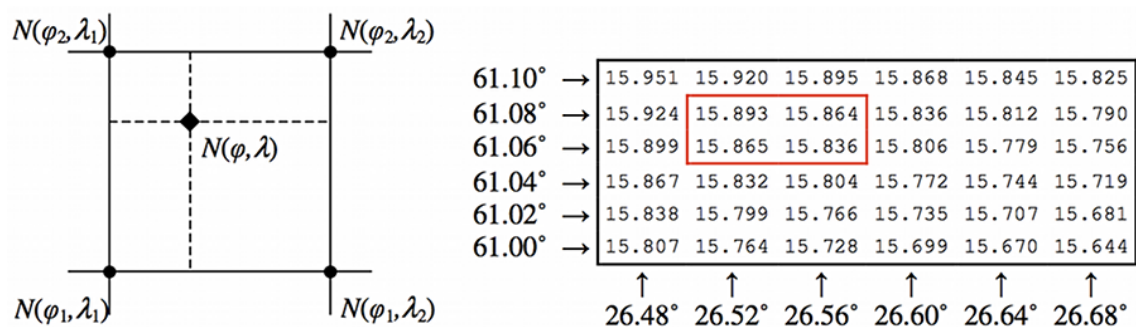
*FIN2000-geoidimalli* on johdettu pohjoismaisesta NKG96-mallista, jota on korjattu kansallisesti 4. asteen polynomipinnan avulla. Polynomipintaa varten käytettiin vuosina 1996–1999 mitattuja GPS-pisteitä. Pisteiden korkeudet on tunnettu N60-korkeusjärjestelmässä ja mittaukset on laskettu ETRF89-tasokoordinaatistossa (vastaa suomalaista EUREF-FIN-realisaatiota). Mallin sisäistä tarkkuutta kuvaava jäännösvirheiden neliöllinen keskivirhe on 28 millimetriä, ja mittauksilla testatut suurimmat muunnosvirheet ovat 80–90 millimetriä. Tarkalleen ottaen FIN2000 ei ole perinteisessä mielessä geoidimalli vaan pikemminkin muunnospinta, jolla EUREF-FIN-koordinaatistossa määritetyt korkeudet muunnetaan kansalliseen N60-korkeusjärjestelmään.

Vuonna 2004 julkaistiin uusi Pohjoismainen geoidimalli NKG2004. Lisäksi Suomessa oli samanaikaisesti käynnissä N2000-korkeusjärjestelmän luominen joten syntyi tarve uuden muunnospinnan määrittämiselle. *FIN2005N00-geoidimallin* sovittamiseen käytettiin Suomen EUVN-DA GPS/vaaitusaineistoa. Laskenta suoritettiin muuntamalla GPS-korkeudet normaalikorkeuksiksi sekä laskemalla ero N2000-vaaituskorkeuksiin nähden. Tämän jälkeen geoidierot sovitettiin eriasteisiin polynomipintoihin, joista parhaimmaksi todettiin 3. asteen polynomi. Muodostunut korjauspinta lisättiin NKG2004-geoidimalliin, ja syntyi uusi sovitettu geoidimalli FIN2005N00. Mallin tarkkuus eli neliökeskivirhe oli 19 millimetriä.

#### 5.4 Geoidimallin käyttö

Molemmat Suomen valtakunnallisista geoidimalleista antavat geoidikorkeuksia Suomen rajojen sisällä. Vaikka malli antaakin korkeuksia myös rajojen ulkopuolella, voivat syntyvät virheet muodostua liian suuriksi. FIN2005N00-mallia käytetään, kun halutaan N2000-korkeusjärjestelmän mukaisia korkeuksia ja vastaavasti FIN2000-mallia muunnoksissa N60-järjestelmän yhteydessä.

Kun tiedetään pisteen ellipsoidikorkeus ja se halutaan muuntaa esimerkiksi N2000-korkeuteen, interpoloidaan kyseisen pisteen geoidikorkeus FIN2005N00-geoidimallista. Pisteen lähtökoordinaatteina on käytettävä maantieteellisiä EUREF-FIN-koordinaatteja, ja mikäli lähtöjärjestelmä on eri, tulee koordinaatit ensin muuntaa EUREF-FIN-järjestelmään. Tämän jälkeen pisteen sijainti etsitään geoidimallin hilasta, josta otetaan neljän pistettä ympäröivän hilapisteen geoidikorkeusarvot (kuva 7). Haluttu geoidikorkeus voidaan nyt interpoloida bi-lineaarisella interpolointimenetelmällä. Myös kehittyneempiä kuutio-interpolointimenetelmiä voidaan käyttää.



Kuva 7. Bi-lineaarinen interpolointi sekä osa FIN2005N00-hilasta, jossa esimerkkipiste sijaitsee. Punaisessa laatikossa on mitatun pisteen ympäröivän neljän hilapisteen geoidikorkeudet. (Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 34)

## 5.5 Paikallinen geoidimalli

Valtakunnallista geoidimallia voidaan tarkentaa paikallisella muunnospinnalla [Bilger-Koivula & Ollikainen 2009: 20]. Paikallinen muunnospinta voi olla maantieteellisissä tai tasokoordinaatistossa. On tärkeää huomata, ettei paikallisesti sovitettua mallia pidä käyttää kyseisen alueen ulkopuolella.

N2000-korkeusjärjestelmän yhteydessä käytettäviä paikallisia geoidimalleja ei käytännössä ole Suomessa toistaiseksi laadittu [Bilger-Koivula 2013]. Aikaisempaan N60-järjestelmään liittyviä paikallisia geoidimalleja sen sijaan on laadittu, esimerkkinä Porin ympäristö, jossa geoidin pinta on haastava [Mäkeläinen 2012].

Prosessi, joka paikallisen geoidimallin määrittelyssä läpikäydään, on kuvattu tarkasti Geodeettisen laitoksen tiedotteen 29 liitteissä C ja D. Tässä kyseinen prosessi, joka on liitteessä 4 kuvattu graafisesti, käydään lyhyesti läpi.

Lähtötilanteessa tarvitaan joukko pisteitä, joille tunnetaan maantieteelliset koordinaatit( $\phi, \lambda$ ), GPS:llä havaittu ellipsoidikorkeus( $h$ ) ja vaaittu korkeus( $H_{vaa}$ ). Kaavoitusmitausohje [2003: 13] edellyttää 20–30 kilometrin halkaisijaltaan olevalla alueella vähintään 5–6 vaaittua korkeuskiintopistettä. Laskenta suoritetaan seuraavalla tavalla:

1. Interpoloidaan ja muunnetaan GPS/vaaituspisteiden ellipsoidiset korkeudet vaaituiksi korkeuksiksi. ( $H_{GPS} = h - N_{geoidimalli}$ ). Käytetään korkeusjärjestelmän mukaista geoidimallia eli joko FIN2005N00 tai FIN2000.
2. Lasketaan geoidiero eli vaiheessa 2 muunnetun korkeuden ja vaaitsemalla havaitun korkeuden välillä. ( $\Delta N = H_{GPS} - H_{vaa}$ )
3. Sovitetaan polynomipinta geoidieroihin pienimmän neliösumman avulla

$$\Delta N = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-1} a_{ij} \Delta \phi^i \Delta \lambda^j \quad (6)$$

$$\text{jossa } \Delta \phi = \frac{\phi - \phi_{\min}}{\phi_{\max} - \phi_{\min}} \text{ ja } \Delta \lambda = \frac{\lambda - \lambda_{\min}}{\lambda_{\max} - \lambda_{\min}} \quad (7, 8)$$

4. Valitaan haluttu paikallishila eli sen pistetiheys, nurkkien sijainnit ja koko. Interpoloidaan paikallishilan pisteille geoidikorkeudet ( $N_{geoidimalli, hila}$ )
5. Lasketaan kohdan 4 polynomikertoimilla geoidierot paikallishilan pisteille
6. Lisätään kohdassa 5 lasketut geoidierot kohdassa 4 laskettuihin geoidikorkeuksiin jolloin saadaan paikallinen muunnospinta eli tässä tapauksessa geoidimalli hilamuodossa:  $N_{paikallinen} = N_{geoidimalli, hila} + \Delta N_{paikallinen}$

Näin laskettuna syntyy maantieteellisiä EUREF-FIN-koordinaatteja käyttävä geoidimalli. Jos lähtöpisteet ovat tasokoordinaatistossa, tulee ketjuun lisää eräitä muunnoksia maantieteelliseen koordinaatistoon.

Suomessa kunta/kaupunki on yleisesti ottaen kooltaan sellainen, että kaavassa 6 riittää korkeintaan toisen asteen polynomien käyttö. Laajemmalla, useammasta kunnasta koostuvalla paikallisen geoidimallin alueella voidaan parantaa tuloksia 3. tai 4. asteen polynomilla. Toisaalta tilanteessa, jossa valtakunnallisen geoidimallilla muunnettujen ja vaaittujen korkeuksien välinen ero todetaan vähäiseksi (< 20 millimetriä) ja lineaarisesti vaihtelevaksi, voidaan paikallisen geoidimallin määrittämiseen kaavalla 6 käyttää ensimmäisen polynomia tai jopa nolla-asteista polynomia (vakiokorjaus) (Bilker-Koivula 2013).



## 5.6 Tutkimus valtakunnallisten geoidimallien tarkkuudesta Raumalla

Tämän insinööriyön yhdeksi alkuperäisistä tavoitteista oli asetettu määrittellä uuden korkeusjärjestelmän N2000 kanssa Raumalla käytettävä geoidimalli. Rauman kaupunki on kasvavassa määrin siirtynyt käyttämään GNSS-vastaanottimia korkeudenmäärittämissä tarpeissa. Tästä syystä alueellisesti parhaiten toimivan geoidimallin valinta on hyvin tärkeää.

Luvussa 5.5 on kuvattu prosessi, jolla paikallisen geoidimallin määrittäminen tapahtuu. Käytännössä paikallisen muunnospinnan määrittäminen edellyttää erityisen korkeusmittauskampanjan järjestämistä, sillä laskentaan käytettävän GPS/vaaituskorkeusaineiston tulisi olla mahdollisimman tuoretta ja keskenään mahdollisimman samanaikaista. Tällöin vältetään maanousun aiheuttamilta keskinäisiltä eroavaisuuksilta. Paikallisen geoidimallin määrittäminen vaatii siis merkittävässä määrin fyysistä työtä ja aikaa sekä laskentavaiheessa tuntemusta tällaisen laskentaprosessin läpiviemisestä. (Uusitalo 2009)

Paikallisen geoidimallin tarpeen kartoittamiseksi päätettiin suorittaa tutkimus, jonka tuloksena muodostuisi käsitys molempien valtakunnallisten mallien, FIN2005N00 ja FIN2000, tarkkuudesta Rauman seudulla.

### 5.6.1 Tutkimuksen lähtötiedot

Tutkimus päätettiin suorittaa useina VRS-mittauksina kullakin testipisteellä, koska nimellisellä menetelmällä muutenkin suoritetaan satelliittimittauksia Rauman kaupungissa. Testipisteiltä edellytetään sekä N60-järjestelmän että N2000-järjestelmän mukaisia tarkkavaaittuja korkeuksia. Karttatarkastelun jälkeen valittiin hieman yli kymmenen korkeuskiintopistettä eri puolilta kuntaa. Pääosa valituista pisteistä on Geodeettisen laitoksen ylläpitämiä, mutta joukossa oli myös muutamia Rauman kaupungin omia N60-pisteitä joille, kesän 2012 aikana tarkkavaaittiin N2000-järjestelmän mukainen korkeus.

Testipisteet sijaitsivat hyvin erilaisissa paikoissa, ja mittausolosuhteet vaihtelivat täysmetsästä avoimeen kalliohuippuun sekä korkeiden rakennusten viereltä paikkoihin jossa esteitä satelliittisignaaleille oli vähän (kuva 8). Ennakkoon valituista testipisteistä käyttökelpoisiksi tätä tutkimusta varten todettiin maastossa lopulta kymmenen.



Kuva 8. VRS-mittaus käynnissä pisteellä 51313 lähellä Rauman keskustaa.

### 5.6.2 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimukseen liittyvät mittaukset suoritettiin kesäkuussa 2012. Mittalaitteeksi valittiin Trimblen R8 GNSS -vastaanotin, jota muutenkin Rauman kaupunki käyttää satelliittimittauksissa. Lisäksi GNSS-vastaanotin tuettiin statiivilla, joka vähensi mittalaitteen liikkumista mittauksen aikana. Testipisteillä käytiin alueellisessa järjestyksessä muutama piste päivässä siten, että sama piste mitattiin sekä aamu- että iltapäivällä. Tällöin tuloksista on nähtävissä erilaisten päivän aikana muuttuneiden mittausolosuhteiden vaikutus. Kullakin testipisteellä tehtiin useita havaintosessioita: pääsääntöisesti ensin

pisteellä tehtiin lyhyt mittaus (3 sekuntia, 2 havaintoa), jonka jälkeen mittausaikaa ja havaintomäärää kasvatettiin alkaen 10 sekunnista aina 5 minuuttiin. Osalla pisteistä käytettiin toisista poikkeavia mittausaikoja (esimerkiksi jopa 10 minuutin mittausaika), mutta kaikilla pisteillä oli tietyt samat mittausajat.

## 5.7 Tutkimuksen tulokset

Tutkimukseen liittyvien mittausten tulokset ovat nähtävissä liitteessä 5. Kaiken kaikkiaan mittaukset onnistuivat, ja kaikilla testipisteillä saatiin olosuhteiden mukaisia tuloksia. Kuten satelliittimittauksista hyvin tiedetään vaikuttaa yksittäiseen satelliittihavaintoon sekä ilmakehästä että luonnollisista esteistä sekä monitieheijastuksista johtuvia häiritseviä tekijöitä. Siksi testipisteillä mittaustulokset odotusten mukaisesti vaihtelivat keskenään siten, että huonoin keskimääräinen jäännösvirhe yhdellä pisteellä oli noin 34 millimetriä ja paras oli 4 millimetriä.

Tutkimuksessa testipisteille määriteltiin korkeus sekä FIN2005N00- että FIN2000-geoidimallin avulla. Kun vertaillaan yhden geoidimallin sisällä muodostuneita jäännösvirheitä eri testipisteillä, ne jäävät lähes kaikki alle 2 senttimetrin. Molemmissa geoidimallissa oli kaksi testipistettä, joista yksi yhteinen, joiden jäännösvirhe ylitti 2 senttimetrin.

Taulukko 1. Vertailu FIN2005N00- ja FIN2000-geoidimallien keskimääräisestä korkeustarkkuudesta testipisteillä

<i>(tulokset mm)</i>	<b>FIN2005N00</b>	<b>FIN2000</b>
<i>KESKIARVO</i>	14	12
<i>MEDIAANI</i>	11	8
<i>MOODI</i>	13	3
<i>HAJONTA</i>	13	14

Kun kahta geoidimallia vertaillaan keskenään, havaitaan ennako-oletuksista poikkeava lopputulos. Kuten taulukosta 1 voidaan todeta, on kaikkien testipisteiden jäännösvirheiden keskimääräinen tulos parempi vanhemmalla geoidimallilla kuin uudemmalla.

Myös muut tilastolliset arvot antavat FIN2000-geoidimallille parempia tuloksia. Vielä rajummin kahden geoidimallin välinen ero näkyy, kun vertaillaan yksittäisiä testipisteitä, joista vain harva antaa pienemmän jäännösvirheen FIN2005N00-geoidimallilla kuin FIN2000-geoidimallilla.

## 5.8 Päätelmät

Tehdyssä tutkimuksessa pyrittiin toteamaan kahden valtakunnallisen geoidimallin korkeusmittaustarkkuus Rauman alueella ja siten määrittämään paikallisen geoidimallin mahdollinen määrittämistarve. Tutkimustulos antoi hyvin vahvat todisteet siitä, että sekä uudemmalla FIN2005N00- että vanhemmalla FIN2000-geoidimallilla voidaan saada käyttökelpoisia korkeusmittauksia, kun otetaan huomioon yleinen satelliittimittausten tarkkuus ja siihen vaikuttavat muutostekijät. Mikäli ympäristöön, jossa satelliittimittauksia suoritetaan sekä muihin mahdollisiin tekijöihin on kiinnitetty huomiota, pystytään korkeusmittauksissa Raumalla pääsemään hyvin varmasti alle kahden senttimetrin jäännösvirheeseen.

Tutkimuksessa vertailtiin geoidimalleja keskenään ja huomattiin, että FIN2000-malli tuotti useammalla testipisteellä paremman tuloksen eli pienemmän jäännösvirheen kuin FIN2005N00. Testipisteitä joilla uudempi malli tuotti paremman tuloksen on neljä kappaletta. Tämä asetelma herättää kysymyksen voitaisiinko paikallisella geoidimallilla korjata FIN2005N00-mallin virheitä Rauman alueella. Vanhempaa FIN2000-mallia ei voida enää jatkossa käyttää, sillä sen avulla voidaan muuntaa vain N60-korkeusjärjestelmän mukaisia korkeuksia.

Vanhempi tutkija Mirjam Bilker-Koivula Geodeettiselta laitokselta piti esiteltyjä tutkimuksen tuloksia hyvinä sekä mielenkiintoisesti osoittavan GPS/vaaitustulosten sopivan valtakunnallisille geoidimalleille määritelyihin tarkkuuslukuihin. Bilker-Koivula vahvisti, että tutkimustulosten systemaattinen noin 1 senttimetrin tasoero mittausten ja geoidimallin välillä on täysin hyväksyttävissä, mikäli myös Rauman kaupunki pitää eroa riittävän pienenä. Bilker-Koivula lisäsi, että mikäli tarkkuutta ei koeta riittäväksi, voidaan Rauman alueelle halutessa määrittää geoidimallin vaakataso korjaus eli nolla asteen polynomi. Vaadittava työmäärä olisi kevyempi, kun geoidieron lineaarista muuttumista Rauman alueella ei ole tarpeen mallintaa (Bilker-Koivula 2013).

Kaiken kaikkiaan valtakunnallisten geoidimallien välinen keskimääräinen jäännösvirheero on kuitenkin vain noin 3 millimetriä. Virhevertailun sijaan lienee olennaisempaa paikallisen geoidimallin määrittämiseen tarvittava työmäärä. Paikallisen geoidimallin määrittämiseen tarvitaan varsin tuoreita vaaitus- ja ellipsoidihavaintoja, mikä pääsääntöisesti tarkoittaa Suomessa mittauskampanjan toteuttamista. Siksi on olennaista kysyä, paljonko on riittävä tarkkuus, sillä paikallisesta geoidimallista saatavan hyödyn tulee olla suhteessa sen määrittämiseen vaadittavan työn vaativuuteen ja määrään.

Tehdyn tutkimuksen pohjalta sekä tässä insinööriyössä esitettyjen perusteiden mukaisesti voidaan esittää, että Rauman kaupunki siirtyy toistaiseksi käyttämään FIN2005N00-geoidimallia N2000-korkeusjärjestelmän kanssa. Mahdollista geoidimallille määriteltävän vaakatasoisen korjauksen tarvetta suositellaan kuitenkin jatkossa selvittämään.

## **6 N2000-järjestelmään siirtymisessä huomioitavaa**

### **6.1 Korkeuskäyrästäön ajantasaistaminen**

Korkeuskäyrästäön on mahdollista piirtää uudelleen MML:n laserkeilausaineistolla tuotettavan N2000-maastomallin pohjalta. Tämä tapa on kustannustehokas, jos se voidaan toteuttaa yhteistyössä MML:n kanssa. Laserkeilauksella saadaan tuotettua nopeasti monipuolista ja tarkkaa korkeustietoa peitteisiltäkin alueilta. Tarkka maastomalli on etuna muun muassa kaavoituksessa ja muussa maankäytön suunnittelutoiminnassa (Asikainen 2012: 53).

Toinen vaihtoehto on muuntaa käyrästäön polynomiyhtälöllä. Ratkaisu ei kuitenkaan ole suositeltava, sillä ilmakuvaperusteisena tarkkuus, muunnosvirheet ja interpolointimenetelmät aiheuttavat käyrästäölle enemmän haittaa eikä muunnos ole kovin kauaskatseinen (Väätäinen 2010: 56).

### **6.2 Tarkkavaaitukset jatkossa**

Yhtenä vaihtoehtona korkeusrunkopisteiden muuntamiseen on vanhojen vaaitusjonojen uudelleenlaskenta N2000-lähtöpisteillä sekä laskentaan liittyvät uudet tarkka-

vaaitukset. Rauman kaupungin tapauksessa uudelleenlaskentaa ei kuitenkaan pidetty hyvänä ensimmäisessä vaiheessa toteutettavana vaihtoehtona. Vanhat vaaitushavainnot ovat Raumalla kyllä tarvittaessa nopeasti käytettävissä, mutta mitatun runkoverkon todettiin koostuvan liian erilaista ja liian pitkän aikavälin vaaitusjonoista. Esimerkkinä kaksi erilaista korkeusrunkopistejoukkoa, joista toisen on mitannut keskustaan Rauman kaupunki trigonometrisin menetelmin 2000-luvulla ja toisen 1970-luvulla asuinlähiöön ulkopuolinen rakennuttaja vaaitsemalla.

Raumalla ei siis ole varsinaisesti tarkkavaaittu uudelleen parin vuosikymmenen takaisia vaaituspisteitä. Sen sijaan korkeuspisteitä on kontrollimitattu perinteisellä jonovaaitusmenetelmällä. Uuden korkeusjärjestelmän käyttöönoton jälkeen on jatkossa kuitenkin suositeltavaa toteuttaa tarkkavaaitushankkeita alueilla, joissa aiemmin mitatut runkopisteet ovat saattaneet muuttua ja joilla on rakentamisen kannalta erityisen suurta merkitystä. Esimerkkinä tällaisesta alueesta on Rauman satama, jossa kesällä 2012 tarkkavaaittiin uudelleen useimmat vanhat korkeuskiintopisteet (kuva 9).



Kuva 9. Tarkkavaaitusta Rauman satamassa

Tarkkavaaitushankkeen suunnittelussa on erityisen tärkeää paikallistaen valita ja tarvittaessa rakentaa uusia kiinteitä pisteitä mittausalueen sisältä. Kahden tarkkavaaittavan korkeuspisteen välisen etäisyyden on hyvä olla korkeintaan yksi kilometri mahdollisten

virheiden paikallistamisen helpottamiseksi. Kaavoitusmittausohjeen [2003: 15] mukaan vaatuslinjat tulee suunnitella vähintään kahden tunnetun pisteen väliin, joiden liikkumattomuus ja tunnistus on varmistettu. Mikäli vaaitusta ei voi suorittaa suljettuina lenkeinä, tehdään se edestakaisin. Tarkkavaaituksessa kojeaseman tähtäysetäisyyksien eteen ja taakse pitää olla metrin tarkkuudella yhtä pitkiä. Pisin sallittu tähtäysetäisyys on 60 metriä, mutta käytännössä jo 50 metrin tähtäysetäisyydellä yhden kojeaseman havaintojen keskinäinen hajonta alkaa olla näkyvä. Nykyaikaisella digitaalisella tarkkavaaituskojeella voi kahden hengen mittaryhmän etenemisnopeudeksi arvioida huomattavan korkeusvaihtelun mittausympäristössä noin 500 metriä tunnissa ja vähäisen korkeusvaihtelun alueella jopa 700 metriä tunnissa.

Kaavoitusmittausohje [2003: 10] määrittelee myös, että korkeuskiintopisteiden välisen korkeuseron suhteellinen tarkkuus on oltava 5 ppm. Tämä tarkkuusvaatimus on otettava huomioon tarkkavaaituskojeen ja sen yhteydessä käytettävän invarlatan valinnassa. Käyttökiintopisteiden suhteellisen korkeustarkkuuden on oltava mittausluokissa 1 ja 2 alle 50 ppm ja mittausluokassa 3 alle 80 ppm.

### 6.3 Tiedottaminen

Taso- ja korkeusjärjestelmän vaihtaminen on merkittävä hanke ja vaatii erityisen huolellista ja laajaa tiedottamista kaikille kunnan alueella paikkatietoa käsitteleville tahoille. Uusiin järjestelmiin siirtyminen vaikuttaa maastossa tehtäviin mittauksiin, karttoihin, maankäyttö- ja yhdyskuntasuunnitteluun sekä moniin muihin paikkatietoaineistoihin. Riittävä sisäinen ja ulkoinen ennakkotiedotus on yksi tärkeimmistä asioista uusiin järjestelmiin siirtymisessä.

Tiedotuksessa on syytä käyttää mahdollisimman monia viestinnän keinoja, jotta asia saataisiin esille monipuolisesti kaikille paikkatiedon parissa työskenteleville ammattilaisille sekä tavallisille kuntalaisille. Tällaisia menetelmiä ovat muun muassa tiedotuslehtiset, ilmoitukset lehdissä ja muissa medioissa sekä muut tarpeelliset esitteet. Järjestelmien vaihdoksesta on erityisen tärkeää tehdä selkeät Internet-sivut. Esitystavan on eri tiedotusvälineissä oltava sellainen, että jokainen muuttuvasta asiasta tietämätön kykenee asian ymmärtämään. Esimerkiksi muunnostaulukon (taulukko 2) laatiminen helpottaa tapahtuneiden muutosten suhteuttamisessa.

Kaupungin suurille paikkatietoasiakkaille pidetään omat tiedotustilaisuudet. Kaikille kuntalaisille avoimen tiedotustilaisuuden järjestäminen on myös suositeltavaa. Korkeusjärjestelmän vaihdoksesta tulee lähettää tiedote muun muassa Destialle, ELY-keskukselle, Maanmittauslaitokselle, Merenkulkulaitokselle, VR Track Oy:lle sekä muille olennaisille viranomaisille ja asiakkaille.

Taulukko 2. Muunnostaulukko korkeusarvojen muuntamiseen (Rauman kaupunki 2012).

Järjestelmä, jossa H on ilmoitettu	Järjestelmä, johon H muunnetaan			
	NN	N60	N2000	MW2012
NN	H	H + 0,277 m	H + 0,614 m	H - 0,476 m
N60	H - 0,277 m	H	H + 0,337m	H - 0,203 m
N2000	H - 0,614 m	H - 0,337 m	H	H + 0,138 m
MW2012	H - 0,476 m	H - 0,203 m	H + 0,138 m	H

Tiedottamisen on katettava vähintään aikakausi, jossa vanhassa N60-järjestelmässä aloitetut ja siinä loppuun saatettavat työt elävät rinnan uudessa N2000-järjestelmässä tuotetun korkeustiedon kanssa. Aikaisemmassa järjestelmässä aloitettu suunnittelutyö tehdään loppuun samassa järjestelmässä, vaikka kyseessä olisikin useita vuosia, jopa vuosikymmenen, kestävä hanke.

#### 6.4 Maankäytön suunnittelu

Korkeusjärjestelmän muunnoksen suurimmat vaikutukset kohdistuvat talon- ja maanrakentajiin, joilla on erilaisia toimintatapoja ja mittauksetyökokemusta. Järjestelmien vaihtuessa voi syntyä jopa yllättäviäkin ongelmia. Esimerkiksi Raumalla on ETRS- ja N2000-hankkeen yhteydessä huomattu, että maarakentajien tai muiden toimijoiden puolella ei välttämättä ole nimettyä vastuuhenkilöä, jonka kanssa kaupunki voisi käydä keskustelua taso- ja korkeusjärjestelmien vaihtamisen aiheuttamista asioista.

Sekaannusten välttämiseksi ennen siirtymisvaihetta aloitetut projektit suositellaan lähtökohtaisesti tehtävän loppuun N60-järjestelmässä ja siirtymisen jälkeen aloitettavat työt suoritettavan N2000-järjestelmässä. Erityisesti tulee painottaa, että kaikkiin papereihin, rakennuspiirustuksiin ja pistekortteihin, joissa korkeustietoa esiintyy, merkitään yksiselitteisesti, missä korkeusjärjestelmässä korkeustieto on tuotettu. Kun rakentajat



toimivat ympäristössä, jossa on sekalaisesti eri korkeusjärjestelmiä, on vastuukysymykset selvitettävä mahdollisten vahinkojen varalta.

Destia on esimerkki suurista maarakennusalan toimijoista, joiden projekteihin kunnan korkeusjärjestelmän vaihdos vaikuttaa huomattavasti. Rauman seudulla ja lähikunnissa on useita Destian hankkeita, joiden suunnittelutyö on aloitettu N60-korkeusjärjestelmässä. Rauman kaupungin siirtyessä uusiin taso- ja korkeusjärjestelmiin toimitettiin Destialle paikkatieto-ohjelmiston toimittajan kanssa räätälöidyt muunnosratkaisut.

Maankäytön suunnittelutarkoituksessa käytetyt asiakirjat ja suunnitelmapiirustukset voidaan jakaa kahteen luokkaan: generoitaviin, jotka luodaan tarvittaessa tietokannassa olevien tietojen perusteella, sekä staattisiin, jotka tulostetaan kerran ja joita säilytetään joko digitaalisena tai paperimuotoisena. Muuttuvien järjestelmien seurauksena molemmissa asiakirja- ja piirrostyypissä on runsaasti manuaalista muutostyötä, jossa digitaaliset asiakirjat avataan yksitellen ja virheelliset korkeustiedot korjataan.

Vireillä olevat asemakaavat esitetään uusissa taso- ja korkeusjärjestelmissä lukuun ottamatta viimeisessä vaiheessa olevia, lainvoimaa odottavia kaavoja. Myös järjestelmien vaihdoksesta johtuvat kaavan koordinaatti- ja korkeusjärjestelmätiedot tulee päivittää. Uudet aloitettavat yleiskaavat esitetään uudessa järjestelmässä vasta kun siihen on siirrytty.

## 6.5 Mittauslaitteet ja paikkatieto-ohjelmistot

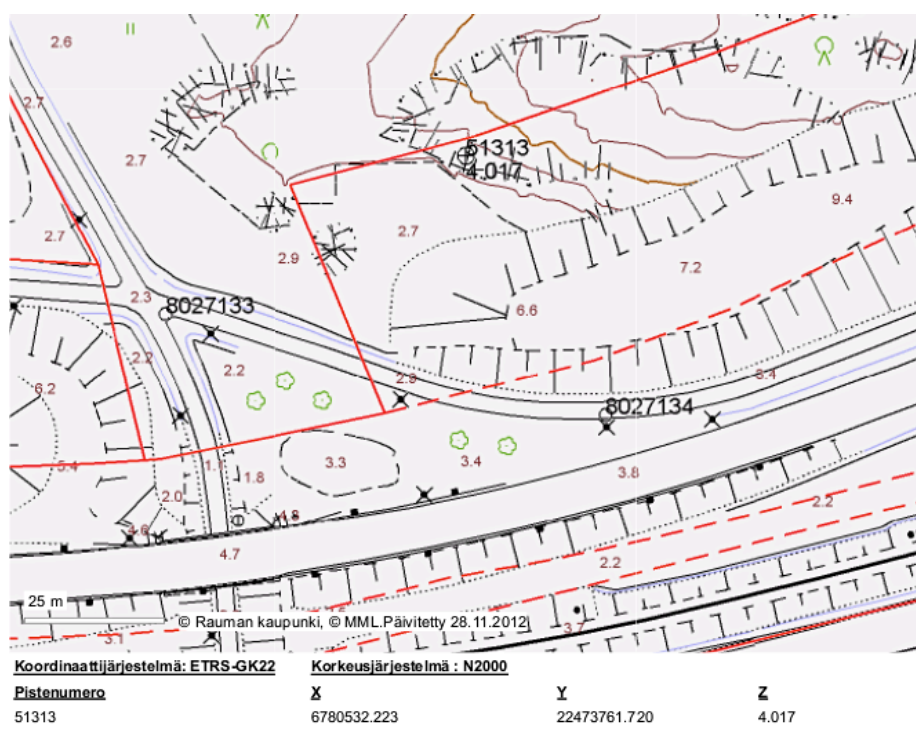
Korkeusjärjestelmän vaihtumisen merkitys takymetriä, GNSS-laitteiden ja vastaavien paikkatietoa tuottavien ja käyttävien mittauslaitteiden toimintaan on käytännössä olematon. Satelliittivastaanottimissa on muistettava käyttää N2000-korkeusjärjestelmän mukaista FIN2005N00-geoidimallia, jotta muunnos ellipsoidisista korkeuksista oikeaan vaaituskorkeuteen on mahdollinen. Mittalaitteiden muistiin jääneet vanhan korkeusjärjestelmän mukaiset mittaustytöt ja oheistiedostot sekä listaukset voivat aiheuttaa ongelmia, joten korkeusjärjestelmän vaihdon yhteydessä tulee laitteiden koordinaattiasetusten muuttamisen lisäksi poistaa vanhat ylimääräiset tiedostot.

Korkeusjärjestelmää enemmän voi ongelmia olla laitteiden ja ohjelmistojen kyvyssä käsitellä uusia ETRS-tasokoordinaatteja, jotka ovat pidempiä kuin vanhat KKJ-koordinaatit. Jos vanhan laitteen päivitys ei ole mahdollista, vaihtoehtona on käyttää laitteessa lyhyempää koordinaattimuotoa. Valtaosa uudemmissa mittalaitteista tukevat tavallisesti suoraan FIN2005N00-geoidimallia sekä ETRS-tasokoordinaatistoa.

Paikkatieto-ohjelmistoihin tehtävistä päivityksistä ja uusista ohjelmista tulee käyttäjille tiedottaa hyvissä ajoin. Ohjelmistoihin määriteltyjen muunnostoimintojen toimivuus ja käyttöohjeistuksen selkeys tulee varmentaa koko siirtymäajan.

## 6.6 Pisteselityskortit

Rauman kaupungin noin 3000 pistekorttia ovat pääasiassa PDF-formaatissa, joten niiden uusinta vaatii paljon manuaalista työtä. Uusista pistekorteista tulee käydä selkeästi ilmi, missä taso- ja korkeusjärjestelmässä koordinaattitiedot on ilmoitettu. Vanhat pistekortit käydään läpi ja uusitaan tarvittaessa, joten pistekortteja tulee olemaan pitkään uusia sekä vanhoja. Mahdollista on myös, että pistekorttien ylläpidosta ja päivityksestä luovutaan Raumalla tulevaisuudessa kokonaan (kuva 10).



Kuva 10. Piste 51313 pisteselityskortti, joka on luotu kaupungin karttapalvelun avulla.

## 7 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä oli tavoitteena selvittää vaihtoehtoiset muunnosmenetelmät, joilla Rauman kaupunki voisi suorittaa N60-korkeusjärjestelmästä siirtymisen N2000-korkeusjärjestelmään ja valita niistä Raumalle parhaiten soveltuvat. Lisäksi tavoitteena oli tutustua Suomen kahteen valtakunnalliseen geoidimallin, FIN2005N00 ja FIN2000, ja antaa suosituksia mahdollisesta paikalliseen geoidimallin määrittämistarpeesta.

Rauman lähtötilanteessa oli useita samoja piirteitä aiemmin tästä aihepiiristä tehtyjen insinööritöiden ja tutkielmien kanssa. Rauman kaupungin korkeusmuunnoksen tutkiminen insinööriyön muodossa nosti esille kuitenkin myös uutta tietoa aiheesta. Leveä kunta merenrannalla sijaitsevalla kuntakeskuksella loi haasteelliset lähtöasetelmat, mutta samalla se helpotti eräiden vaiheiden läpikäyntiä hyvää muunnosta valitessa. Muunnosvaihtoehtoja oli useita, ja niiden kaikkien tarkkuudesta piti löytää jokin arvio, jotta eri menetelmien väliset erot nousisivat esille. Alussa osa menetelmistä karsiutui jo tarkkuutensa takia, osa taas käytön ja hyödyntämisen vaikeuden johdosta. Matemaattisten muunnosyhtälöiden tarkkuuden selvä ero muihin menetelmiin verrattuna oli odotusten mukainen.

Lopulta valitut menetelmät osoittautuivat monessa suhteessa hyvin valituiksi. Varsinkin vakiokorjauksen käyttäminen on todella nopeaa, ja voidaan helposti liittää paikkatieto-ohjelmiston vakiotoimintoihin. Kaltevan pinnan muunnos on myös mahdollista liittää paikkatieto-ohjelmistoihin, tosin astetta haastavammin. Menetelmien tarkkuus on korkeusjärjestelmän vaihdon kannalta riittävä ja varsin halpa toteuttaa.

Yksityiskohtainen perehtyminen suomalaisiin geoidimalleihin ja niiden muodostumishistoriaan oli erittäin tärkeää insinööriyön tavoitteiden saavuttamiseksi. Suoritettu GNSS-tutkimus tarjosi geoidikorkeuksien jäännösvirheiden lisäksi oivan käsityksen satelliittimittausmenetelmän yleisestä tarkkuudesta ja vaihtelusta. Tutkimustulosten pohjalta voidaan todeta, että sekä vanhemmalla FIN2000- että uusimmalla N2005N00-geoidimallilla voidaan Suomessa muuntaa ellipsoidisia korkeuksia ortometrisiksi varsin vähäisillä jäännösvirheillä. Tulosten pohjalta ei sen sijaan voida vahvistaa systemaattista eroa eri kaupunginosien välillä.

Tämän työn pohjalta voitiin suositella FIN2005N00-geoidimallin käyttämistä N2000-korkeusjärjestelmän yhteydessä. Kuitenkin tutkimuksen tulokset antoivat viitteitä siitä,

että paikallisen geoidimallin käyttöönotolla voidaan mahdollisesti parantaa korkeusmittausten tarkkuutta satelliittimittauksessa. Rauman paikallisen geoidimallin määrittämiseksi tulisi toteuttaa mittauskampanja, jossa esimerkiksi viidellä N2000-korkeuskiintopisteellä suoritettaisiin staattista satelliittimittausta. Paikallisen geoidipinnan sovitukseen voi Raumalla riittää jopa nolla- tai ensimmäisen asteen polynomi, suurempia asteita on tietysti myös mahdollista käyttää.

Vuoden 2012 aikana Suomessa on tapahtunut runsaasti edistystä uusiin EUREF-FIN- ja N2000 -koordinaattijärjestelmiin siirtymisen saralla. Pelkästään jo pääkaupunkiseudun metropolialueen siirtymistä uusiin järjestelmiin joulukuussa 2012 oli laajasti Suomessa seurattu ennakkoon. Vuoden aikana useissa muissakin kaupungeissa ja kunnissa saatiin siirtymisprojektit vietyä loppuunsa. Korkeusjärjestelmän vaihtamiseen verrattavat hankkeet ovat suuruusluokaltaan ja vaikutuksistaan sellaisia, että niihin on koko kohdeorganisaation kaikkine työntekijöineen yhdessä sitouduttava ja ymmärrettävä tulevien muutosten välttämättömyys. Ennen kaikkea muutos on vakiinnutettava lyhyen aikavälin puitteissa ja toisaalta ymmärrettävä, että järjestelmävaihdoksen loppuun suorittamiseen tulee kulumaan aikaa.

Rauman kaupungin siirtyminen uusiin taso- ja korkeusjärjestelmiin tapahtui 19. marraskuuta 2012, jolloin valtaosa paikkatietoaineistosta oli tuotantokäytössä uusissa järjestelmissä. Käyttöönottoa edelsi muutamien päivien pituinen tietokantapohjaisten paikkatieto-ohjelmien käyttökatko, jona aikana tietokannoissa olevat koordinaatti- ja korkeustiedot muutettiin uusien järjestelmien mukaisiksi. Marraskuussa tapahtuneen järjestelmiin siirtymisen jälkeen ei ongelmia Rauman kaupungin työntekijöiden mukaan käytännössä koettu. Vastaan tulleet ongelmat liittyivät vielä muuntamattomiin rasterimuotoisiin paikkatietoaineistoihin sekä ennakkovalmisteluista huolimatta ilmentyneisiin yllättäviin yhteensopivuusongelmiin yksittäisten uusien mittalaitteiden kanssa.

## Lähteet

Ahola, Mikko; Musto Matti. Valtakunnallinen N60-N2000 muunnos. 2011. Maanmittaus 86:2/2011 s. 32–41.

Asikainen, Ari-Pekka. 2012. Rauman kaupungin siirtyminen EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Bilker-Koivula, M.; Ollikainen, M. 2009. Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa. Verkkodokumentti. Geodeettinen laitos. <<http://www.fgi.fi/julkaisut/pdf/GLtiedote29.pdf>> Luettu 3.5.2012.

Bilker-Koivula, Mirjam. Vanhempi tutkija, geodesian ja geodynamiikan osasto, Geodeettinen laitos, Kirkkonummi. Sähköpostikeskustelu 30.1.2013.

EUREF-FIN/N2000-muunnokset Helsingin kaupungissa. 2012. Verkkodokumentti. Helsingin kaupungin kiinteistövirasto. <<http://www.hel.fi/hki/Kv/fi/Kaupunkimittausosasto/Kartat+ja+paikkatiedot/Koordinaatio>> Päivitetty 5.3.2012. Luettu 7.9.2012.

Honkanen, Petri. 2010. Lahden kaupungin taso- ja korkeusjärjestelmien vaihtaminen EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin. Diplomityö. Aalto-yliopisto.

Honkanen, Petri. 2010. Lahden kaupungin N2000-korkeusjärjestelmävaihdos. Verkkodokumentti. Lahden kaupunki. <[http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/HII/PetriHonkanen/korkeuspaiva\\_Honkanen\\_100310.pdf](http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/HII/PetriHonkanen/korkeuspaiva_Honkanen_100310.pdf)> Päivitetty 10.3.2010. Luettu 14.4.2012.

Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. 2007. JHS163: Suomen korkeusjärjestelmä N2000. Verkkodokumentti. <<http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS163/JHS163.pdf>> Päivitetty 20.6.2010. Luettu 29.9.2012

Juote, Arsi. 2012 Vantaan kantakartta-aineistojen EUREF-FIN ja N2000 muunnos. Seminaariesitys 11.12.2012.

Kaavoitusmittausohjeet. 2003. MML/1/012/2003.

Kaavoitusmittausohje vaihtuu suositukseksi. 2013. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/tiedotteet/2013/01/kaavoitusmittausohje-vaihtuu-suositukseksi>> Päivitetty 16.1.2013. Luettu 26.1.2013.

KKJ-koordinaattijärjestelmän tuki loppuu. 2011. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/tiedotteet/2011/10/kkj-koordinaattijarjestelman-tuki-loppuu-31122012>> Päivitetty 05.10.2011. Luettu 2.8.2012.

Mäkeläinen, Seppo. Maanmittausteknikko, Porin kaupunki, Pori. Keskustelu 29.5.2012

Lusa, Harri. Miten Seinäjoen EUREF-projekti toteutettiin?. 2012. Maankäyttö 2/2012, s. 24-26.

Piirainen, Tero. 2009. Keravan kaupungin runkopisteverkon saneeraus. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Poutanen, Markku. 2010. Satelliittipaikannus.

Rantatupa, H. & ym. 2011. Peruskarttamme pitkä polku. Saarijärven Offset.

Saarikoski, Antti. 2007. N2000- korkeusjärjestelmän käyttöönotto Maanmittauslaitoksessa. Verkkodokumentti. MML/Kehittämiskeskus.  
<[http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Antti\\_Saarikoski.pdf](http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Antti_Saarikoski.pdf)> Päivitetty 22.11.2007. Luettu 12.10.2012.

Salmenperä, Hannu. 1998. Runko- ja kartoitusmittaukset. Tampereen teknillinen korkeakoulu.

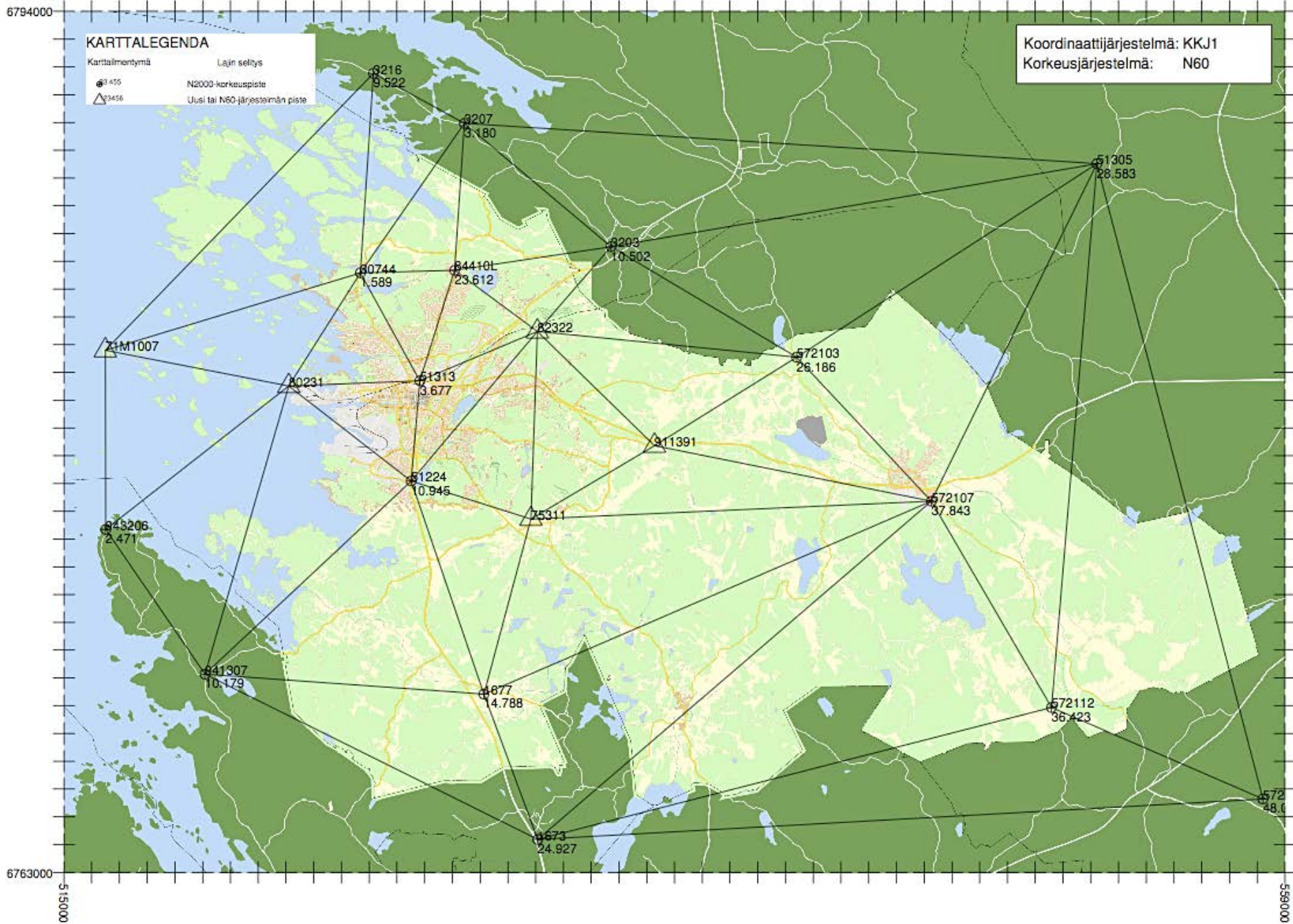
Tikka, Martti. 1976. Käytännön geodesia: mittausmenetelmät. TKY Otapaino.

Uusitalo, Jaakko. 2009. Seutukunnan koordinaatiston uudistamisprojekti. Verkkodokumentti. Tampereen kaupunki.  
<<http://www.tampere.fi/tampereinfo/kartat/koordinaattijarjestelmat/koordinaattiuudistus.html>> Päivitetty 26.3.2009. Luettu 16.5.2012.

Vantaan korkeusjärjestelmä vaihtuu. 2013. Verkkodokumentti. Vantaan kaupunki. <[http://www.vantaa.fi/fi/asuminen\\_ja\\_rakentaminen/maanmittauspalvelut/kartat\\_ja\\_ilmakuvat/karttakoordinaatisto/prime101\\_fi.aspx](http://www.vantaa.fi/fi/asuminen_ja_rakentaminen/maanmittauspalvelut/kartat_ja_ilmakuvat/karttakoordinaatisto/prime101_fi.aspx)>. Luettu 27.1.2013.

Väätäinen, Antti. 2010. Virtain kaupungin muunnosvaihtoehdot EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin siirtymiseksi. Insinööriyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu.





## Kaltevan tason muunnosyhtälön parametrit ja jäännösvirheet

### JOHDANTO

Laskennan tavoitteena on muodostaa pienimmän neliösumman ratkaisu *kaltevan tason muunnosyhtälön* parametrien löytämiseksi. Virheet oletetaan likimain normaalisti jakautuneiksi. Tällöin virheiden kovarianssimatriisi on diagonaalimatriisi, jossa diagonaalilla on mittausvirheiden varianssit.

Muunnosyhtälön ensimmäisen asteen polynomi on muotoa

$$Z_{korj} = a + b * N_{KKJ} + c * E_{KKJ}$$

Laskentaan käytetään valittujen pisteiden KKJ koordinaatteja ja näin ollen muunnosyhtälö toimii vain KKJ-järjestelmässä.

### RATKAISU

Syötetään ratkaisuohjelmalle muuttujien alkuarvaukset, laskennan pisteiden muunnosfunktiot sekä näiden siirtokorjaus(=dZ<sub>n2000</sub> - dZ<sub>n60</sub>).

```
[p,c,Se,LV95]=runko_y(0,0,0,ME_funkt,M_kerot)
```

```
kierros 1 askelpituus 0.851708 (a,b,c)= (-0.8517,0.0000,-0.0000)
```

```
kierros 2 askelpituus 0.000000 (a,b,c)= (-0.8517,0.0000,-0.0000)
```

Ohjelma suorittaa kaksi iterointikierrosta ja pysähtyy saavutettuaan estimaattirajan 1E<sup>-008</sup>.

Parametrien estimaatit:

Parametri	Estimaatti	Keskivirhe	Luottamusväli 95%
a	-0.85170835	0.20795	0.40758
b	3.0059e <sup>-07</sup>	0.00000	0.62097e <sup>-07</sup>
c	-5.5404e <sup>-07</sup>	0.00000	0.73999e <sup>-07</sup>

Kovarianssimatriisi:

	a	b	c
a	4.3243e <sup>-02</sup>	-6.3450e <sup>-09</sup>	-1.4501e <sup>-10</sup>
b	-6.3450e <sup>-09</sup>	1.0038e <sup>-15</sup>	-3.0081e <sup>-16</sup>
c	-1.4501e <sup>-10</sup>	-3.0081e <sup>-16</sup>	1.4254e <sup>-15</sup>



## Kaltevan tason muunnosyhtälön jäännösvirheet valituilla pisteillä:

Kiintopisteen numero	N (KKJ)	E (KKJ)	jäännösvirhe, mm
511	6782249	1528453	0,69
1678	6770745	1528781	0,59
1686	6773886	1527888	-0,22
31103	6785158	1534789	4,06
33161	6781429	1527166	-0,34
33163	6783477	1525726	3,17
51221	6772608	1528172	-3,15
51222	6773770	1527882	-3,53
51223	6775417	1527682	-3,21
51224	6777090	1527514	-2,22
51310	6784812	1536950	0,51
51313	6780699	1527827	-2,75
55001	6781730	1530030	-1,92
75311	6775720	1531830	-0,44
80231	6780508	1523102	-1,47
80322	6780015	1532982	-1,89
81003	6786784	1542906	3,53
81109	6778307	1527631	-2,39
81110	6780059	1525571	-0,09
81214	6787422	1546388	-0,98
82322	6782474	1532060	1,86
84410K	6781424	1527992	0,30
84410L	6784675	1529080	2,47
84410M	6785244	1529084	4,54
84410P	6781135	1527816	-1,09
542701	6761376	1532366	-0,44
572103	6781547	1541401	0,91
572107	6776361	1546259	1,06
572110	6772013	1549957	0,00
649225	6768649	1520783	1,45
649229	6773029	1526627	-3,17
895333	6766858	1526662	0,76
911391	6778360	1536282	-3,51
		<b>Keskiarvo:</b>	1,60
		<b>KA keskusta:</b>	1,34

## Toisen asteen muunnosyhtälön parametrit ja jäännösvirheet

### JOHDANTO

Laskennan tavoitteena on muodostaa pienimmän neliösumman ratkaisu *toisen asteen muunnosyhtälöparametrien* löytämiseksi. Virheet oletetaan likimain normaalisti jakautuneiksi. Tällöin virheiden kovarianssimatriisi on diagonaalimatriisi, jossa diagonaalilla on mittausvirheiden varianssit.

Muunnosyhtälömalli on muotoa

$$Z_{\text{korj}} = a + b * N_{\text{KKJ}} + c * E_{\text{KKJ}} + d * N_{\text{KKJ}}^2 + e * N_{\text{KKJ}} * E_{\text{KKJ}} + f * E_{\text{KKJ}}^2$$

Laskentaan käytetään valittujen pisteiden KKJ koordinaatteja ja näin ollen muunnosyhtälö toimii vain KKJ-järjestelmässä.

### RATKAISU

Syötetään ratkaisuohjelmalle muuttujien alkuarvaukset, laskennan pisteiden muunnosyhtälöfunktioit sekä näiden siirtokorjaus(= $dZ_{n2000} - dZ_{n60}$ ).

[p,c,Se,LV95]=runko\_M(0,0,0,0,0,0,0,MT\_funkt,M\_kerot)

```
kierros 1 askelpituus 497.6273 (a,b,c,d,e,f)= (497.6274,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 2 askelpituus 0.177511 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 3 askelpituus 0.000036 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 4 askelpituus 0.000001 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 5 askelpituus 0.000010 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 6 askelpituus 0.000006 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 7 askelpituus 0.000001 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 8 askelpituus 0.000002 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 9 askelpituus 0.000003 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 10 askelpituus 0.000005 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 11 askelpituus 0.000013 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 12 askelpituus 0.000001 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 13 askelpituus 0.000002 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 14 askelpituus 0.000003 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 15 askelpituus 0.000008 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 16 askelpituus 0.000001 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 17 askelpituus 0.000008 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 18 askelpituus 0.000011 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 19 askelpituus 0.000002 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
kierros 20 askelpituus 0.000009 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)
```

kierros 21 askelpituus 0.000016 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 22 askelpituus 0.000005 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 23 askelpituus 0.000002 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 24 askelpituus 0.000003 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 25 askelpituus 0.000007 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 26 askelpituus 0.000001 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 27 askelpituus 0.000001 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 28 askelpituus 0.000010 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 29 askelpituus 0.000009 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 30 askelpituus 0.000008 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 31 askelpituus 0.000004 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 32 askelpituus 0.000004 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 33 askelpituus 0.000008 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)  
 kierros 34 askelpituus 0.000000 (a,b,c,d,e,f)= (497.4499,-0.0001,-0.0000,0.0000,0.0000,0.0000)

Ohjelma suorittaa 34 iterointikierrosta ja pysähtyy saavutettuaan estimaattirajan  $1E^{-008}$ .

Parametrien estimaatit:

<i>Parametri</i>	<i>Estimaatti</i>	<i>Keskivirhe (m)</i>	<i>Luottamusväli 95%</i>
a	497.44989426	170.88	334.92
b	-0.0001367668	0.00005	9.6450e-05
c	-4.47603e-05	0.00003	6.5421e-05
d	9.6195e-12	0.00000	7.2261e-12
e	4.3726e-12	0.00000	9.8068e-12
f	4.7413e-12	0.00000	7.3099e-12

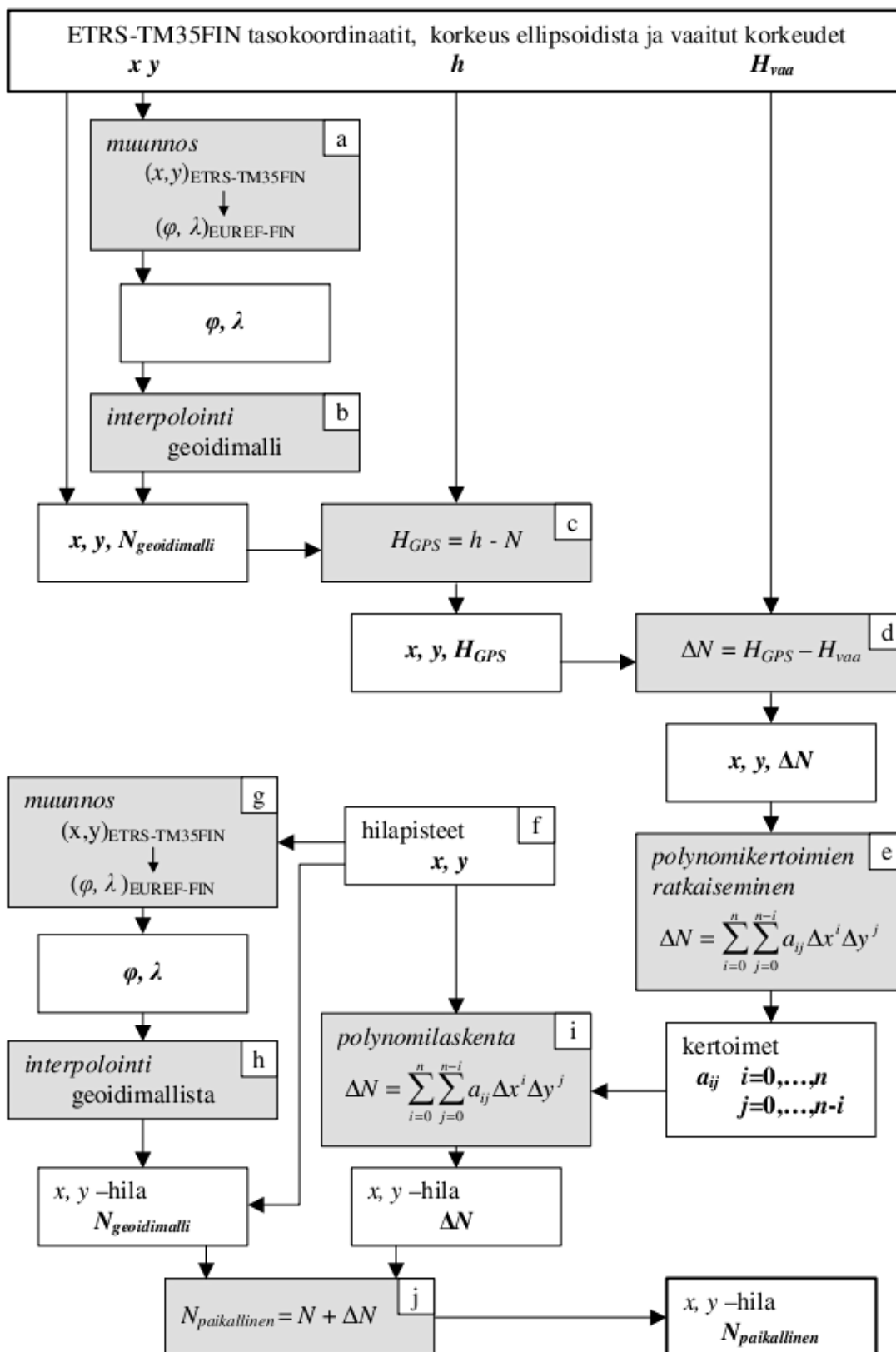
Kovarianssimatriisi:

	a	b	c	d	e	f
a	29200	-8.3150e-03	-1.3385e-03	6.0192e-10	1.0266e-10	2.0913e-10
b	-8.3150e-03	2.4217e-09	1.4307e-10	-1.7928e-16	5.2973e-18	-5.8240e-17
c	-1.3385e-03	1.4307e-10	1.1142e-09	7.2309e-18	-1.5736e-16	-1.5442e-17
d	6.0192e-10	-1.7928e-16	7.2309e-18	1.3593e-23	-3.2216e-24	4.7538e-24
e	1.0266e-10	5.2973e-18	-1.5736e-16	-3.2216e-24	2.5036e-23	-4.0216e-24
f	2.0913e-10	-5.8240e-17	-1.5442e-17	4.7538e-24	-4.0216e-24	1.3910e-23

Toisen asteen muunnosyhtälön jäännösvirheet valituilla pisteillä:

<i>Kiintopisteen numero</i>	<i>N (KKJ)</i>	<i>E (KKJ)</i>	<i>jäännösvirhe, mm</i>	<i>Kiintopisteen numero</i>	<i>N (KKJ)</i>	<i>E (KKJ)</i>	<i>jäännösvirhe, mm</i>
511	6782249	1528453	1,09	542701	6761376	1532366	1,57
1678	6770745	1528781	1,09	572103	6781547	1541401	1,27
1686	6773886	1527888	0,05	572107	6776361	1546259	1,24
31103	6785158	1534789	4,74	572110	6772013	1549957	0,41
33161	6781429	1527166	0,07	649225	6768649	1520783	3,45
33163	6783477	1525726	3,88	649229	6773029	1526627	-2,68
51221	6772608	1528172	-2,79	895333	6766858	1526662	2,14
51222	6773770	1527882	-3,23	911391	6778360	1536282	-3,62
51223	6775417	1527682	-2,98				
51224	6777090	1527514	-2,00				
51310	6784812	1536950	1,19				
51313	6780699	1527827	-3,58				
55001	6781730	1530030	-1,65				
75311	6775720	1531830	-0,51				
80231	6780508	1523102	-0,73				
80322	6780015	1532982	-1,87				
81003	6786784	1542906	5,04				
81109	6778307	1527631	-2,17				
81110	6780059	1525571	0,37				
81214	6787422	1546388	1,11				
82322	6782474	1532060	2,15				
84410K	6781424	1527992	0,65				
84410L	6784675	1529080	3,15				
84410M	6785244	1529084	5,30				
84410P	6781135	1527816	-0,75				
						<b>Keskiarvo:</b>	1,90
						<b>KA keskusta:</b>	1,43

**Kaavio paikallisen muunnospinnan johtamisesta valtakunnallisen geoidimallin ja GPS/vaaitushavaintojen avulla**



## Vertailu FIN2005N00- ja FIN2000-geoidimallien tarkkuudesta

**FIN2005N00** Mallin tarkkuus:  $\pm 20$  mm Suurimmat muunnosvirheet: 60 mm

**FIN2000** Mallin tarkkuus:  $\pm 30$  mm Suurimmat muunnosvirheet: 90 mm

**Trimble R8** GPS tarkkuus: Horiz= 10mm Vert= 20mm

--> REALISTINEN KORKEUSTARKKUUS 2-3 CM

Piste ID	FIN2005N00		FIN2000		$\Delta dH$ (mm)	$\Delta N$ (m)	AP/IP	PDOP	Aika (s)	Havainn.	Huomioita
	N2000 H (m)	N2000 $\Delta H$ (mm)	N60 H (m)	N60 $\Delta H$ (mm)							
84410M	5,4588		5,123								Haapasaari koillinen
1002	5,4700	11	5,1150	8	-3	0,3550	ap	1,232	300	20	
1003	5,4620	3	5,1070	16	13	0,3550	ip	2,147	5	3	
1004	5,4660	7	5,1110	12	5	0,3550	ip	1,719	10	20	
1006	5,5000	41	5,1450	22	-19	0,3550	ip	2,200	60	20	
1007	5,4860	27	5,1320	9	-18	0,3540	ip	2,915	60	20	
1008	5,4810	22	5,1260	3	-19	0,3550	ip	2,491	5	20	
KA	5,4775	19	5,1227	12	-7			2,117			
Mediaani	5,4755	17	5,1205	11	-6						
33163	10,6595		10,321								Haapasaari lounas
2003	10,6780	19	10,3180	3	-16	0,3600	ip	1,757	5	3	
2004	10,6720	13	10,3120	9	-4	0,3600	ip	1,789	60	20	
2005	10,6810	21	10,3210	0	-21	0,3600	ip	1,798	20	20	
2006	10,6740	15	10,3140	7	-8	0,3600	ip	1,796	20	20	
KA	10,6763	17	10,3163	5	-12			1,785			
Mediaani	10,6760	17	10,3160	5	-12						

51313		4,01942		3,677							
3002	4,0440	25	3,6900	13	-12	0,3540	ap	0,724	300	20	
3003	4,0440	25	3,6900	13	-12	0,3540	ap	0,724	300	20	
3004	4,0320	13	3,6790	2	-11	0,3530	ap	1,480	300	20	pelkkä GPS
3005	4,0320	13	3,6790	2	-11	0,3530	ap	0,850	300	20	GPS+L5 GLONASS
3006	4,0320	13	3,6790	2	-11	0,3530	ap	0,946	300	20	
3007	4,0220	3	3,6680	9	6	0,3540	ap	0,924	20	20	
3008	4,0250	6	3,6720	5	-1	0,3530	ip	0,984	5	3	
3009	4,0330	14	3,6800	3	-11	0,3530	ip	0,966	20	20	
3010	4,0270	8	3,6730	4	-4	0,3540	ip	1,037	300	20	
3011	4,0250	6	3,6720	5	-1	0,3530	ip	0,934	20	20	
KA	4,0316	12	3,6782	6	-6			0,957			
Mediaani	4,0320	13	3,6790	4	-8						
572103		26,5175		26,186							
4001	26,443	74	26,105	81	7	0,3380	ap	1,520	5	3	
4002	26,479	38	26,142	44	6	0,3370	ap	1,532	20	20	
4003	26,506	11	26,168	18	7	0,3380	ap	1,562	300	20	
4004	26,597	80	26,259	73	-7	0,3380	ap	1,636	60	20	
4005	26,596	79	26,258	72	-7	0,3380	ap	1,543	300	20	
4006	26,508	9	26,171	15	6	0,3370	ip	1,355	5	20	
4007	26,503	14	26,166	20	6	0,3370	ip	1,418	20	20	
4008	26,52	3	26,183	3	0	0,3370	ip	1,397	300	20	
4009	26,511	6	26,173	13	7	0,3380	ip	1,363	600	600	
4010	26,512	5	26,175	11	6	0,3370	ip	1,303	60	20	
4011	26,499	18	26,162	24	6	0,3370	ip	1,217	300	20	
KA	26,5158	31	26,1784	34	3			1,441			
Mediaani	26,5080	14	26,1710	20	6						

Hakunintie-Leikarinpolku

pelkkä GPS  
GPS+L5 GLONASS

Eurajoentie

572109	31,2179		30,893							
5001	31,202	16	30,861	32	16	0,3410	ap	1,330	5	3
5002	31,21	8	30,869	24	16	0,3410	ap	1,337	20	20
5003	31,228	10	30,887	6	-4	0,3410	ap	1,421	300	20
5004	31,235	17	30,894	1	-16	0,3410	ap	1,385	300	20
5005	31,228	10	30,887	6	-4	0,3410	ap	1,409	60	20
5006	31,214	4	30,873	20	16	0,3410	ap	1,474	20	20
5007	31,228	10	30,887	6	-4	0,3410	ip	1,398	5	3
5008	31,238	20	30,897	4	-16	0,3410	ip	1,397	20	20
5009	31,243	25	30,902	9	-16	0,3410	ip	1,910	300	20
5010	31,271	53	30,930	37	-16	0,3410	ip	1,655	60	20
5011	31,261	43	30,920	27	-16	0,3410	ip	1,341	20	20
KA	31,2325	20	30,8915	16	-4			1,460		
Mediaani	31,2280	16	30,8870	9	-7					
51224	11,28598		10,945							
6001	11,278	8	10,925	20	12	0,3530	ap	1,359	5	3
6002	11,285	1	10,932	13	12	0,3530	ap	1,298	20	20
6003	11,289	3	10,937	8	5	0,3520	ap	0,879	300	20
6004	11,280	6	10,927	18	12	0,3530	ap	0,866	300	20
6005	11,283	3	10,930	15	12	0,3530	ap	0,815	60	20
6006	11,290	4	10,937	8	4	0,3530	ap	0,887	60	20
6007	11,297	11	10,944	1	-10	0,3530	ap	0,805	60	20
6008	11,289	3	10,936	9	6	0,3530	ap	0,783	20	20
6009	11,298	12	10,945	0	-12	0,3530	ip	1,018	5	3
6010	11,292	6	10,939	6	0	0,3530	ip	0,887	20	20
6011	11,294	8	10,941	4	-4	0,3530	ip	0,859	60	20
6012	11,293	7	10,940	5	-2	0,3530	ip	0,949	60	20
6013	11,295	9	10,942	3	-6	0,3530	ip	0,837	20	20
KA	11,2895	6	10,9365	8	2			0,942		

## Hinnerjoentie

## Pitkäjärvi



<i>Mediaani</i>	11,2900	6	10,9370	8	2					
<b>33162</b>	<b>7,796</b>		<b>7,456</b>							
7001	7,806	10	7,448	8	-2	0,3580	ap	1,323	5	3
7002	7,808	12	7,449	7	-5	0,3590	ap	1,268	20	20
7003	7,815	19	7,457	1	-18	0,3580	ap	1,061	300	20
7004	7,812	16	7,453	3	-13	0,3590	ap	0,877	60	20
7005	7,814	18	7,455	1	-17	0,3590	ap	0,830	60	20
7006	7,808	12	7,450	6	-6	0,3580	ap	1,061	60	20
7007	7,81	14	7,452	4	-10	0,3580	ap	0,967	20	20
<i>KA</i>	7,8104	14	7,4520	4	-10			1,055		
<i>Mediaani</i>	7,8100	14	7,4520	4	-10					
<b>82312</b>	<b>18,21525</b>		<b>17,871</b>							
8001	18,22469	9	17,875	4	-5	0,3497	ap	1,156	5	3
8002	18,22678	12	17,877	6	-6	0,3498	ap	1,086	20	20
8003	18,22731	12	17,878	7	-5	0,3493	ap	1,023	60	20
8004	18,22703	12	17,877	6	-6	0,3500	ap	0,999	5	3
8005	18,22671	11	17,877	6	-5	0,3497	ap	0,929	10	5
8006	18,22406	9	17,874	3	-6	0,3501	ap	0,911	10	10
8007	18,22374	8	17,874	3	-5	0,3497	ap	0,905	20	20
<i>KA</i>	18,2258	11	17,8760	5	-6			1,001		
<i>Mediaani</i>	18,2267	11	17,8770	6	-5					
<b>82322</b>	<b>24,22028</b>		<b>23,878</b>							
9001	24,239	19	23,890	12	-7	0,3490	ap	1,344	5	3 ilman tukea
9002	24,24	20	23,891	13	-7	0,3490	ap	1,345	5	3 ilman tukea
9003	24,24	20	23,891	13	-7	0,3490	ap	1,366	20	20 ilman tukea
9004	24,238	18	23,889	11	-7	0,3490	ap	1,346	20	20

Uusi-Lahti

Vuorenhontie

Vuorenhontie

9005	24,231	11	23,882	4	-7	0,3490	ap	1,303	20	20
9006	24,235	15	23,886	8	-7	0,3490	ap	1,320	60	20
9007	24,23	10	23,881	3	-7	0,3490	ap	1,148	60	20
9008	24,227	7	23,878	0	-7	0,3490	ap	1,007	5	3
9009	24,227	7	23,878	0	-7	0,3490	ap	1,026	10	10
9010	24,226	6	23,877	1	-5	0,3490	ap	1,205	10	5
9011	24,229	9	23,880	2	-7	0,3490	ap	1,092	5	3
<i>KA</i>	24,2329	10	23,8839	4	-6			1,227		
<i>Mediaani</i>	24,2310	11	23,8820	4	-7					
<b>80231</b>	<b>2,34669</b>		<b>2,003</b>							<b>Sataman kärki</b>
10001	2,35	3	1,985	18	15	0,3650	ap	0,829	5	3
10002	2,353	6	1,988	15	9	0,3650	ap	0,834	10	5
10003	2,345	2	1,980	23	21	0,3650	ap	0,971	15	10
10004	2,337	10	1,972	31	21	0,3650	ap	0,942	20	15
10005	2,351	4	1,986	17	13	0,3650	ap	0,934	20	20
10006	2,324	23	1,959	44	21	0,3650	ap	0,903	5	3
10007	2,321	26	1,956	47	21	0,3650	ap	0,945	10	5
10008	2,328	19	1,963	40	21	0,3650	ap	0,902	15	10
10009	2,331	16	1,966	37	21	0,3650	ap	0,893	20	15
10010	2,335	12	1,969	34	22	0,3660	ap	0,900	20	20
10011	2,333	14	1,968	35	21	0,3650	ap	0,941	60	20
10012	2,331	16	1,965	38	22	0,3660	ap	1,112	5	3
10013	2,339	8	1,974	29	21	0,3650	ap	0,970	10	5
10014	2,34	7	1,974	29	22	0,3660	ap	0,941	15	10
10015	2,352	5	1,986	17	12	0,3660	ap	0,904	20	15
10016	2,352	5	1,986	17	12	0,3660	ap	0,810	20	20
10017	2,352	5	1,986	17	12	0,3660	ap	1,004	60	20
<i>KA</i>	2,3396	11	1,9743	29	18			0,926		
<i>Mediaani</i>	2,3390	8	1,9740	29	21					

80322	29,14646		28,808						
11001	29,13506	11	28,787	21	9	0,3476	ip	6	3
11002	29,13563	11	28,788	20	9	0,3476	ip	6	2
11003	29,14052	6	28,793	15	9	0,3476	ip	10	5
11004	29,14487	2	28,797	11	9	0,3476	ip	15	10
11005	29,14586	1	28,798	10	9	0,3476	ip	20	10
11006	29,14504	1	28,797	11	9	0,3476	ip	300	20
11007	29,14966	3	28,802	6	3	0,3476	ip	6	3
11008	29,15469	8	28,807	1	-7	0,3476	ip	10	5
11009	29,1538	7	28,806	2	-6	0,3476	ip	15	15
11010	29,14242	4	28,795	13	9	0,3476	ip	20	15
KA	29,1448	5	28,7972	11	5				
Mediaani	29,1450	5	28,7974	11	6				
		<b>FIN2005N00</b>		<b>FIN2000</b>					
	<i>KESKIARVO</i>								
	<i>(mm)</i>	12		10	-3				
	<i>MEDIAANI (mm)</i>	11		9	-2				
	<i>MOODI (mm)</i>	13		3	-10				
	<i>HAJONTA (mm)</i>	13		14	1				

Vt 12 Huittistentie