

AALTO-YLIOPISTO

Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta

Maanmittaustieteiden laitos

LAHDEN KAUPUNGIN TASO- JA KORKEUSJÄRJESTELMIEN
VAIHTAMINEN EUREF-FIN JA N2000-JÄRJESTELMIIN

Aalto-yliopiston

Maanmittausosastolla tehty Diplomityö

Espoo, helmikuu 2010

Petri Honkanen

Valvoja: Professori Martin Vermeer

Ohjaaja: Professori Martin Vermeer

Tekijä:	Petri Honkanen	Sivumäärä: 82 +23
Työn nimi:	Lahden kaupungin taso- ja korkeusjärjestelmien vaihtaminen EUREF-FIN ja N2000-järjestelmiin	
Päivämäärä:	15.2.2010	
Tiedekunta:	Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta	
Laitos:	Maanmittaustieteiden laitos	
Professori:	Maa-6. Geodesia	
Työn valvoja:	Professori Martin Vermeer	
Työn ohjaaja:	Professori Martin Vermeer	
<p>Kuntien taso- ja korkeuskoordinaatistojen vaihtaminen EUREF-FIN ja N2000-järjestelmiin on ajankohtainen hanke useissa kunnissa. Lisääntyvä seutuyhteistyö sekä kuntaliitokset luovat tarpeen paikkatietoaineiston yhtenäistämiseksi ja yhteisten koordinaatistojen käyttöönotolle.</p> <p>Tämän diplomityön keskeisempänä tavoitteena on kuvata Lahden paikallisten taso- ja korkeusjärjestelmien vaihdosprosessit EUREF-FIN ja N2000-järjestelmiin. Lisäksi työssä tarkastellaan EUREF-FIN ja N2000-järjestelmien käyttöönoton perusteita sekä vaikutuksia Lahden kaupungin teknisen- ja ympäristötoimen maankäytön tulosalueen toimintaympäristölle. Työssä kuvataan tiivistetysti myös Lahden kaupunkiseudun paikkatietoyhteistyökuntien (seutuPATI) muunnosprosessit. Lahden kaupunki otti ensimmäisenä suomalaisena kuntana käyttöön EUREF-FIN tasokoordinaatiston vuonna 2005. Käytännön referenssien puuttuessa muunnoksen perusteet ja testaus toteutettiin laajasti. Tasomuunnos perustuu julkisen hallinnon suosituksiin JHS 153 ja 154. Paikallisen muunnoksen tapauksessa julkisen hallinnon suosituksia joudutaan soveltamaan paikallisten taso- ja korkeusjärjestelmien erityistarpeiden huomioon ottamiseksi</p> <p>Lahden korkeusjärjestelmän muuntaminen N2000-järjestelmään toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa Lahti-N2000-muunnos määritettiin kartta-aineiston päivitykseen liittyvän korkeuskäyrien uudelleenpiirtoa varten. Lopullinen Lahti-N2000-korkeusmuunnos toteutettiin vaaitsemalla valikoiduille korkeuspisteille N2000-korkeudet. Muunnospisteiden avulla määritettiin Lahden ja N2000-korkeusjärjestelmien väliseksi lopulliseksi korkeuseroksi 382 mm, jonka perusteella kaupungin paikkatietokanta muunnettiin N2000-korkeusjärjestelmään tammikuussa 2010.</p>		
Avainsanat:	ETRS89, EUREF-FIN, N2000	Kieli: suomi, tiivistelmä englanniksi

Author:	Petri Honkanen	Number of pages: 82 +23
Title of thesis:	City of Lahti plane and height system transformations to the EUREF-FIN and N2000 systems	
Date:	15.2.2010	
Faculty:	Faculty of Engineering and Architecture	
Department	Department of surveying	
Professorship:	Maa-6 Geodesy	
Supervisor:	Martin Vermeer, Professor	
Instructor:	Martin Vermeer, Professor	
<p>The transformation of municipal plane and height coordinate systems to the EUREF-FIN and N2000 systems is a current project in several municipalities. Increasing regional co-operation and consolidations of municipalities will create the need for the harmonization of spatial data and the introduction of common coordinate systems.</p> <p>The main objective of this thesis is to describe the plane and height system transformation processes of city of Lahti to the EUREF-FIN and N2000 systems. This thesis also examines the EUREF-FIN and N2000 systems, the introduction of the criteria and the impact on the city of Lahti technical and environmental office land use department's operational environment. This thesis describes briefly the transformation processes of the city of Lahti regions GIS co-operation municipalities (seutuPATI). The city of Lahti introduced as the first Finnish municipality the EUREF-FIN coordinate system in 2005. Because of lack of practical references, the basics of the transformation and its testing were carried out on a large scale. The plane transformation is based on the public administration recommendations JHS 153 and 154. In case of local transformations, public administration recommendations have to be adapted because of special needs of local plane and height systems.</p> <p>The height system transformation was carried out in two phases. In the first phase the Lahti to N2000 transformation was determined for updating height contours in map material. The final Lahti-N2000 height transformation was carried out by levelling N2000 heights for selected height control points. By using transformation points, the height difference between the Lahti local height system and the N2000-system was determined to be 382 mm. By using this height difference, the city of Lahti GIS-database was transformed to the N2000-system in January 2010.</p>		
Keywords:	ETRS89, EUREF-FIN, N2000	Language: Finnish, abstract in English

Alkusanat

Haluan kiittää Lahden kaupungin maankäyttöä luottamuksesta olla suorittamassa tässä työssä esitettyjä mielenkiintoisia taso- ja korkeusmuunnoksia. Erikseen kiitän Lahden kaupungin maankäyttöä ja esimiestäni Veli-Pekka Toivosta suopeasta suhtautumisesta suorittaa DI-opintoja ja tämä diplomityö virkatyöni ohessa. Lisäksi kiitokset ansaitsee EUREF- ja N2000- muunnoksissa paikkatietoaineistojen osalta käytännön ”työrukkasena” toiminut Sami Kajander hyvästä yhteistyöstä ja tämän työn aineistojen hankinnan avustamisesta. Lisäksi kiitän Aija Holopaista työn kommentoinnista.

Erityiskiitoksen ansaitsee tämän työn ohjaajan ja valvojan kaksoisroolissa toiminut professori Martin Vermeer.

Ehkäpä kuitenkin kaikkein suurimman kiitoksen ansaitsevat vaimoni Asta ja lapset Jenni, Janita ja Juuso kärsivällisyydestään opiskeluni aikana.

*Nastolassa 11.2.2.2010
Petri Honkanen*

TERMIEN SELITYKSIÄ

Antennin referenssipiste. (ARP) Satelliittipaikannuslaitteen antennissa sijaitseva piste, minkä suhteen on määritetty antennin todellisen vaihekeskipisteen sijainti. Satelliitin ja antennin välisen etäisyyden mittausta tapahtuu satelliitin ja vaihekeskipisteen välillä.

Datumi. Datumi perustuu tiettyyn vertausellipsoidiin ja sen origon siirtoon sekä mahdollisesti kiertoon. Referenssipisteenä eri datumien välillä on maapallon massakeskipiste, johon verrattuna vertausellipsoidin origo siirretään.

EUREF-FIN. ETRS89 koordinaatiston realisaatio Suomessa. Perustuu Geodeettisen laitoksen vuosina 1996-1997 mittaamiin 100 pisteeseen. Verkkoa on tihennetty sittemmin Geodeettisen laitoksen ja maanmittauslaitoksen toimesta. EUREF-FIN on kolmiulotteinen koordinaatisto ja sen vertausellipsoidi on GRS80.

Erilliskoordinaatisto. Koordinaatisto, jonka orientointi poikkeaa valtakunnallisista koordinaatistoista. Erilliskoordinaatistoja esiintyy yleisesti vanhojen kaupunkien alueella. Esimerkiksi Lahden järjestelmä on erilliskoordinaatisto.

EVRS. (European Vertical Reference System) Euroopan korkeusjärjestelmä. EVRS:n nollataso on keskimääräiseen maaellipsoidin normaalipotentialiin yhtyvä painovoimakentän potentiaali. Korkeudet ilmoitetaan nollatason ja pisteen välisenä painovoimakentän potentiaalierona. Potentialiero ilmoitetaan geopotentialilukuina c_p .

EVRF2000 (European Vertical Reference Frame) EVRS korkeusjärjestelmän realisaatio. Määrittäminen perustuu UELN95/98 yhteistasoitusten solmupisteille laskettuihin geopotentialilukuihin ja normaalikorkeuksiin.

FINNREF® tukiasemaverkko. Geodeettisen laitoksen ylläpitämä koko Suomen kattava tukiasemaverkko. Verkon kautta on luotu yhteys kansainvälisiin järjestelmiin ja verkko luo pohjan EUREF-FIN koordinaattijärjestelmälle. Verkkoa käytetään lisäksi maankuoren liikkeiden ja maankohoamisen seuraamiseen. Lisäksi FINNREF® verkon tukiasemilta voidaan tilata staattista jälkilaskentadataa.

Geopotentialiluku. Maan painovoimakentän potentiaali jossakin pisteessä geoidin potentiaalin suhteen. Tarkkavaaitusten laskennassa käytetään geopotentialilukuja, jotka saadaan metrisistä korkeuseroista kertomalla ne havaintovälin keskimääräisellä painovoimalla. Geopotentialilukujen SI-yksikkö on m^2/s^2 .

GPSNet.fi™ VRS-verkko. Geotrim Oy:n ylläpitämä tukiasemaverkko, jonka toiminta perustuu ns. virtuaaliverkko-menetelmään. Verkkoa voi hyödyntää DGPS ja RTK mittausmoodeissa. Palvelusta voidaan ladata myös maksullista staattista jälkilaskentadataa. Laskentakeskus määrittää käyttäjän läheisyyteen virtuaalisen tukiasemapisteen, jonka johdosta mittausten ppm-virhe poistuu laskennallisesti kokonaan ja mittaus on luotettavampaa kuin perinteisessä yhden RTK-tukiaseman tapauksessa.

IGS. International GNSS service. Järjestö jonka 200 maailmanlaajuisen GPS ja GLONASS tukiaseman avulla kerättyä havaintoaineistoa käytetään tieteellisiin ja koulutuksellisiin tarkoituksiin. Havaintojen perusteella määritetään satelliittien tarkat ratatiedot, jotka parantavat staattisten vektoreiden laatua.

Kiinteistötietojärjestelmä. (KTJ) Kiinteistötietojärjestelmä on valtakunnallisen kiinteistö-tietopalvelun julkinen perustietojärjestelmä. Se sisältää kiinteistörekisterin sekä lainhuuto- ja kiinnitysrekisterin niihin kuuluvine ylläpito- ja tietopalvelujärjestelmineen. Järjestelmän ylläpidosta ja kehittämisestä huolehtii Maanmittauslaitos. Kunnat päivittävät KTJ:ään omien ylläpitoalueidensa kiinteistö-toimitukset ja muut kiinteistöjaotukseen vaikuttavat toiminnot.

Keskimeridiaani. Karttaprojektion etelä – pohjoissuuntainen meridiaani, jonka suhteen karttaprojektio kuvataan.

Monitieheijastuma. Monitieheijastuma on merkittävä GPS-mittauksen virhelähde. Monitieheijastumaa esiintyy, kun paikannussatelliitin signaali saapuu vastaanottimen antenniin useita erilaisia etenemisteitä pitkin. Näillä etenemisteillä signaalit voivat edetä vapaasti tai heijastua ympäröivistä kohteista antenniin.

Monitieheijastusta voidaan pyrkiä vähentämään käyttämällä ns. choke-ring antennia, missä suuntaamaton tasoantenni luodaan samankeskisillä metallirenkailla, jotka vaimentavat heijastuneita signaaleita.

Nollahypoteesi. Oletus, jossa kaikki tarkasteltavat havainnot ovat virheettömiä, eikä niissä esiinny karkeita virheitä. (outliers)

MSIS90. (Mass Spectrometer and Incoherent Scatter Extended Atmospheric Model 1990) Atmosfäärimalli, joka pyrkii mallintamaan atmosfäärin vaikutukset paikannus-signaalin kulkuun. Malli huomio käyttäjän sijainnin lisäksi eri vuodenaikojen vaikutukset atmosfäärin aktiivisuudessa. Viite: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/space/model>

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

NKG2005LU maannousumalli. Ilmaisee maannousun keskimääräiseen merenpinnan nousuun verrattuna. Se sisältää Pohjoismaiden osalta erityyppisiä korkeushavaintoja, kuten pysyvien GPS-asemien aikasarjoja, mareografien aikasarjoja vuosilta 1892-1991, Suomen ja Ruotsin suurimpien järvien vedenpinnan kallistumistietoja sekä toistettujen tarkka vaaitusten havaintoja. NKG2005LU on paras koko Fennoskandian käsittävä maannousumalli, eivätkä sen antamat maannousuluvut poikkea merkittävästi Suomen kolmesta tarkkavaaituksesta lasketuista maannousuarvoista.

Rakennus- ja huoneistorekisteri (RHR). Rakennus- ja huoneistorekisteri on osa Väestörekisterikeskuksen ja maistraattien ylläpitämää Väestötietojärjestelmää (VTJ). Aineisto sisältää asuin- ja toimitilarakennukset, kesämökit sekä kaikki rakennuslupaa vaatineet rakennukset 1.11.1980 lähtien. Rakennuksille on tallennettu ominaisuustiedoiksi mm. käyttötarkoitukseluokka, kerrosala, kerroslukumäärä, tilavuus, asuinhuoneistojen lukumäärä, asukasmäärä jne. Yhtenä ominaisuustietona on rakennuksen koordinaatit: RHR on siis pistemuotoista paikkatietoa. RHR -aineiston päivitystiedot tulevat pääosin kunnista. Ylläpitoon osallistuu myös Maanmittauslaitos.

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

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

TERMIEN SELITYKSIÄ

1. JOHDANTO	1
1.1 TYÖN SISÄLTÖ, TAVOITTEET JA RAJAUS	1
1.2 TUTKIMUSMENETELMÄT	2
1.3 PERUSTEET EUREF JA N2000-JÄRJESTELMIEN KÄYTTÖÖNOTOLLE	2
1.3.1 Paikkatietoyhteistyö Lahden seudun kuntien välillä	2
1.3.2 Runkoverkon tilan määrittäminen	3
1.3.3 Paikkatietoaineiston yhteiskäytön helpottuminen julkishallinnon välillä	4
2.1 KARTTAPROJEKTIOT JA TASOKOORDINAATISTOT	5
2.1.1 ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto	7
2.1.2 ETRS-GKn tasokoordinaatisto	7
2.1.3 Lahden järjestelmä	8
2.2 KOORDINAATTIMUUNNOKSET	8
2.2.1 Affiininen 2D muunnos	8
2.2.2 Helmert 2D-muunnos	9
2.2.3 Mittakaavamuunnos	9
2.2.4 Koordinaattikonversio	10
2.2.5 Kaistanvaihto	12
2.3 KORKEUDET JA KORKEUSJÄRJESTELMÄT	13
2.3.1 Normaalikorkeus	13
2.3.2 Ortometrinen korkeus	13
2.3.3 N2000-korkeusjärjestelmä	14
2.3.4 Lahden korkeusjärjestelmä	14
3. TASORUNKOVERKON LASKENTA JA TASOITUS.....	15
3.1 MUUNNOKSEN LÄHTÖPISTEET	15
3.2 MUUNNOSPISTEIDEN VALINTA.....	17
3.3 PISTEIDEN INVENTOINTI.....	17

3.4 KENTTÄMITTAUKSET	18
3.5 KOJEET	19
3.6 LASKENTA WGS-84 KOORDINAATISTOSSA	20
3.6.1 Käytetyt ohjelmistot	20
3.6.2 Vektoreiden laskenta	20
3.6.3 Vapaan verkon laskenta.....	21
3.6.4 Kytketyn verkon laskenta	23
4. KARTTAPROJEKTIOT	26
4.1 ERI PROJEKTIOIDEN TESTAUS.....	26
4.2 KARTTAPROJEKTIOIDEN VALINTA.....	27
5. TASOKOORDINAATISTON MUUNNOS	29
5.1 KÄYTETYT OHJELMISTOT.....	31
5.2 ETRS-GK26 MUUNNOS.....	31
5.2.1 Affiininen ETRS-GK26 muunnos	31
5.2.2 Helmert ETRS-GK26 muunnos	32
5.3 ETRS-TM35FIN MUUNNOS	33
5.4 MUUNNOKSEN TESTAUS JA VAIKUTUKSET	34
5.4.1 Tietokanta-aineistoon perustuva pinta-alojen vertailu	34
5.4.2 Maastomittauksiin perustuva tasomuunnoksen testaus	37
6. KORKEUSKOORDINAATISTON MUUNNOS	39
6.1 VAIHTOEHDOT PAIKALLISEN KORKEUSJÄRJESTELMÄN N2000 MUUNNOKSELLE....	40
6.2 MAASTOMALLIA VARTEN MÄÄRITETTY VÄLIAIKAINEN KORKEUSMUUNNOS	41
6.3 KENTTÄMITTAUKSET	45
6.3.1 Kojeeet	45
6.3.2 Vaaituksen lähtö- ja muunnospisteet.....	45
6.3.3 Havaintotyöt	46
6.3.4 Laskentaohjelmisto.....	47
6.3.5 Havaintojen laskenta	47
6.4 LAHTI - N2000 KORKEUSMUUNNOKSEN LASKENTA.....	48
6.4.1 Poikkeavat havainnot.....	48
6.4.2 Korkeusmuunnoksen tarkastelua.....	49

7. EUREF-FIN JA N2000 JÄRJESTELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO	52
7.1 JÄRJESTELMÄVAIHDOKSISTA TIEDOTTAMINEN	52
7.1.1 Tasojärjestelmän muunnoksesta tiedottaminen	53
7.1.2 Korkeusmuunnoksesta tiedottaminen	53
7.2 EUREF-FIN KÄYTTÖÖNOTTO	54
7.2.1 Vaikutukset ulkopuolisiin prosesseihin	55
7.3 N2000 KORKEUSJÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO	56
8. MUUNNOSTEN VAIKUTUKSET TOIMINTAYMPÄRISTÖÖN	56
8.1 KARTTALEHTIJAKO	56
8.2 MERKINNÄT ASIAKIRJOIHIN	58
8.2.1 Toimitusasiakirjat	59
8.2.2 Rakennuslupa-asiakirjat	59
8.2.3 Pisteselityskortit	59
8.2.4 Merkinnät muihin asiakirjoihin ja dokumentteihin	60
8.3 KUSTANNUKSET	60
8.3.1 Tasokoordinaatiston muunnoksesta aiheutuneet kustannukset	60
8.3.2 Korkeusjärjestelmän muunnoksesta aiheutuneet kustannukset	62
9 MUUT EUREF-FIN JA N2000 MUUNNOKSET LAHDEN SEUDULLA	63
9.1 EUREF-MUUNNOKSET LAHDEN ULKOPUOLISISSA SEUTUPATI KUNNISSA	63
9.2 KORKEUSJÄRJESTELMÄVAIHDOKSET MUISSA SEUTUPATI KUNNISSA	65
10. JOHTOPÄÄTÖKSET	67
10.1 EUREF-FIN MUUNNOS	67
10.2 N2000-MUUNNOS	69
11. MAHDOLLISET JATKOTUTKIMUSHANKKEET	71
11.1 JULKISEN HALLINNON SUOSITUSTEN JATKOKEHITYS	71
11.2 TIETOKANTAKOORDINAATISTOT PAIKKATIETO-OHJELMISTOISSA	71
11.3 VRS-VERKON ROOLI VALTAKUNNALLISESSA RUNKOPISTEHIERARKIASSA	72

1. JOHDANTO

Taso- ja korkeusjärjestelmien muunnostyöt ovat tällä hetkellä ajankohtaisia useissa kunnissa. Kuntaliitokset ja seudullinen yhteistyö lisäävät tarvetta paikkatietoaineistojen ja koordinaattijärjestelmien yhtenäistämiseksi. Lahdessa toteutettiin ensimmäisenä suomalaisena kaupunkina EUREF-FIN koordinaatistomuunnos vuonna 2005. Uuteen N2000-korkeusjärjestelmään Lahti siirtyi tammikuussa 2010. Tässä diplomityössä esitetään taso- ja korkeusjärjestelmän muunnostyön toteutus sekä tutkitaan muunnosten vaikutuksia Lahden kaupungin maankäytön toimintaympäristöön. Saatua kokemusta voidaan hyödyntää kunnissa, jotka suunnittelevat vastaavien muunnostöiden toteuttamista. EUREF-FIN ja N2000 muunnoksista on saatavilla rajatusti tutkimusaineistoa. Ainostaan Mäkynen [1] tutkii diplomityössään JHS 154 mukaisen affiinisen kolmioittaisen muunnoksen tarkkuutta KKJ -kunnan tapauksessa. Paikallisen korkeusjärjestelmän muuntamisesta N2000-järjestelmään ei ole tiettävästi tehty tutkimustöitä. Julkisen hallinnon suosituksissa 153, 154 ja 163 on kuvattuna uusien järjestelmien yksityiskohtaiset määritelmät, joita tässä diplomityössä kuvatut muunnostyöt pääsääntöisesti noudattavat.

1.1 Työn sisältö, tavoitteet ja rajaus

Diplomityön tavoitteena on kuvata julkisen hallinnon suositusten JHS 153 ja JHS 154 mukaisesti soveltuvilta osin toteutettu EUREF- tasokoordinaatistomuunnos sekä JHS 163 mukainen N2000 korkeusjärjestelmämuunnos. Työssä kuvataan lisäksi muunnosten vaikutuksia Lahden kaupungin teknisen- ja ympäristötoimen toimintaympäristöön. Vuonna 2006 Lahden kaupungin maankäyttö toteutti Hollolan, Nastolan ja Asikkalan kuntien sekä Orimattilan kaupungin osalta EUREF-FIN tasokoordinaatistomuunnoksen. Vastaava muunnos toteutettiin Kärkölän kunnan osalta vuonna 2009. Vuoden 2010 tammikuusta lähtien Lahden kaupunki siirtyi N2000-korkeusjärjestelmään. Muiden Lahden seudun kuntien osalta uuden korkeusjärjestelmän käyttöönottoon tähtäävät toimenpiteet on aloitettu vuoden 2009 jälkipuoliskolla. Aiheen laajuuden kannalta tässä diplomityössä keskitytään käsittelemään vain Lahden kaupungin taso- ja korkeuskoordinaatiston muunnoksen toteutusta. Muiden kuntien osalta muunnostyötä käsitellään lyhyesti luvussa 9.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Diplomityössä käytetään pääsääntöisenä tutkimusmenetelmänä laadullista case-tutkimusta. Työssä tutkitaan Lahden kaupungin osalta taso- ja korkeusjärjestelmien muunnoksia ja tarkastellaan lopputuloksen heikkouksia ja vahvuuksia. Tiedonkeruumenetelmänä käytetään teorian osalta kirjallisuutta. Muilta osin työ perustuu pääasiassa työn tekijän omiin havaintoihin ja tässä työssä syntyneeseen materiaaliin.

1.3 Perusteet EUREF ja N2000-järjestelmien käyttöönotolle

Tässä luvussa kuvataan ne seikat, joiden perusteella päätös uusien taso- ja korkeusjärjestelmien käyttöönotosta muodostui. Taso- ja korkeusjärjestelmän muunnokset ovat työmäärältään ja kustannuksiltaan merkittäviä hankkeita. Vaikutukset ovat lisäksi kauaskantoisia. Näin ollen muunnostyöhön ryhtymiselle tulee olla riittävät perusteet ja vaikutukset tulee olla riittävän tarkasti selvitetty.

1.3.1 Paikkatietoyhteistyö Lahden seudun kuntien välillä

Lahden seudun kuntien välisellä paikkatietoyhteistyöllä on pitkät perinteet. Merkittävien paikkatietoyhteistyöhanke oli vuonna 2002 päätynyt alueellisen paikkatietopalvelun kehittämishanke (ALPA). Hankkeen yhteydessä toteutettiin seudullinen GPS-RTK tukiasemapalvelu, alueelliset opas- ja pyöräilykartat sekä alueellisesti toteutettu ortokuvaus. Nykyisin Lahden seudun kunnat (Lahti, Asikkala, Hollola, Kärkölä, Nastola ja Orimattila) ovat mukana seudullisessa seutuPATI paikkatietoyhteistyöhankkeessa. Hanke käynnistyi vuonna 2002 ja se jatkuu edelleen. Projektin yhteydessä Lahden seudun kunnat ottivat käyttöön yhteisen Xcity-paikkatietojärjestelmän, jossa kuntien kartta- ja rekisteriaineistot ovat yhteisessä tietokannassa. Eri kuntien aineistojen yhtenäistämisen ja seudullisen paikkatietojärjestelmän toteuttamisen edellytykseksi katsottiin yhtenäiseen taso-koordinaattijärjestelmään siirtyminen. Uudeksi tasokoordinaatistoksi valittiin JHS 153 [2] mukainen EUREF-FIN koordinaattijärjestelmä, joka esitetään JHS 154 [3] mukaisella ETRS-GK26 kartta-projektiolla. Uusi koordinaattijärjestelmä otettiin tuotantokäyttöön Lahdessa marraskuussa 2005. Muunnos toteutettiin kokonaan Lahden kaupungin maankäytön

toimesta. Muunnostyöstä kerättyjä kokemuksia hyödynnettiin muiden seudun kuntien muunnosta määritettäessä. Joulukuussa 2006 seudullinen paikkatietojärjestelmä otettiin operatiiviseen käyttöön Lahden ulkopuolisissa SeutuPATI kunnissa. Tämä tarkoitti samalla myös EUREF-FIN koordinaatiston käyttöönottoa näiden kuntien osalta. Kärkölän kunta liittyi vuonna 2009 seudulliseen paikkatietojärjestelmään, samalla määritettiin KKJ-EUREF-FIN muunnos Kärkölän kunnan alueelta.

Yhtenäisen korkeusjärjestelmän käyttöönottoa puoltavat pitkälti samat seikat kuin tasojärjestelmänkin tapauksessa. Suurin yhtenäisellä korkeusjärjestelmällä saavutettava hyöty on aineistojen yhtenäistäminen ja jakelun helpottuminen. Yhtenäisen korkeusjärjestelmän puolesta ovat puhuneet myös seudulliset paikkatietoaineistoa käyttävät yritykset. Etenkin kunnallistekniikan ja verkkorakentamisen parissa toimivat yritykset ovat pitäneet yhtenäiseen korkeusjärjestelmään siirtymistä vähintään yhtä tärkeänä toimenpiteenä, kuin seudullisen tasokoordinaatiston käyttöönottoaakin.

1.3.2 Runkoverkon tilan määrittäminen

Lahden kaupungin alkuperäinen tasokoordinaatisto on ns. erilliskoordinaatisto. Erilliskoordinaatiston ja uuden valtakunnallisen järjestelmän välisen muunnoksen määrittämiseksi tulee lähtökoordinaatiston pisteille mitata uuden järjestelmän mukaiset koordinaatit. Valmiita muunnosohjelmia tai suosituksia ei voida käytännössä soveltaa erilliskoordinaatiston EUREF-FIN muunnokseen. Samassa yhteydessä joudutaan selvittämään paikallisen runkoverkon tila ja ottamaan kantaa sen käytön mahdollisuuksiin muunnosta laskettaessa. Kaupunkien runkoverkot on yleensä mitattu pitkän ajanjakson kuluessa. Usein runkoverkon mittaukset ja laskennat perustuvat erilaisiin mittausmenetelmiin ja käytäntöihin.

Myös historiallisten alueliitosten johdosta runkoverkkoihin on saattanut tulla vääristymää, alkuperältään epätasalaatuisista verkoista johtuen. Lisäksi on saattanut syntyä sekajärjestelmiä, joissa saman kunnan alueella saattaa olla käytössä useita erillisiä koordinaattijärjestelmiä. Näissä tilanteissa aineistojen hallinta on haasteellista. Lahden tasorunkoverkon ylintä I-luokkaa ei ole täydessä laajuudessaan mitattu ja tasoitettu yhtenä kokonaisuutena. Runkoverkon tilasta ja sen homogeenisuudesta liikkui vaihtelevaa perimätietoa. Yleisin runkoverkon tilaa koskeva epäily kohdistui

Helsinki-Kouvola junaradan etelä- ja pohjoispuolten välillä vallitsevaan epä-sopivuuteen. Tämän epäilyksen johdosta käytännön mittausten lähtöpisteiksi oli pyritty valitsemaan vain ne pisteet, jotka sijaitsevat radan samalla puolella.

Lahden korkeusjärjestelmä määritettiin 1930-luvulla. 1930-luvun ja nykypäivän välisenä aikana maannousu on ollut Lahden seudullakin merkittävää. Maannousun reaalivaikutus on ollut n. 50 cm:n luokkaa. [4] Maannousun mahdollinen epätasainen toteutuminen oli myös kiinnostuksen kohteena. Muunnosten tarkkuudelle ei asetettu tarkkoja tavoitearvoja. Perusajatuksena oli toteuttaa muunnokset mahdollisimman laadukkaasti ja seurata muunnosprosessin aikana saavutettavaa runkoverkon sisäistä tarkkuutta. Runkoverkon sisäiselle tarkkuudelle asetettiin vaatimukseksi numeerisen kartoituksen maastomittausohjeiden [15] mukaisesti I-luokan 2 ppm. Muunnosten lopputuloksena Lahden kaupungin taso- ja korkeus-runkoverkot liitetään kansallisiin referenssijärjestelmiin. Tämän johdosta järjestelmien yhteensopivuus kansalliselle tasolle tuli myös varmistaa.

1.3.3 Paikkatietoaineiston yhteiskäytön helpottuminen julkishallinnon välillä

Suuri osa kiinteistörekisterin ylläpitovastuun omaavan kunnan ja valtion välillä tapahtuvasta paikkatietoaineiston siirrosta tapahtuu kunnan ja maanmittauslaitoksen kiinteistötietojärjestelmän (KTJ) välillä. Erilliskoordinaatistossa toimivan kunnan ja KTJ:n välillä tapahtuvan tiedonsiirron yhteydessä käytetään kuntakohtaista tasomuunnosta. Maanmittauslaitos ottaa vuoden 2010 alkupuolella käyttöön EUREF-FIN koordinaatti-järjestelmän KTJ:n yhteydessä. Tämä helpottaa aineiston siirtoa EUREF järjestelmässä toimivien kuntien tapauksessa kuntakohtaisten muunnosten jäädessä käytännössä tarpeettomiksi. Samassa koordinaatistossa toimivien kuntien välinen tiedonsiirto helpottuu eri koordinaatistojen tapaukseen verrattuna huomattavasti.

Erilaisten seudullisten karttahankkeiden, kuten ilmakuvausten ja opaskartta-aineiston tuottaminen on samojen koordinaattijärjestelmän omaavien kuntien tapauksessa suoraviivaisempaa. Myös yksityisten yritysten ja muiden seudullisten toiminta-organisaatioiden työtä seudullinen koordinaattijärjestelmä palvelee.

Yksityisten yritysten toiminta-alue on usein varsin laaja ja ulottuu useamman kunnan alueelle. Näissä tapauksessa tullaan usein tilanteeseen, jolloin yrityksen toiminta-alueella voi olla useita erillisiä koordinaatioita, joiden hallinnoiminen asettaa omat lisähaasteensa. Lisäksi suunnitelma-aineistoissa ja muissa sijaintitietoa sisältävissä asiakirjoissa koordinaattiarvot voivat esiintyä useissa eri järjestelmissä. Virhetilanteiden eliminoimiseksi toiminta-alueen yhtenäinen taso- ja korkeuskoordinaattijärjestelmän olemassaolo on perusteltua.

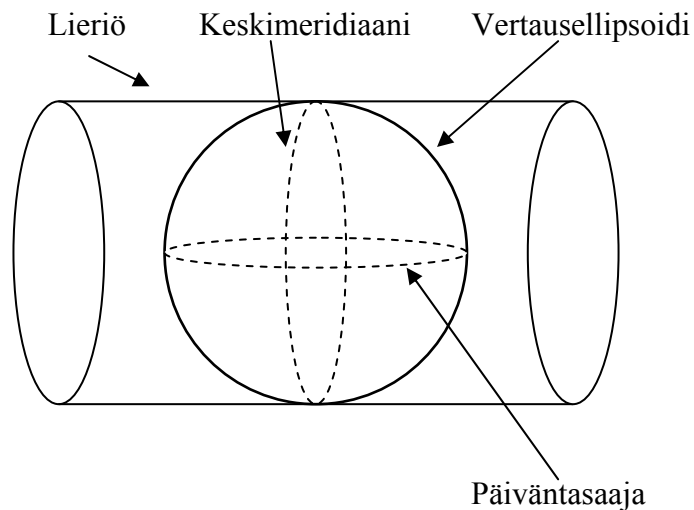
2. TEOREETTISET PERUSTEET

2.1 Karttaprojektiot ja tasokoordinaatitot

Tässä kappaleessa kuvataan Lahden tasomuunnoksen yhteydessä käsiteltävien karttaprojektioiden ominaisuuksia. Kaikki käsiteltävät karttaprojektiot ovat konformisia poikittaisia lieriöprojektiota. UTM-projektio on tyypiltään leikkaava lieriöprojektiot, Gauss-Krüger-projektiossa lieriö sivuaa ellipsoidia keskimeridiaania pitkin.

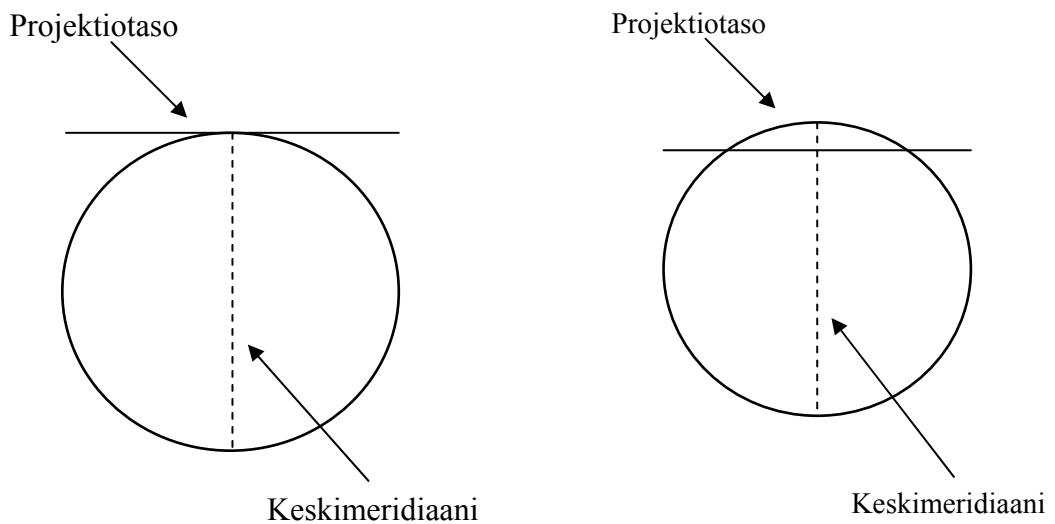
Taulukko 2.1: Karttaprojektioiden ominaisuuksia [3]

	ETRS-TM35FIN	ETRS-GKn	Lahti
Karttaprojektio	UTM	Gauss-Krüger	Gauss-Krüger
Vertausellipsoidi	GRS80	GRS80	Kansainvälinen 1924
Keskimeridiaani(t)	27°	19°-31°	25,6636°
Kaistanleveys	Koko Suomi, n 13°	Tarkoituksen mukainen	2°
Itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla	500 000 m	n500 000 m, missä n = keskimeridiaanin asteluku (19°-31°)	590258.428
Mittakaava keskimeridiaanilla	0.9996	1	1



Kuva 2.1: Poikittaisen lieriöprojektion periaate

Kuvattaessa pallomainen pinta tasolle johtaa se aina kuvauksesta johtuviin projektio- ja mittakaavavirheisiin. Virheet aiheuttavat kuvattavien alueiden pinta-alojen ja alueiden muodon muuttumista alkuperäisestä. Projektio- eli suuntavirhe aiheutuu siitä, että ellipsoidipinnalla havaittu suunta ja projektiotason vastaava suunta poikkeavat toisistaan.



Kuva 2.2: Sivuavan ja leikkaavan karttaprojektion periaatteet.

Sivuavan projektion tapauksessa leikkaustaso sivuaa keskimeridiaanina. Leikkaavan projektion tapauksessa leikkaustasoja on kaksi, jotka sijaitsevat tasavälisellä etäisyydellä keskimeridiaanista. Karttaprojektioiden ominaisuudet ja niistä aiheutuvat kuvausvirheet tulee huomioida karttaprojektiota valittaessa.

2.1.1 ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatisto

Euroopan komission sisäinen suositus 1:500 000 ja sitä suurimittakaavaisempien karttojen esitystavaksi on UTM-pohjainen ETRS-TMn koordinaatisto, missä n viittaa kaistan numeroon. Suomessa käytettävän kaistan numero on 35, jonka keskimeridiaani on 27°. Kaista on levitetty kattamaan koko Suomi Itä-länsi suunnassa. Kaistan leveys on 13 astetta. ETRS-TM koordinaatiston koordinaattijärjestelmä on ETRS89 ja vertausellipsoidi GRS80.

Pohjoismaisen Geodeettisen Komission (NKG) vuoden 1998 yleiskokouksen päätöslauselma suosittelee EUREF-89 koordinaatistoa ja UTM projektiota yhteispohjoismaiseksi järjestelmäksi.[3]

2.1.2 ETRS-GKn tasokoordinaatisto

UTM karttaprojektion sijasta voidaan paikallisesti käyttää Gauss-Krüger projektiota, tehtävissä, joihin leveäkaistainen ETRS-TM35FIN koordinaatisto ei sovellu. Kyseeseen voivat tulla suurta tarkkuutta vaativat tehtävät, kuten kaavoitus ja rakentamistoiminta, joissa projektiovirheet tulee lähtökohtaisesti minimoida. Gauss-Krüger projektiioon perustuvan tasokoordinaatiston keskimeridiaaniksi voidaan valita parhaiten soveltuva tasa-aste (19°, 20°... 31°). Tällöin projektiokorjaukset pysyvät hyväksyttävänä. Kaistaa voidaan käyttää niin leveänä kuin on tarkoituksenmukaista. Tästä koordinaatistosta käytetään nimeä ETRS-GKn, missä n on käytetyn keskimeridiaanin asteluku, esim. ETRS-GK27. Koordinaatiston origo on ekvaattorin ja kyseisen kaistan keskimeridiaanin leikkauspisteessä. Itäkoordinaatin arvo on keskimeridiaanilla n500000 m, missä n tarkoittaa kaistan keskimeridiaanin astelukua (esim. 26). [4]

2.1.3 Lahden järjestelmä

Lahden kaupungin koordinaatisto on ns. erilliskoordinaatisto. Lahden pääluokan verkko kuvataan Gauss-Krüger projektiolla, keskimeridiaanin kulkiessa Tiirismaan pisteen kautta. [7] Yleinen insinööritoimisto Oy on rakentanut ja laskenut Lahden pääkolmioverkon vuosina 1932-1934. Pääkolmioverkko on muodostunut pisteistä I Salpausselkä, II Mukkula, III Lankila, IV Rengonmäki, V Sokeritoppa, VI Mattila, VII Okeroinen, VIII Tiirismaa ja IX Enonsaari. Perusviiva on mitattu V Sokeritopan ja VI Mattilan välille, pituuden ollessa 1700.0485 m. Koordinaattilaskut on suoritettu käyttäen lähtöpisteenä VIII Tiirismaan kolmiopistettä 26.

Pääkolmioverkossa ilmenneiden virheiden vuoksi vuonna 1939 verkko laskettiin uudelleen. Tällöin mitattiin uusi perusviiva välille 2 Kiikunkärki – 3 Niemi, jonka pituus on 2149.015 metriä. [7] I-luokan verkkoa on tihennetty II-luokkaan, josta tihennystä jatkettiin III-luokkaan. Käyttöpisteet muodostuvat IV ja V sekä Vb luokan pisteistä. Mittaukset kaikkien tihennysluokkien osalta on suoritettu teodoliitilla ja etäisyysmittarilla sekä myöhemmin takymetrillä. Vuodesta 1997 lähtien kiintopistemittaukset on toteutettu staattisella GPS-mittauksella. Lahden runkopiste-hierarkian erikoisuutena on Vb luokka. Tämä luokka perustuu VRS-GNSS laitteella suoritettuihin modifioituihin havaintoihin. Lisäksi teknillinen korkeakoulu on määrittänyt vuonna 1989 muunnosparametrit KKJ:n ja Lahden järjestelmän välille. [5]

2.2 Koordinaattimuunnokset

Koordinaattimuunnoksilla muunnetaan lähtökoordinaatiston mukaisia koordinaatteja tuloskoordinaatistoon käyttäen järjestelmien välisiä muunnosparametreja.

2.2.1 Affiininen 2D muunnos

Affiinisessa muunnoksessa mittakaavat x - ja y -akseleille ovat erilaiset ja akseleita kierretään erisuuruisen kulman verran. Tästä johtuen affiininen muunnos muuttaa muunnettavan kuvion muotoa. Affiinista muunnosta voidaan käyttää erityisesti tapauksissa, joissa lähtökoordinaatiston epäillään olevan deformoitunut.

2D-affiinin muunnos on muotoa:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (1)$$

missä tuntemattomia parametreja ovat: a, b, c, d, x_0 ja y_0

2.2.2 Helmert 2D-muunnos

Tässä yhteydessä Helmert muunnosta käsitellään neliparametrisenä 2D muunnoksena. Helmert muunnos on yleisesti käytössä oleva kahden suorakulmaisen koordinaatiston välinen yhdenmuotoisuusmuunnos. Muunnoksessa muunnettavan alueen muoto ei muutu. Muunnoksessa muunnosalue kierretään ja siirretään vakiomuutoksen verran. Helmert-muunnoksella on mahdollista paljastaa koordinaatistoissa olevat deformaatiot esimerkiksi affiinista muunnosta paremmin muunnospisteiden jäännösvirhetarkastelun avulla.

2D-Helmert muunnos on muotoa:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} + K \begin{pmatrix} \cos t & -\sin t \\ \sin t & \cos t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (2)$$

missä tuntemattomia parametreja ovat: K, t, x_0 ja y_0

2.2.3 Mittakaavamuunnos

Muunnos kahden samalla keskimeridiaanilla kuvatun koordinaatiston välillä voidaan toteuttaa käyttäen projektiokaavoja tai yksikertaisemmin mittakaavamuunnoksella. Esimerkiksi ETRS-GK27 mukaiselta kaistalta voidaan siirtyä ETRS-TM35FIN koordinaatistoon mittakaavamuunnoksella, käyttäen seuraavia parametreja. [3]

$$N_{\text{ETRS-TM35FIN}} = N_{\text{ETRS-GK27}} \cdot 0.9996$$

$$E_{\text{ETRS-TM35FIN}} = (E_{\text{ETRS-GK27}} - 500\,000 \text{ m}) \cdot 0.9996 + 500\,000 \text{ m}$$

$$= (E_{\text{ETRS-GK27}} \cdot 0.9996) + 200 \text{ m} \quad (3)$$

$$N_{\text{ETRS-GK27}} = N_{\text{ETRS-TM35FIN}} / 0.9996$$

$$E_{\text{ETRS-GK27}} = (E_{\text{ETRS-TM35FIN}} - 200\text{m}) / 0.9996 \quad (4)$$

2.2.4 Koordinaattikonversio

Koordinaattikonversiolla muunnetaan koordinaattien esitystapaa saman koordinaatiston sisällä. Usein tarvitaan konversioita ennen koordinaattimuunnoksen suorittamista, koska koordinaattimuunnos voidaan suorittaa esimerkiksi 3D suorakulmaisten tai tasokoordinaattien välillä. Koordinaattikonversiot voidaan toteuttaa useilla eri menetelmillä. Laatikoissa 2.1 ja 2.2 on esitetty Lahden tasokoordinaatistomuunnoksen yhteydessä käytetyt projektiokaavat geodeettisten ja tasokoordinaattien muuntamiseksi.

Taulukko 2.2: Kaavoissa käytettävät symbolit ja määritelmät

Symboli		Määritelmä
a	=	ellipsoidin isoakselin puolikas
b	=	ellipsoidin pikkuakselin puolikas
f	=	ellipsoidin litistyssuhde
k_0	=	mittakaavakerroin keskimeridiaanilla
λ_0	=	projektion keskimeridiaani
E_0	=	Itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla
φ	=	geodeettinen leveys
λ	=	geodeettinen pituus
E	=	projektion itäkoordinaatti
N	=	projektion pohjoiskoordinaatti
γ	=	meridiaanikonvergenssi
k	=	mittakaavakerroin
A_1	=	meridiaanin pituisen ympyrän säde
e^2	=	ensimmäisen epäkeskisyyden neliö
e'^2	=	toisen epäkeskisyyden neliö
n	=	toinen litistyssuhde
t	=	suuntakulma tasolla
c	=	napakaarevuussäde
M	=	meridiaanikaarevuussäde
N	=	poikittaiskaarevuussäde

Laatikko 2.1 Projektiokaavat geodeettisten koordinaattien muuntaminen tasokoordinaateiksi [18]

Syöte: pisteen geodeettiset koordinaatit (φ, λ)

Tulos: pisteen tasokoordinaatit (N, E) projektioitasolla,

$$Q' = \operatorname{arsinh}[\tan(\varphi)]$$

$$Q'' = \operatorname{artanh}[e \cdot \sin(\varphi)]$$

$$Q = Q' - e \cdot Q''$$

$$l = \lambda - \lambda_0$$

$$\beta = \arctan[\sinh(Q)]$$

$$\eta' = \operatorname{arctanh}[\cos(\beta) \cdot \sin(l)]$$

$$\xi = \arcsin\left[\frac{\sin(\beta)}{\operatorname{sech}(\eta')}\right]$$

$$\xi_1 = h_1' \sin(2\xi') \cosh(2\eta)$$

$$\xi_2 = h_2' \sin(4\xi') \cosh(4\eta')$$

$$\xi_3 = h_3' \sin(6\xi') \cosh(6\eta')$$

$$\xi_4 = h_4' \sin(8\xi') \cosh(8\eta)$$

$$\eta_1 = h_1' \cos(2\xi') \sinh(2\eta)$$

$$\eta_2 = h_2' \cos(4\xi') \sinh(4\eta')$$

$$\eta_3 = h_3' \cos(6\xi') \sinh(6\eta')$$

$$\eta_4 = h_4' \cos(8\xi') \sinh(8\eta')$$

$$\xi = \xi' + (\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4)$$

$$\eta = \eta' + (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4)$$

$$A_l = \frac{a}{1+n} \left(1 + \frac{n^2}{4} + \frac{n^4}{64}\right)$$

$$N = A_l \cdot \xi \cdot k_0$$

$$E = A_l \cdot \eta \cdot k_0 + E_0$$

Laatikko 2.2: Projektiokaavat tasokoordinaattien muuntamiseksi geodeettisiksi koordinaateiksi [18]

Syöte: pisteen tasokoordinaatit (N, E) projektiotasolla

Tulos: pisteen geodeettiset koordinaatit (φ, λ)

$$\zeta = \frac{N}{A_1 \cdot k_0}$$

$$\eta = \frac{E - E_0}{A_1 \cdot k_0}$$

$$\xi'_1 = h_1 \sin(2\xi) \cosh(2\eta)$$

$$\xi'_2 = h_2 \sin(4\xi) \cosh(4\eta)$$

$$\xi'_3 = h_3 \sin(6\xi) \cosh(6\eta)$$

$$\xi'_4 = h_4 \sin(8\xi) \cosh(8\eta)$$

$$\eta'_1 = h_1 \cos(2\xi) \sinh(2\eta)$$

$$\eta'_2 = h_2 \cos(4\xi) \sinh(4\eta)$$

$$\eta'_3 = h_3 \cos(6\xi) \sinh(6\eta)$$

$$\eta'_4 = h_4 \cos(8\xi) \sinh(8\eta)$$

$$\xi = \xi' \cdot (\xi'_1 + \xi'_2 + \xi'_3 + \xi'_4)$$

$$\eta' = \eta - (\eta'_1 + \eta'_2 + \eta'_3 + \eta'_4)$$

$$l = \arcsin\left[\frac{\tanh(\eta')}{\cos(\beta)}\right]$$

$$Q = \arcsin[\tan(\beta)]$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q)]$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q')]$$

$$\varphi = \arctan[\sinh(Q')]$$

$$\lambda = \lambda_0 + l$$

$$\beta = \arcsin[\sec(\eta') \cdot \sin(\xi')]$$

$$l = \arcsin\left[\frac{\tanh(\eta')}{\cos(\beta)}\right]$$

$$Q = \arcsin[\tan(\beta)]$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q)]$$

$$Q' = Q + e \cdot \operatorname{artanh}[e \cdot \tanh(Q')]$$

$$\varphi = \arctan[\sinh(Q')]$$

$$\lambda = \lambda_0 + l$$

2.2.5 Kaistanvaihto

Projektiokaistan vaihto tehdään siirtymällä projektiotasolla esitetyistä koordinaateista geodeettisiin koordinaatteihin laatikon 2.2 mukaisilla kaavoilla. Seuraavassa vaiheessa valitaan uuden kaistan mukainen keskimeridiaani λ_0 ja palataan projektiotasolle käyttäen laatikon 2.1 mukaisia kaavoja.

2.3 Korkeudet ja korkeusjärjestelmät

2.3.1 Normaalikorkeus

Normaalikorkeus lasketaan geopotentialin ja normaalipainovoiman avulla:

$$H^N = \frac{c}{\bar{\gamma}} \quad (5)$$

missä c on geopotentialiluku ja $\bar{\gamma}$ on keskimääräinen normaalipainovoima mitattuna ellipsoidin normaalia pitkin. Keskimääräinen normaalipainovoima $\bar{\gamma}$ lasketaan referenssiellipsoidin ja sen pisteen välillä, jossa normaalipainovoimakentän potentiaaliero ellipsoidiin on sama kuin havaintopaikan potentiaaliero kvasigeoidiin

$$\bar{\gamma} = \gamma_0 - \frac{1}{2} k H_m \bar{\gamma} \quad (6)$$

missä γ_0 on normaalipainovoima ellipsoidilla, H_m on normaalikorkeuden likiarvo ja $k = 0.3086 \times 10^{-5} \text{ s}^{-2}$. Yhtälö ratkaistaan iteratiivisesti.

Normaalikorkeuksien lähtötaso on kvasigeoidi, joka yhtyy geoidiin merenpinnan tasolla, mutta eroaa geoidista sitä enemmän mitä korkeammalla havaintopaikka sijaitsee [4].

2.3.2 Ortometrinen korkeus

Ortometrinen korkeus kuvaa pisteen etäisyyden geoidista. Ortometrinen korkeus lasketaan kaavalla:

$$H = \frac{c}{\bar{g}} \quad (7)$$

missä c on pisteen geopotentialiluku ja \bar{g} keskimääräinen painovoima.

Keskimääräinen painovoima lasketaan käyttäen Helmertin kaavaa

$$\bar{g} = g_p + kH_m \quad (8)$$

missä g_p on pisteen painovoima ja H_m on sen likimääräinen ortometrinen korkeus.

2.3.3 N2000-korkeusjärjestelmä

N2000-korkeusjärjestelmä perustuu Suomen kolmanteen tarkkavaaitukseen, joka toteutettiin vuosien 1978 ja 2006 välisenä aikana. Kansallisen korkeustasoituksen lähtöarvo määritettiin pohjoismaisena yhteistyönä Itämeren ympäri tehdyllä tasoituksella, jossa oli mukana vaaitushavaintoja Suomesta, Ruotsista, Norjasta, Tanskasta, Hollannista, Saksasta, Puolasta, Liettuasta, Latviasta ja Virossa. Tästä tasoituksesta käytetään lyhennettä BLR2000. Suomessa korkeusjärjestelmän lähtötaso on Kirkkonummella Geodeettisen laitoksen Metsähovin alueella sijaitseva kiintopiste PP2000, jonka korkeuslukema on saatu BLR2000 tasoituksesta ja sen lähtötaso perustuu Amsterdamin keskimerenpinnan määrittämään korkeustasoon.

N2000-järjestelmän määrittävän datumin arvot ovat:

- kiintopiste: PP2000 ($\varphi = 60^\circ.21762$, $\lambda = 24^\circ.39517$)
- geopotentiali nollageoidin suhteen: $c = 53.43966$ gpu
- PP2000:n normaalikorkeus: $H = 54.4233$ m

Aikaisemmista suomalaisista korkeusjärjestelmistä poiketen N2000 ei perustu ortometrisiin korkeuksiin vaan normaalikorkeuksiin.

2.3.4 Lahden korkeusjärjestelmä

Yleinen Insinööritoimisto Oy vaaitsi 1932-1934 valtion tarkkavaaituspisteistä n. 650 korkeuskiintopistettä Lahden kaupungin alueelle. Korkeuskiintopisteet olivat suurimmaksi osaksi olemassa olevia monikulmio- ja korkeuspisteitä mutta myös osalle rajapyykkejä määritettiin tarkka dokumentoitu korkeusasema. I-luokan pohjoinen vaaitusverkko toteutettiin vuosien 1951-1955 välillä. Tässä verkossa oli mukana 16

silmukkaa ja 212 pistettä. Samaan aikaan toteutettiin myös eteläinen verkko, jossa oli 12 silmukkaa ja 101 pistettä. II-luokan vaaitusverkko on rakennettu I-luokan verkon pisteiden muodostaman alueen sisälle. Korkeuspisteitä on mitattu Lahden kaupungin alueelle yhteensä alun perin 1565 kpl. Lisäksi kaupungin alueella on 9 maanmittauslaitoksen ja 4 Geodeettisen laitoksen korkeuskiintopistettä, jotka on havaittu ja laskettu kaupungin verkossa.[7] Lahden alkuperäisen korkeusjärjestelmän lähtötason määrittämisestä ei ole olemassa olevaa dokumentaatiota. On kuitenkin ilmeistä, että Lahden järjestelmää perustuu NN-järjestelmään, koska NN-korkeuksien ja Lahden järjestelmän mukaisten korkeuksien erotus on vain 3 mm. Näin pieni ero selittynee mittaustarkkuudella.

Taulukko 2.3: Erotukset Lahden korkeusjärjestelmästä yleisempiin korkeusjärjestelmiin [5]

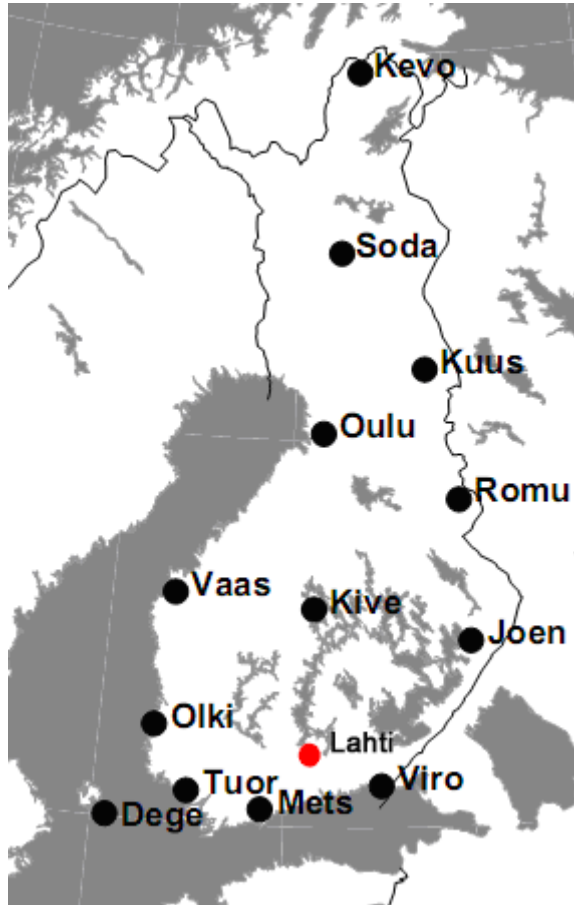
Lahden korkeusjärjestelmästä -	Erotus m.
NN	- 0.003
N43	+ 0.054
N60	+ 0.139
N2000	+ 0.382

3. TASORUNKOVERKON LASKENTA JA TASOITUS

3.1 Muunnoksen lähtöpisteet

Paikallisen EUREF-muunnoksen lähtöpisteiksi on valittavissa eri vaihtoehtoja. Geodeettisen laitoksen FINNREF®-tukiasemaverkko ja Geotrim Oy:n ylläpitämä GPSNet.fi® VRS-verkko mahdollistavat muunnospisteiden sitomisen kiinteisiin tukiasemiin. Maastossa sijaitsevinä lähtöpisteinä voidaan käyttää geodeettisen laitoksen I-luokan tai II luokan EUREF-verkon pisteitä tai maanmittauslaitoksen EUREF-tihennyspisteitä. Lisäksi voidaan käyttää muita paikallisesti määritettyjä EUREF-pisteitä, mikäli näiden pisteiden tarkkuus pystytään osoittamaan riittäväksi. VRS-verkon jälkilaskentadataa Lahden tapauksessa ei käytetty, koska VRS-verkon asema runkoverkkojen hierarkiassa katsottiin olevan epäselvä. VRS-verkon jälkilaskentadata on todistetusti laadukasta, joten sen käyttämättä jättäminen oli lähinnä periaatteellinen ratkaisu. Geodeettisen laitoksen ja maanmittauslaitoksen EUREF- pisteiden käytöstä

luovuttiin, koska havaintotyöskentely on työläämpää ja sen perustuessa kolmijaloilta suoritettavaan mittaukseen, myös riskialttiimpaa virheille. Lisäksi Lahden ympäristössä lähimmät I-luokan pisteet sijaitsevat suhteellisen kaukana muunnosalueesta. Muunnoksen lähtöpisteiksi valittiin Geodeettisen laitoksen FINNREF-tukiasemaverkon pisteet: Metsähovi, Virolahti ja Kivetty.



Kuva 3.1: FINNREF®-tukiasemat ja muunnosalue [14]

Mittauksen paremman geometrian kannalta Kivetyn tukiasema otettiin lähtöpisteeksi, vaikka Joensuun ja Tuorlan FINNREF® -tukiasemat sijaitsevat lähempänä muunnosaluetta. Vaikka lähtöpisteet sijaitsevat I-luokan EUREF pisteitä kauempana muunnosalueesta, kompensoitiin vektorien pituutta kasvattamalla havaintoaikoja niin pitkiksi kuin se mittausryhmien käytännön työjärjestelyjen kannalta oli mahdollista.

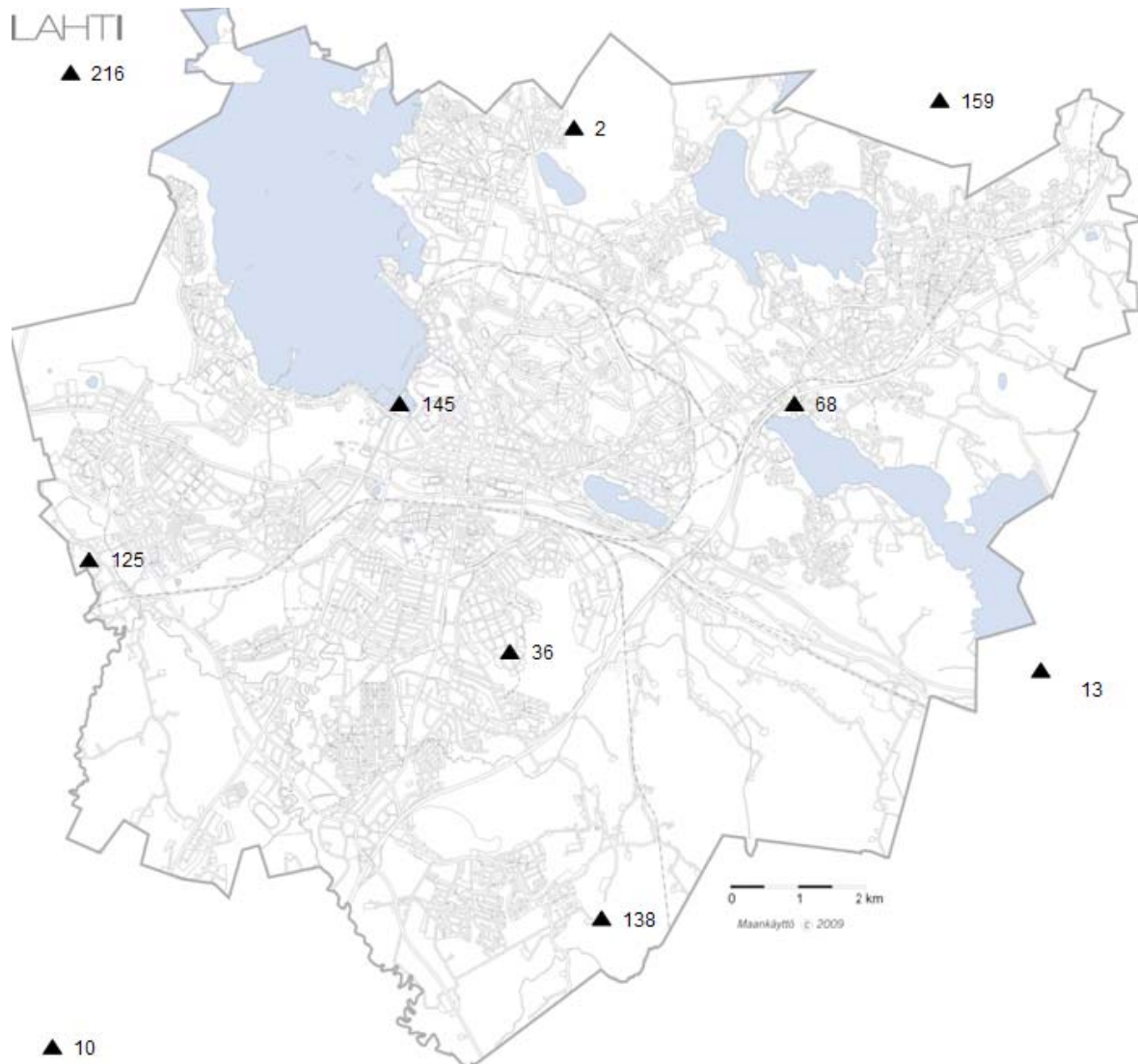
Lähtöpisteiden etäisyydet muunnosalueelta ovat: Metsähovi n.100 km, Virolahti, n. 90 km ja Kivetty n. 180 km. Kivetyt tukiaseman suhteellisen suuri etäisyys muunnosalueelta aiheutti ennakkoon pohdintaa etäisyyden aiheuttaman ppm-virheen vaikutuksesta vektoreihin ja verkon tarkkuuteen.

3.2 Muunnospisteiden valinta

Muunnospisteet valittiin siten, että koko muunnosalue jää muunnospisteiden muodostaman monikulmion sisälle mahdollisimman suurelta osin. Tätä pidetään peruslähtökohtana alueellisen muunnoksen laadukkaalle toteutukselle. Muunnospisteet pyrittiin valitsemaan ensisijaisesti Lahden kaupungin I-luokan pisteistä. Osa I-luokan pisteistä oli kuitenkin tuhoutunut ja olemassa olevien I-luokan pisteiden jakautuminen kaupungin alueelle on epätasaista. Tämän johdosta muunnokseen otettiin mukaan myös II ja III-luokan pisteitä. II-luokan pisteistä suurta osaa ei voitu käyttää niiden vähäisen määrän ja epäedullisen sijainnin vuoksi. Ainoastaan II-luokan pisteet 216 ja 217 osoittautuivat käyttökelpoisiksi. Koska verkon geometria asetettiin etusijalle, muunnospisteiksi valittiin myös III luokan pisteitä. Muunnoksessa käytetyt pisteet 145, 159 ja 138 valittiin Lahden kaupungin III-luokan pisteistä. Nämä pisteet olivat erityistarkkailussa muunnoksen virhetarkastelun yhteydessä. Muunnospisteistä I-luokan piste 10 ja III-luokan pisteet 125, 159 ja 216 sijaitsevat Hollolan kunnan alueella sekä I-luokan piste 13 Nastolan kunnan alueella.

3.3 Pisteiden inventointi

Mittaryhmä kävi etukäteen jokaisella suunnitelman mukaisella pisteellä laatimassa pistekortin, jossa kuvattiin pisteen kunto, peitteisyys sekä tarkistettiin pisteen sidontamitat. Hyväksyttävältä pisteeltä tuli olla esteetön näkyvyys yli 30 asteen korkeuskulmalle. Tämän lisäksi sallittiin 1-2 maksimissaan 20 asteen levyistä kohdetta, joiden sallittiin ylettyä suuremmille korkeuskulmille. Samalla piste merkittiin paalulla, jotta pisteen löytäminen varsinaisen mittaustilanteen yhteydessä helpottuu. Maastokäyntien perusteella ainoastaan pisteellä 138 suoritettiin suurempia puunkaatoja, muiden pisteiden osalta selvittiin kevyemmällä raivauksella.



Kuva 3.2: Muunnospisteet ja muunnosalue

3.4 Kenttämittaukset

Mittaukset suoritettiin 20.10.2003 – 5.11.2003 välisenä aikana. Mittaukset toteutti Lahden kaupungin maankäytön maastomittauskeskus. Mittausryhmään kuului kaksi henkilöä. Kahdella henkilöllä kaluston siirtäminen maastoltaan haasteellisilla paikoilla sijainneille pisteille oli luotettavampaa. Mittaukset toteutettiin staattisena GPS-mittauksena. Mittauksilla määritettiin I-luokan pisteille EUREF-FIN koordinaatit sitomalla ne geodeettisen laitoksen FINNREF verkon tukiasemiin Kivetty, Metsähovi ja Virolahti.

Käytetty korkeuskulman katkaisu asetettiin 15 asteeseen. Mittauksissa käytettiin taulukossa 3.1 esitettyjä pisteitä. Jokaisella pisteellä käytettiin 6-7 tunnin luotausaikaa, tallennustiheyden ollessa 30 sekuntia.

Taulukko 3.1: Muunnospisteiden mittausaikataulu

Piste nro.	Luokka	Mittaus pvm.
145	III	20.10.2003
216	II	4.11.2003
2	I	22.10.2003
68	I	5.11.2003
159	III	23.10.2003
398	VRS ¹	23.10.2003
13	I	23.10.2003
138	III	15.10.2003
36	I	15.10.2003
10	I	5.11.2003
125	I	15.10.2003
217	II	15.10.2003

¹ GPSNet.fi® VRS-verkon Lahden tukiasema

Jokaisessa mittausseiossa oli mukana 3 vastaanotinta. Päivässä syntyi uusi kolmion muotoinen osaverkko, joka yhdistettiin edellisen päivän osaverkkoon. Pitkästä havaintoajasta johtuen mittausryhmät varmistivat luotauksen aikana mm seuraavan päivän mittausuunnitelman mukaisten pisteiden kunnan. Vastaanottimien toiminta tarkistettiin kesken mittausseiossa. Mittausseiossa päätteeksi mitattiin antennikorkeus uudelleen ja merkattiin havaintolomakkeeseen muut mahdolliset havaitut poikkeavuudet.

3.5 Kojeet

Mittauksissa käytettiin Lahden kaupungin Geotracer vastaanotinta ja Trimble Zephyr antennia sekä 2 kpl. Trimble 5700 vastaanotinta Zephyr antenneilla.

3.6 Laskenta WGS-84 koordinaatistossa

3.6.1 Käytetyt ohjelmistot

Vektoreiden laskenta ja verkkotasointus toteutettiin trimble total control jälkilaskenta-ohjelmiston versiolla 2.71. [8]

3.6.2 Vektoreiden laskenta

Jokaisen mittauspäivän päätteeksi vastaanottimien keräämä raakadata purettiin tietokoneelle, jossa tehtiin datan esikäsittely. Esikäsittelyssä tarkistettiin ohjelmiston automaattiseen suodatukseen perustuva vektoreiden kohinataso. Automaattisessa suodatuksessa ohjelmisto saattaa hyväksyä huonolaatuista dataa, vastaavasti automatiikka voi hylätä käyttökelpoista dataa huonona. Esikäsittelyn jälkeen laskettiin päiväkohtaiset vektorit ennustetuilla ratatiedoilla. Ennustettuja ratatietoja käytettiin, koska IGS:n tarkat ratatiedot [6] valmistuvat vasta noin viikon kuluttua mittauksesta. Vektorien laskennassa käytettiin taulukon 3.2 mukaisia asetuksia.

Taulukko 3.2: Vektorilaskennan asetukset

Suure	Asetus
Vektorit < 15 km.	L1
Vektorit > 15 km.	Ionisfäärivapaa kombinaatio
Troposfäärimalli	Goad&Goodman
Ilmakehämalli	MSIS90
Katkaisukulma	15°

Laskennassa hyväksyttiin ainoastaan alkutuntemattomien ratkaisut kokonaislukuna, eli ns. fixed ratkaisuna ja float ratkaisut hylättiin. Vektoreiden laaduntarkkailussa kiinnitettiin huomiota parhaan ja toiseksi parhaan ratkaisun suhdelukuun (ratio). Hyvänä suhdelukuna pidetään vähintään arvoa 2. Toinen vektoreiden laatua kuvaava tunnusluku on vektoreiden residuaalien neliöllinen keskiarvo (RMS). Poikkeavan suurella RMS arvolla esiintyviltä vektoreilta tutkittiin kohinataso ja tarvittaessa suoritettiin raaka-datan editointi. Vektoreiden laadun osalta tarkistelussa oli mukana myös vektoreiden pituuden muuttuminen tasoituksen jälkeen. Hyvälaatuisen vektorin

pituudet eivät muutu tasoituksessa muutamaa millimetriä enempää. Pisteiden Kivetty ja 145 välisen vektorin kokonaislukuratkaisu saatiin ainoastaan nostamalla katkaisukulma 25 asteeseen. Syynä tähän saattoi olla monitieheijastuma, jota voidaan eliminoida pienellä katkaisukulman nostolla. Suuret katkaisukulman nostot aiheuttavat satelliittien määrän pienenemisen niin vähäiseksi, ettei vektoria pystytä välttämättä ratkaisemaan. Verkosta ei hylätty yhtään vektoria eikä uusintamittauksia täytynyt tehdä.

3.6.3 Vapaan verkon laskenta

Jokaisena päivänä lasketut vektorit yhdistettiin osaverkoksi ja suoritettiin osaverkon laskenta vapaana verkkona. Tällä pyrittiin paljastamaan mittauksissa mahdollisesti esiintyvät ongelmat ja tarvittaessa uusintamittaukset olisi voitu toteuttaa heti seuraavana päivänä. Verkko laskettiin ns. aitona vapaana verkkona. Vapaan verkon tapauksessa verkosta ei kiinnitetä yhtään pistettä vaan verkon annetaan ”kellua”. Tällöin verkon origo sijoittuu verkon painopisteeseen ja verkon muoto pysyy optimaalisena. Laskentaohjelmistoilla on tapana antaa epärealistisen hyviä virhearvoja vektorikomponenteille. Tämä huomioitiin käyttämällä ohjelman laskemien vektorikomponenttien keskihajontojen kertomista 10:llä. Tällä pyrittiin saamaan realistisempia virhearvoja jo laskennan tässä vaiheessa.

Karkeiden virheiden paljastamiseksi vapaan verkon laskennassa käytettiin Tau-testiä. (Poppe) [12] Testi pyrkii paljastamaan karkeat virheet tilastollisesti. Menetelmässä laskettua kriittistä arvoa verrataan testisuureeseen. Jos nollahypoteesi hylätään havainto tulkitaan karkeaksi virheeksi. Kriittinen havainnon arvo lasketaan kaavalla:

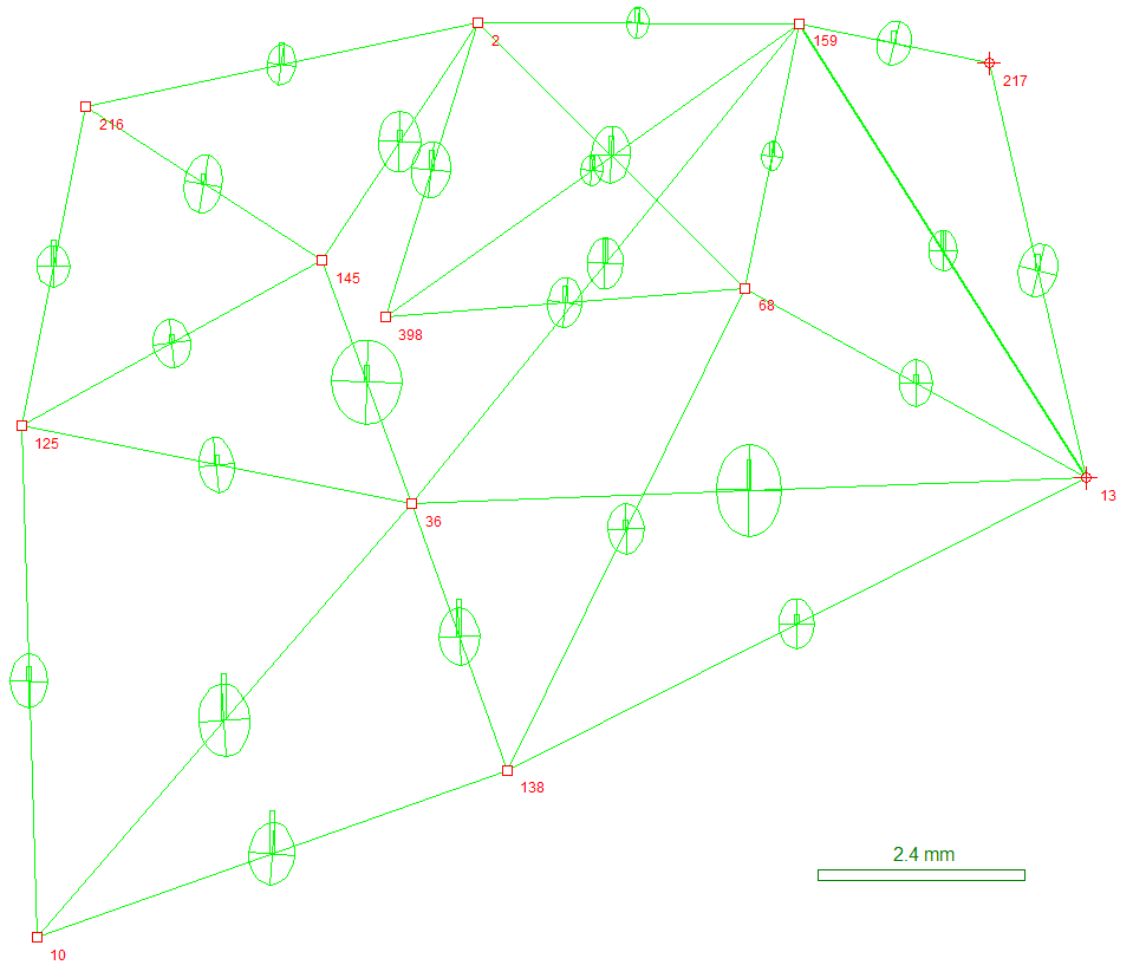
$$\tau_{f,1-\alpha/2} = \sqrt{\frac{ft^2_{f-1,1-\alpha/2}}{f-1+t^2_{f-1,1-\alpha/2}}} \quad (9)$$

missä α on luotettavuustaso ($1-\alpha$), f on vapausaste ($n-u$) ja t on studentin testin arvo havainnolle.

Havainnon testisuure lasketaan kaavalla:

$$T_i = \frac{|v_i|}{m_{v_i}} \quad (10)$$

missä $|v_i|$ on havainnon residuaalin itseisarvo ja m_{v_i} havainnon keskivirhe.



Kuva 3.3: Vektorit ja suhteelliset virhe-ellipsit vapaan verkon laskennassa, huomaa GPSnet.fi® tukiasemaverkon piste 398 referenssipisteenä, joka ei ole mukana tasoituksessa.

Lopullisen verkon vektoreiden laskenta suoritettiin käyttäen IGS:n tarkkoja ratatietoja, kun kaikki osaverkot oli laskettu. Tämän jälkeen koko verkko laskettiin vapaana verkkona yllä esitettyjen periaatteiden mukaisesti. Yhteenveto vapaan verkon laskennan tuloksista on taulukossa 3.3, yksityiskohtaisemmat tulokset liitteessä 1.

Taulukko 3.3: Yhteenveto vapaan verkon laskennan tuloksista

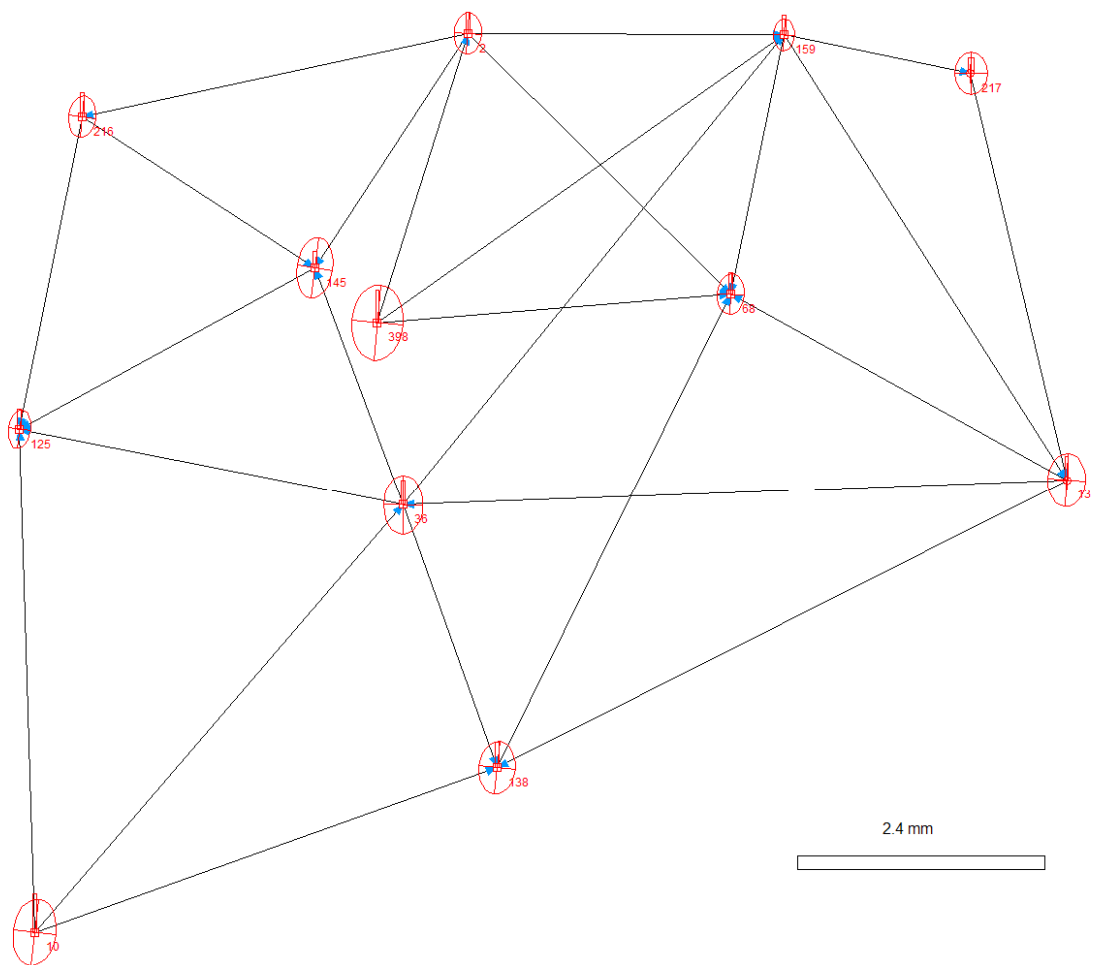
Parametri	Arvo
Vektoreita	81
Verkossa pisteitä	14
Luotettavuustaso tau-testille	1σ (95%)
Tau-testin pienin sallittu poikkeama	5 mm / 1 ppm.
Painoyksikön keskivirhe	0.988
Tasoitettujen pisteiden keskihajonnan vaihteluväli, x mm	0,8 – 3
Tasoitettujen pisteiden keskihajonnan vaihteluväli, y mm	0,5 – 2,1

3.6.4 Kytkeytyn verkon laskenta

Ennen verkon lopullista kiinnittämistä lähtöpisteisiin tutkittiin eri lähtöpistevaihtoehtojen vaikutusta tasoitettuihin koordinaatteihin. Tämä toteutettiin käyttämällä lähtöpisteinä pelkästään lähimpiä FINNREF tukiasemia: Virolahti ja Metsähovi. Saatuja tuloksia verrattiin Virolahden, Metsähovin ja Kivetyn lähtöpisteillä saatuihin tasoitettuihin koordinaatteihin. Peruste testaukselle oli muunnosalueelta suhteellisen kaukana sijaitsevan (190 km) Kivetyn pisteen vaikutus vektoreihin ja verkon tasoitettujen koordinaattien laatuun.

Ratkaisua tutkittiin laskentaprosessin aikana eri lähtöpistevaihtoehtoilla ja päädyttiin lopputulokseen, ettei Kivetyn pisteen verkosta poisjättämiselle ollut perusteita. Muunnospisteiden xy -koordinaattien vaihteluväli eri lähtöpisteiden tapauksissa ei ollut muutamaa millimetriä suurempaa. Kivetyn pisteen mukaan ottamista puoltaa verkon geometria. Käytettäessä Metsähovin, Virolahden ja Kivetyn pisteitä jää muunnosalue suhteellisen tasakulmaisen kolmion keskelle. Tärkeimmäksi lähtöpisteiden vaikutuksen arviointimenetelmäksi valittiin ohjelmien antamien tunnuslukujen lisäksi takaisinlaskenta. Takaisinlaskennalla tarkoitetaan tässä yhteydessä lähtöpisteiden avulla määritettyjen muunnospisteiden kiinnittämistä ja lähtöpisteiden pitämistä uusina pisteinä. Lopputuloksena tarkastellaan lähtöpisteiden arvojen muuttumista suhteessa niiden alkuperäisiin, tunnettuihin koordinaattiarvoihin.

Lopullisessa kytketyn verkon tasoituksessa kiinnitettiin FINNREF tukiasemaverkon pisteet Metsähovi, Virolahti ja Kivetty. Pisteille annettiin Geodeettisen laitoksen toimittamat EUREF-koordinaatit. Tässä yhteydessä korjattiin TTC-jälkilaskentaohjelmistossa oleva virhe. Virheen johdosta Metsähovin tukiasemalla olevan Dorne Margolin antennin korkeus voidaan ilmoittaa vain antennin pohjaan, eikä alkuperäisen tarkoituksen mukaisesti antennin referenssipisteeseen (ARP). Virheen vaikutus on muutaman senttimetrin luokkaa. Kyseistä virhettä ei ole korjattu TTC ohjelmistoon, vaan se on korjattava erikseen jokaisen TTC-ohjelmiston asennuksen yhteydessä. [10]



Kuva 3.4: Kytketty verkko, huomaa GPSnet.fi® tukiasemaverkon piste 398 referenssipisteinä, joka ei mukana tasoituksessa.

TTC jälkilaskentaohjelmistossa käytetään vektorikohtaiselle keskihajonnalle seuraavaa kaavaa:

$$\sigma = S1 + S2 \cdot S_{\text{vektori}} \quad (11)$$

missä S1 on estimaatti vektorin tarkkuudelle (mm), S2 on estimaatti vektorin suhteelliselle tarkkuudelle (ppm) ja S_{vektori} on vektorin pituus. Painotuksen virheestimaatiksi XYZ-komponentille asetettiin 5 mm + 1 ppm.

Taulukko 3.4: Yhteenveto kytketyn verkon laskennan tuloksista

Parametri	Arvo
Vektoreita	81
Verkossa pisteitä	14
Lähtöpisteitä	3
Luotettavuustaso tau-testille	1 σ (95%)
Painoyksikön keskivirhe	2,225
Tasoitettujen pisteiden keskihajonnan vaihteluväli x mm	4,1-6,6
Tasoitettujen pisteiden keskihajonnan vaihteluväli y mm	2,1-5,2

Lähtöpisteinä käytetyiltä FINNREF verkon pisteiltä oli laskettu vektorit jokaiselle muunnospisteelle. Tämä parantaa verkon luotettavuutta verrattuna perinteiseen verkkoratkaisuun, jossa verkko on sidottu lähtöpisteisiin vain muutamasta osasta verkkoa. Muunnospisteiden laatua arvioitiin suhteessa runkopisteiden tarkkuusluokitukseen. Tämä toteutettiin soveltamalla TKK:n numeerisen kartoituksen maastomittausohjeissa [15] kuvattua geometrisen suhteellisen tasotarkkuuden menetelmää. Lähtökohtana muunnos-pisteiden suhteelliselle tasotarkkuudelle asetettiin luokka 1, joka tarkoittaa 2 ppm. suhteellista tasotarkkuutta.

Pisteen hyväksymistä tiettyyn tasotarkkuusluokkaan arvioidaan kaavalla:

$$mp < r(i) \cdot s \cdot 10^{-6} \quad (12)$$

missä mp on suhteellisen virhe-ellipsin isoakselin puolikas, $r(i)$ on tavoitemittausluokan ppm-arvo, s on etäisyys mihin tahansa naapuripisteeseen.

Piste voidaan hyväksyä valittuun tarkkuusluokkaan jos kaavasta saatu vertailusuure ylittää suhteellisen virhe-ellipsin iso-akselin puolikkaan arvon. Kaikki verkon pisteet laskettiin suhteessa naapuripisteisiinsä kaavan 12 avulla. Tulosten perusteella kaikki verkon pisteet täyttävät mittausluokan 1 vaatimukset geometrisesta suhteellisesta tasotarkkuudesta. Myös GPSnet.fi® verkon pisteelle 398 suoritettiin vastaava tarkastelu ja myös piste 398 täyttää I-luokan suhteellisen tasotarkkuuden vaatimukset. Liitteessä 6 on kuvattu verkon kaikkien pisteiden suhteelliset tasotarkkuudet lähipisteväleittäin.

4. KARTTAPROJEKTIOT

Lahden kaupungin pinta-alasta suuri osa on asemakaavoitettua aluetta, joka esitetään kaavoitusmittausohjeiden mukaisessa tarkkuusluokassa 1E. Tästä johtuen myös karttaprojektioista aiheutuneet projektiovirheet pyrittiin pitämään mahdollisimman pieninä. Tämä asetettiin etusijalle projektion valinnan kriteereissä.

4.1 Eri projektioiden testaus

Koska kuntatasolla toteutettu EUREF-FIN muunnos oli Lahden tapauksessa Suomen ensimmäinen, käytettävissä ei ollut kokemuksia muista vastaavista EUREF-muunnoksista. Vaikka julkisen hallinnon suosituksessa JHS-154 esitetään TM-35FIN ja ETRS-GK:n projektioista aiheutuneet projektiovirheet, testattiin eri karttaprojektio-vaihtoehtojen vaikutukset parhaan lopputuloksen varmistamiseksi. Testaus toteutettiin suorittamalla tietokanta-aineistosta testimuunnos ja tutkimalla eri keskimeridiaani-vaihtoehtojen vaikutuksia projektio- ja mittakaavavirheisiin.

Aineisto testattiin lähimmän ETRS-GK keskimeridiaanin (26) lisäksi myös 25 ja 27 asteen keskimeridiaaneilla. TM-35FIN projektion osalta suoritettiin vastaava virhetarkastelu. Testaus osoitti, että lähimmällä 26 asteen keskimeridiaanilla saavutetaan pienimmät mittakaavakorjaukset. ETRS-GK kaistojen 25 ja 27 tapauksessa sekä ETRS-TM35FIN projektioilla havaitut mittakaavavirheet noudattivat taulukon JHS 154 mukaisia projektiovirheitä. Taulukoissa 4.1 ja 4.2 on esitetty ETRS-GK26 ja TM-

35FIN projektioiden projektiovirheet valikoitujen muunnospisteiden tapauksessa. Koska mittakaavakorjaus vaihtelee vain itä-länsisuunnassa, vertailupisteinä ei käytetä muunnospisteitä, joiden y-koordinaatit ovat lähellä toisiaan.

4.2 Karttaprojektioiden valinta

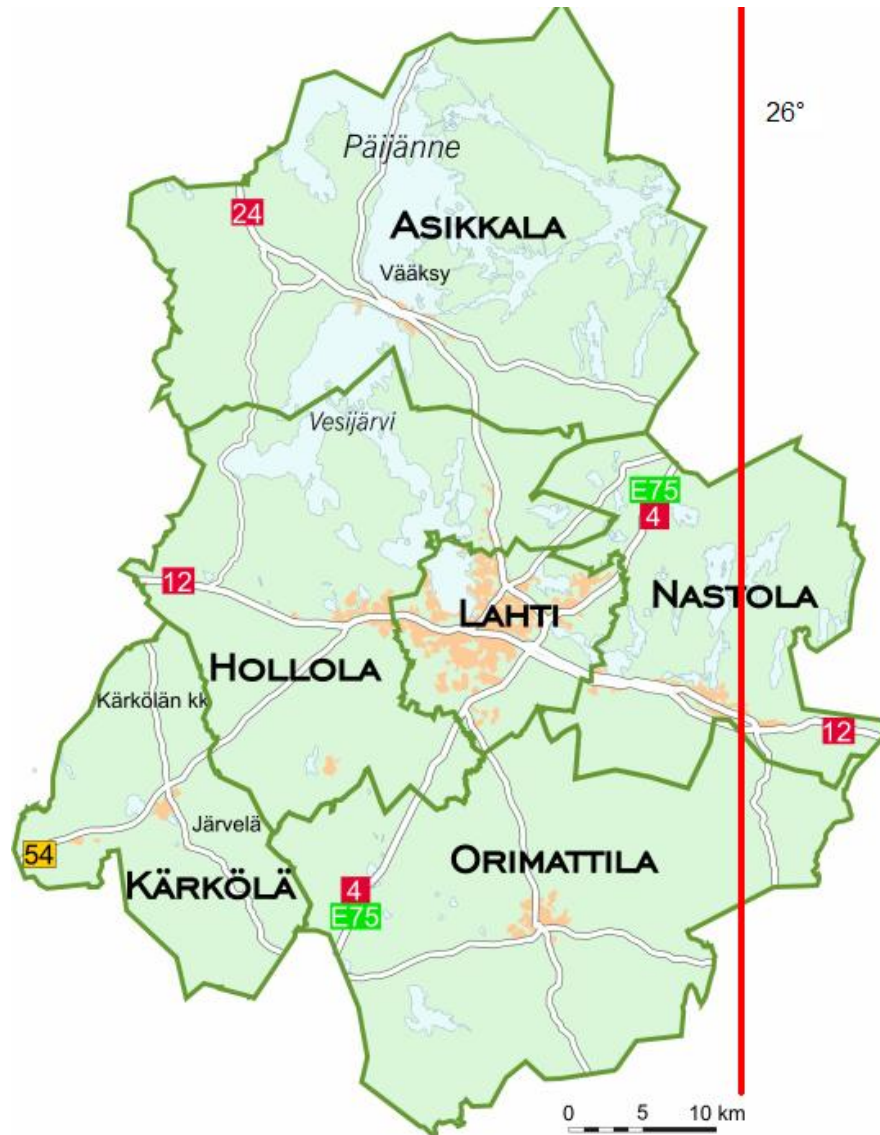
Toimittaessa maankäytön kannalta arvokkaalla alueella on tärkeää huomioida kaikki projektiovirheistä aiheutuvat seikat. Tällöin ETRS89 koordinaattijärjestelmän yhteydessä käytettäväksi karttaprojektiksi soveltuu useissa tapauksissa vain ETRS-GKn. Myös hankalista projektikorjauksista päästään kokonaan eroon edellyttäen kaistan leveyden pitämistä kohtuullisena. Suoritettujen testausten perusteella päädyttiin ratkaisuun, jossa tietokantakohteet esitetään ETRS-GK26 projektioilla. Projektiota käytetään myös karttatulosteiden ja muiden paikkatietotuotteiden ensisijaisena projektiona. Pienikaavaisia karttatulosteita varten määritettiin myös ETRS-GK26–TM35FIN muunnos. Tällä muunnoksella mahdollistettiin myös aineiston suora siirto tulevaisuuden TM35-FIN projektiota käyttäviin valtion paikkatieto-järjestelmiin.

Taulukko 4.1: Lasketut projektiovirheet, ETRS-GK26

Muunnospiste	Etäisyys keskimeridiaanista (km)	Mittakaava- korjaus (ppm)
13	9	0,7
68	14	2
138	18	3,3
145	21	4,5
10	25	6,7

Taulukko 4.2: Lasketut projektiovirheet, ETRS-TM35FIN

Muunnospiste	Etäisyys keskimeridiaanista (km)	Mittakaava korjaus (ppm)
13	62	352
68	67	345
138	71	338
145	74	334
10	79	326



Kuva 4.1: ETRS-GK26 projektion keskimeridiaanin sijainti.

Vuoden 2005 mukaisessa julkisen hallinnon suosituksessa JHS 154 esitettiin ETRS-GK:n projektion y-koordinaatti ilman kaistan yksilöivää merkintää. Ilman keskimeridiaanin yksilöivää merkintää koordinaattien sekaannuksen mahdollisuus koettiin suureksi. Tästä johtuen päädyttiin JHS 154:sta poikkeavaan ratkaisuun, jossa y-koordinaatin edessä käytetään keskimeridiaanin mukaista 26-asteen arvoa. Käytännössä keskimeridiaania kuvaava asteluku (26) toteutettiin asettamalla projektion valeorigoksi JHS 154 :ssa esitetyn 500000 metrin sijaan 26500000 metriä.

Sittemmin, vuoden 2008 päivityksen yhteydessä, julkisen hallinnon suositukseen JHS 154 on tehty muutos, jossa ETRS-GKn projektiota käytettäessä y-koordinaatin etuliitteenä tulee käyttää keskimeridiaanin astelukua

Taulukko 4.3: Lahdessa käytettävän ETRS-GK26 projektion asetukset

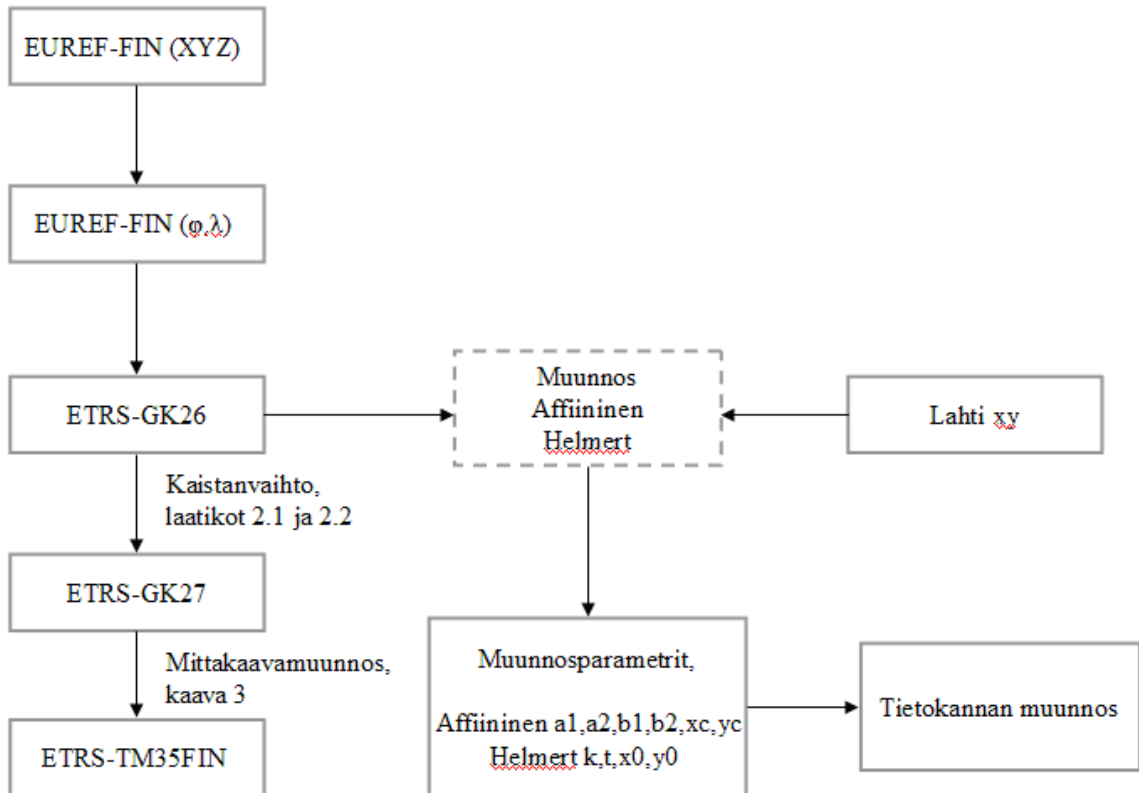
Parametri	Arvo
Karttaprojektio	Gauss-Krüger
Keskimeridiaani	26°
Kaistan leveys	n. 2°
Valeorigo, itä	(26)500000 m.
Valeorigo, pohjoinen	0
Mittakaava keskimeridiaanilla	1

JHS-154 mukaisesti ETRS-GKn projektion yhteydessä kaistanleveys voidaan määrittää tarkoituksenmukaisesti. Kaistanleveydeksi valittiin 2°, näin kaista kattaa kaikkien seutuPATI kuntien alueet. Valittu kaistanleveys tarkoittaa kaistan ylettyvän n. 60 km:n etäisyydelle keskimeridiaanin itä- ja länsipuolille.

5. TASOKOORDINAATISTON MUUNNOS

Ennen uuden ja vanhan tasojärjestelmän välistä muunnosta muunnoksessa mukana olevat koordinaatit tulee muuntaa samaan muotoon. Koordinaattien samalla muodolla tarkoitetaan esimerkiksi kummankin järjestelmän mukaisten koordinaattien esittämistä geodeettisina, suorakulmaisina maakeskinä tai suorakulmaisina tasolle projisoituina koordinaatteina. Lahden muunnos toteutettiin muuntamalla kummankin järjestelmän mukaiset koordinaatit tasolle projisoiduiksi suorakulmaisiksi koordinaateiksi. Siirtyminen geodeettisista koordinaateista projektioitasolla esittäviin tasokoordinaatteihin voidaan toteuttaa laatikon 2.1 mukaisilla kaavoilla. Tulos- ja lähtökoordinaatiston mukaiset tasolle projisoidut koordinaatit tulee esittää samalla keskimeridiaanilla. Jos tulos- ja lähtökoordinaatisto ovat eri keskimeridiaaneille saattaa tämä johtaa suuriin jäännösvirheisiin. Lahden ja ETRS-GK26 järjestelmän väliset muunnokset määritettiin affiinisina ja Helmert-muunnoksina. Viimeksi mainitun ensisijainen tarkoitus oli toimia referenssinä affiiniselle muunnokselle ja yhdenmuotoisuusmuunnoksena paljastaa mahdolliset muunnospisteissä esiintyvät

vääristymät. Helmert-muunnos on myös affiinista muunnosta laajemmin käytössä ja se on helpommin integroitavissa useimpiin ohjelmistoihin. Muunnos ETRS-TM35 koordinaatistoon perustuu ETRS-GK26 koordinaattien muuntamiseen kaistanvaihdon ja mittakaavamuutoksen avulla. Muunnoksen kokonais-prosessi on kuvattu kaaviossa 5.1.



Kaavio 5.1: Muunnoksen kokonaisprosessin kuvaus.

Tietokannan konvertointi toteutettiin affiinisella Lahti-ETRS-GK26 muunnoksella. TM-35FIN muunnosta käytetään pienimittakaavaisten karttojen tulostukseen sekä luodaan valmius tiedonsiirtoon valtiollisiin järjestelmiin, kuten KTJ:ään. Affiinen muunnos on käytössä Xcity-paikkatieto-järjestelmän pääsääntöisenä muunnoksena aineistojen sisään- ja uloskirjoituksessa.

5.1 Käytetyt ohjelmistot

Helmert-muunnos laskettiin 3d-system Oy:n 3D-win ohjelmalla, versiolla 5.3.1.1. Affiininen muunnos laskettiin Tekla Xcityaffi apuohjelmalla.

5.2 ETRS-GK26 muunnos

5.2.1 Affiininen ETRS-GK26 muunnos

Affiinisessa muunnoksessa muunnos laskettiin 11 muunnospisteen suhteen. Kaikkien muunnospisteiden perusteella laskettu affiinisestä muunnoksesta RMS virhe tasossa on 0.0195 m. Affiininen muunnoksen funktionaalinen malli kaavan 1 mukaan. Pisteet ja muunnoksen residuaalit on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 5.1: Muunnosparametrit affiinisestä muunnoksesta kaavoihin

Parametri	Arvo
x_0	-7503764.8146623466
y_0	-26172867.9207204210
b	0.9995389246
a	0.0305161245
c	-0.0305218272
d	0.999537412

Taulukko 5.2 Affiinisestä muunnoksesta pistekohtaiset residuaalit ETRS-GK26-Lahti

Piste	dx (m)	dy (m)
145	-0.023	-0.0068
216	-0.010	0.0038
2	-0.008	0.009
68	0.010	-0.010
159	0.010	-0.004
138	-0.013	0.027
36	0.008	-0.017
10	-0.005	-0.017
125	0.038	0.016
13	0.002	0.008
217	0.010	0.010

5.2.2 Helmert ETRS-GK26 muunnos

2D-Helmert muunnos perustuu kaavan 2 mukaiseen 2-ulotteiseen muunnokseen. Taulukossa 5.3 on esitetty muunnoksen parametrit sekä taulukossa 5.4 muunnoksen pistekohtaiset residuaalit.

Taulukko 5.3 Helmert muunnoksen parametrit

Parametri	Arvo
u	0.999531123378
v	0.030519496156
K	0.999996953119
t	1.943239139279
x_0	64161.616
y_0	90083.308
x	6762928.291
y	26481618.236

Taulukko 5.4: Helmert-muunnokset pistekohtaiset residuaalit ETRS-GK26-Lahti

Piste	dx (m)	dy (m)
145	-0.025	0.004
216	-0.043	0.033
2	-0.031	0.024
68	0.017	-0.029
159	0.001	-0.003
398	n/a	n/a
36	0.018	-0.019
10	0.020	-0.021
125	0.025	0.036
13	0.037	-0.025
217	0.025	-0.026
125	0.025	0.016

Tarkasteltaessa muunnosten pistekohtaisia jäännösvirheitä, affiinisen muunnoksen tapauksessa x -suuntaiset jäännösvirheet vaihtelevat 0,038-0,002 m ja y -suunnassa 0,027-0,008 m. Helmert muunnoksen tapauksessa x -suuntainen virhe vaihtelee 0,045-0,001 m. sekä y -suuntainen virhe 0,036-0,003 m. Affiinisella muunnoksella saatiin hieman Helmert muunnosta pienemmät jäännösvirheet. Kaikkien pisteiden avulla

laskettu Helmert muunnoksen jäännösvirhe oli 36 % affiinisen muunnoksen jäännösvirhettä suurempi. (0.0305-0,0195 m) Tämän perusteella voidaan olettaa, että verkossa on lievää vääristymää. Muunnostyön tarkkuusvaatimuksena olleen suhteellisen tasotarkkuuden (2ppm) perusteella tarkkuuden katsottiin täyttävän asetetut tavoitteet ja muunnokset hyväksyttiin sellaisenaan.

5.3 ETRS-TM35FIN muunnos

Verkkotasoituksessa muunnospisteille lasketut maantieteelliset EUREF-FIN koordinaatit (φ, λ) GRS80 ellipsoidilla voidaan projisoida ETRS-GK26 järjestelmän mukaisiksi tasokoordinaateiksi laatikon 2.1 kaavoja käyttäen. Muunnos ETRS-TM35FIN tasokoordinaatistoon toteutettiin mittakaavamuunnoksena. ETRS-GK26 koordinaatit muunnetaan kaistanvaihdolla ETRS-GK27 mukaiseen 27° keskimeridiaaniin. ETRS-GK27 kaistasta siirrytään ETRS-TM35FIN koordinaatistoon mittakaavamuunnoksella, kaavan 3 mukaisilla parametreilla. Projektiokaavoja käytettäessä ETRS-GK27–itäkoordinaatin edestä on otettava pois projektiokaistaa (tasokoordinaatistoa) ilmaiseva tunnusnumero 27 (27 500 000 m = 500 000 m). On huomattava, että kaavoja voidaan käyttää vain kun TM- ja GK_n projektioiden keskimeridiaanit ovat samat. [3]

Samalla laskettiin myös vaihtoehtoinen ETRS-TM35FIN muunnos käyttäen suoraa affiinista muunnosta Lahden ja ETRS-TM35FIN koordinaatistojen välillä. Tämä muunnos eroaa JHS 154 mukaisesta muunnoksesta siten, että mukana olevilla koordinaatistoilla on eri keskimeridiaanit, Lahden järjestelmässä 26° ja ETRS-TM35FIN järjestelmässä 27°. Vaihtoehtoinen muunnos määritettiin käytettäväksi ohjelmistoissa, joissa ei voida ketjuttaa mittakaava- ja projektiokaavoja JHS 154 mukaisesti. Näin toteutettuna muunnospisteiden residuaalit muodostuvat suuremmiksi kuin saman keskimeridiaanin tapauksessa. Muunnosta suositellaan käytettäväksi vain tilanteissa, jolloin käsitellään suurikaavaista kartta-aineistoa, eikä kaavion 5.1 mukainen muunnosketju ole teknisesti mahdollista toteuttaa.

5.4 Muunnoksen testaus ja vaikutukset

Muunnoksen testaaminen käytännössä on eräs koko muunnosketjun tärkeimpiä vaiheita. Jos tukeudutaan pelkästään muunnoksen teoreettiseen virhetarkasteluun ja tunnuslukuihin, voidaan helposti saada epärealistisen hyvä kuva muunnoksen todellisesta tarkkuudesta. Vaikka teoreettinen tarkastelu on tarpeellista ja välttämätöntäkin, tulee huomioida, että sen avulla muodostuneet tunnusluvut perustuvat ainoastaan muunnoksessa mukana olleisiin pisteisiin. Muunnettavan tietokanta-aineiston ja muunnoksen yhteensopivuus on perusteltua tarkistaa myös käytännössä ja vasta sen jälkeen voidaan tehdä lopulliset johtopäätökset muunnoksen onnistumisesta.

Lahden tapauksessa muunnoksen testaus toteutettiin kahdella riippumattomalla menetelmällä, joita ovat maastomittauksiin perustuva testaus sekä Lahden järjestelmän ja testimuunnoksella muunnetun ETRS-GK26 aineiston vertailu. Tällä järjestelyllä pyrittiin tuomaan esiin kaikki muunnoksesta aiheutuneet ongelmat, joita ei pelkällä tietokanta-aineistoon perustuvalla aineiston vertailulla voida havaita. Lisäksi on esitetty väitteitä, että affiinisesti muunnetun aineiston käyttämisestä takymetrimittauksissa tulisi välttää. Perusteena tähän on esitetty affiinisen muunnoksen aiheuttamaa mitta-kaavaeroa eri koordinaattiakseleille, joka ilmeni ongelmana säteittäiseen mittaukseen perustuvassa takymetrimittauksessa. Myös tähän pyrittiin ottamaan kantaa käytännön maastomittauksilla.

5.4.1 Tietokanta-aineistoon perustuva pinta-alojen vertailu

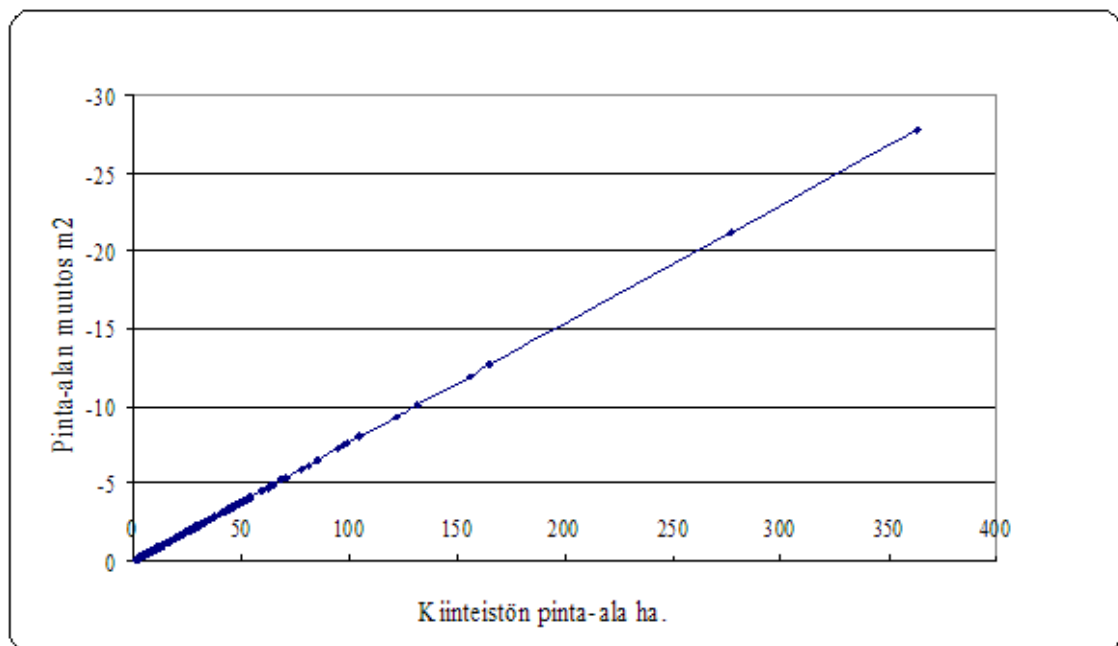
Ennen lopullista tietokantamuunnosta suoritettiin testimuunnos. Testimuunnoksessa muunnettiin valittuja tietokantakohteita ETRS-GK26-järjestelmään. Muunnetun aineiston perusteella laskettiin kiinteistöjen pinta-alat, joita verrattiin samojen kiinteistöjen Lahden järjestelmän mukaisiin pinta-aloihin. Kuviot valittiin edustamaan mahdollisimman hyvin eri kaupunginosia muunnoksen alueellisten vääristymien paljastamiseksi. Lopullisen tietokanta-muunnoksen jälkeen laskettiin kaikkien Lahden kaupungin alueella sijaitsevien kiinteistöjen pinta-alat Lahden ja ETRS-GK26

järjestelmän mukaisilla koordinaateilla ja pinta-alojen muuttumiset dokumentoitiin. Vertailussa mukana olleiden kiinteistöjen yhteenveto on esitetty taulukossa 5.5.

Taulukko 5.5 : Yhteenveto pinta-alavertailussa mukana olleista kiinteistöistä

Suure	Parametri
Kiinteistöjä yhteensä	18841 kpl.
Pienin kiinteistö	0,2 m ²
Suurin kiinteistö	n. 363 ha.
Pinta-ala keskimäärin	8091 m ²

Eräs tietokannan aineistovertailun tarkoitus oli selvittää miten pinta-alat muuttuvat eri kiinteistöjen tapauksissa. Myös eri puolilla kaupunkia sijaitsevien kiinteistöjen pinta-alojen suhteelliset muutokset pyrittiin paljastamaan. Kaaviossa 5.2 on kuvattu havaittujen pinta-alojen muutokset suhteessa alkuperäisiin pinta-aloihin.



Kaavio 5.2: Muunnettujen kiinteistöjen pinta-alojen korrelaatio suhteessa alkuperäisiin pinta-aloihin.

Kaaviossa on esitetty kaikkien testattavien kiinteistöjen pinta-alat suhteessa referenssiviivaan. Referenssiviiva kytkee peräkkäiset havainnot toisiinsa. Aineistoon poikkeamaton havainto aiheuttaa referenssiviivan poikkeamisen suorasta. Pinta-alaltaan suhteessa pieniä kiinteistöjä oli tarkisteltavista kiinteistöistä suurin osa. Tämän johdosta myös pinta-alojen muutokset pysyivät pieninä, ja ne ovat yliedustettuina kaavion vasemmassa reunassa. Mahdolliset normaalista poikkeavat pinta-alojen muutokset näkyvät poikkeamina referenssiviivasta. Kaaviosta nähdään, että pinta-alan muutokset korreloivat kiinteistöjen alkuperäisiä pinta-aloja, eikä niistä ole havaittavissa selkeästi poikkeavia arvoja alkuperäisten pinta-alojen suhteessa.

Kaaviosta 5.2 nähdään edelleen, että kiinteistöjen pinta-alamuutokset seuraavat samaa suhteellista muutosta riippumatta kiinteistön alkuperäisestä pinta-alasta. Etenkin pinta-alaltaan suurempien kiinteistöjen osalta poikkeamat paljastuisivat suurina eroina suhteessa referenssiviivaan. Taulukossa 5.6 on kuvattu ETRS-GK26 järjestelmään muunnettujen kiinteistöjen pinta-alojen muutosta suhteessa Lahden järjestelmän mukaisiin alkuperäisiin pinta-aloihin. Taulukossa on esitetty vertailuaineistona vastaavat pinta-alat käyttäen KKJ- järjestelmän kaistan 3 mukaisia koordinaatteja. KKJ aineisto on muunnettu käyttäen TKK:n laskemia muunnosparametreja. [5]

Taulukko 5.6: kiinteistöjen pinta-alojen muutos suhteessa alkuperäisiin Lahden järjestelmän mukaisiin pinta-aloihin.

Suure	ETRS-GK26	KKJ-3
Pinta-alamuutoksen vaihteluväli	0 - 27,72 m ²	0 - 449,49m ²
Pinta-alan muutos keskimäärin,	- 0,06 m ²	1 m ²
Suhteellinen pinta-alan muutos	0,182 ppm	2,916 ppm

Verrattaessa ETRS-GK26 ja KKJ kaistan 3 mukaisia pinta-alojen muutoksia havaitaan ETRS-GK26 muunnoksen aiheuttavan selvästi pienemmät pinta-alojen muutokset. Suurin syy tähän on ETRS-GK26 projektion keskimeridiaanin läheisempi sijainti verrattuna KKJ kaistan 3 keskimeridiaaniin (27°) Myös KKJ-järjestelmän heikompi sisäinen tarkkuus vaikuttaa suurempien erojen syntymiseen.

5.4.2 Maastomittauksiin perustuva tasomuunnoksen testaus

Maastomittauksiin perustuvassa testauksessa verrattiin maastossa mitattuja ja muunnettuja pisteitä sekä niiden avulla laskettujen pinta-alojen muuttumisia. Mitatut ja muunnetut pisteet esitettiin ETRS GK-26 projektiossa. Ensimmäisessä vaiheessa testattavan alueen pisteet muunnettiin Lahden järjestelmästä ETRS-GK26 järjestelmän mukaisiksi koordinaateiksi. Vastaavat pisteet mitattiin VRS-RTK laitteistolla, jonka mittaukset perustuivat Geotrim Oy:n GPS.net™ VRS-verkkoon. GPS.net™ palvelusta saatu RTK-paikkaratkaisu perustuu verkkoratkaisuun. VRS-verkon muodostamien tukiasemien sijainnit ovat puolestaan mitattu EUREF-FIN järjestelmään Geodeettisen laitoksen toimesta. Koska VRS-verkon antama EUREF-FIN paikkaratkaisu on täysin riippumaton Lahden vastaavasta muunnoksesta, antaa se hyvän vertailupohjan muunnoksen tarkistamiselle, VRS-RTK ratkaisun tarkkuuden rajoissa.

VRS-kartoitusyksikköön asetettiin taulukon 4.3 mukaiset ETRS GK-26 projektion parametrit. Koska VRS toimii suoraan EUREF -koordinaatistossa, asetetaan laitteeseen ainoastaan projektion määrittämät parametrit, valeorigojen N ja E arvot, keskimeridiaani ja mittakaava. Näin pystyttiin vertaamaan kahden riippumattoman järjestelmän tuottamia ETRS-GK26 mukaisia EUREF-koordinaatteja. Mittauksissa VRS-GPS kartoitusyksikön tasotarkkuudeksi oletettiin n. 30 mm. [9] Käytännön testaus toteutettiin mittaamalla Lahden kaupungin III-V luokan pistettä. Testin aikana mitattiin yhteensä 68 kpl kiintopisteitä. Mittauksissa kiinnitettiin erityistä huomiota mittausolosuhteisiin ja mittaukset tehtiin satelliittigeometrian kannalta parhaaseen ajankohtaan. Mittaukset toteutettiin kolmijalalta kolmena riippumattomana mittauksena, pakottamalla vastaanottimen ratkaisemaan kokonaislukutuntemattomat uudelleen jokaisen mittauksen välillä.

Mitattavat pisteet valittiin sijoittuvaksi mahdollisimman tasaisesti koko kaupungin alueelle. Suurimmat virheet havaittiin Kolavan kaupunginosan ja Nastolan välisellä alueella sijaitsevassa pisteiden 4576-4583 muodostamassa jonossa. Tässä jonossa kiintopisteiden mitattujen ja laskettujen koordinaattien tasosijainnin erotus oli n. 7 cm. Ongelman laajuus selvitettiin ja osoittautui, että ongelma rajoittui tämän yhden IV-luokan jonon alueelle. Pistelle määritettiin uudet ETRS-GK26 projektion mukaiset koordinaatit. Tämä ongelmallinen jono sijaitsee suhteellisen kaukana asutuksesta.

Jonon pisteitä ei ole tiettävästi käytetty suuressa määrin mittausten lähtöpisteinä. Pisteiden epätarkkuudet eivät ole oletettavasti siirtyneet alueen kiinteistöjen rajamerkkeihin ja muihin mitattuihin kohteisiin. Yksittäisten pisteiden osalta havaittiin myös oletettuja suurempia virheitä. Näihin syynä olivat yleensä pisteen liikkuminen. Systemaattisesti esiintyviä pisteiden epäsopivuuksia muihin kaupungin kiintopisteisiin ei havaittu. Luonnollisesti normaalista poikkeavia tasosijainnin virheitä saattaa esiintyä testauksen ulkopuolisissa pisteissä.

Mittausten perusteella voitiin kuitenkin todeta, että muunnoksen laskennallinen tarkkuus (0.0195 m) osoittautui realistiseksi. ETRS-GK26 muunnoksella muunnettu aineisto yhtyy GPS.net™ VRS- verkossa mitattuihin pisteisiin mittaustarkkuuden rajoissa.

Taulukko 5.7: VRS-mittauksiin perustuvien koordinaattivertailun yhteenveto

Suure	Δx	Δy
Suurin RMS	0,045 m	0,067 m
Pienin RMS	0,021 m	0,018 m

Maastomittaustestauksen toisessa vaiheessa takymetrillä mitattiin pinta-aloiltaan eri kokoisia, yksiselitteisiä sulkeutuvia kuvioita. Kuviot muodostuivat tonteista ja kiintopisteiden avulla keinotekoisesti muodostetuista alueista. Mitattavat kohteet valittiin eri puolilta kaupunkia, muunnoksen alueellisten vaikutuksen havaitsemiseksi.

Mittaus tapahtui maastomittausryhmän päivittäisten mittaustehtävien yhteydessä. Takymetri orientoitiin käyttäen lähtöpisteillä Lahden järjestelmän mukaisia koordinaatteja. Seuraavaksi mitattiin sulkeutuvan kuvion nurkkapisteet ja mittaukset tallennettiin. Vastaava mittaus toteutettiin käyttämällä orientoinnin lähtöpisteillä muunnettuja ETRS-GK26 arvoja. Myöhemmin laskettiin näin saadut pinta-alat ja niiden erotukset dokumentoitiin.

Taulukko 5.8: Takymetrimittauksiin perustuvien sulkeutuvien kuvioiden pinta-alojen erotukset Lahden järjestelmän ja ETRS-GK26 järjestelmän välillä.

Suure	Parametri
Mitattuja kuvioita	19
Kuvioiden pinta-alojen vaihteluväli	600 – 2300 m ²
Pinta-alamuutoksen vaihteluväli	0 – 0,11 m ²
Pinta-alan muutos keskimäärin,	- 0,09 m ²
Suhteellinen pinta-alan muutos	0,188 ppm

Taulukosta nähdään pinta-alamuutosten noudattavan tietokanta-aineistoon perustuvan vertailun tuloksia mittaustarkkuuden rajoissa. Vertailtaessa pinta-aloja ylläesitetyllä tavalla tulee kiinnittää erityistä huomiota rajamerkkien tukevuuteen ja luotettavuuteen.

6. KORKEUSKOORDINAATISTON MUUNNOS

Uuden korkeusjärjestelmän käyttöönottoa suunniteltiin Lahdessa jo tasomuunnoksen yhteydessä. Tällöin muunnoksen toteuttaminen ei ollut mahdollista, koska Suomen kansallinen realisaatio uudesta korkeusjärjestelmästä ei ollut vielä valmistunut. Muunnostyön valmistelevat toimenpiteet aloitettiin kuitenkin välittömästi tasomuunnoksen jälkeen. Ensimmäisessä vaiheessa kaupungin alueelle määritettiin kartta-aineiston päivitysprosessin yhteydessä tarkka korkeusmalli. Malli mitattiin Lahden korkeus-järjestelmässä. Korkeuskäyrien orientointia varten toteutettiin väliaikainen Lahti-N2000 korkeusmuunnos.

Toisessa vaiheessa määritettiin korkeusrunkopisteille N2000-järjestelmän mukaiset korkeudet, joiden avulla määritettiin lopullinen Lahti-N2000 muunnos. Tämän muunnoksen perusteella suoritettiin tietokannan ja pisterekisterin muuntaminen N2000 järjestelmään. Korkeusmuunnoksen työjärjestys toteutettiin tässä järjestyksessä, koska laserkeilauksen toteutusaikana Lahden alueella ei ollut riittävästi N2000 lähtöpisteitä. Myös ilmakuvakartoitus- ja laserkeilaushankkeen budjetointi asetti omat vaatimuksensa hankkeen toteutusjärjestykseen.

6.1 Vaihtoehdot paikallisen korkeusjärjestelmän N2000 muunnokselle

Jos kaupungin runkoverkon alkuperäiset havainto- ja tasoituslistaukset ovat käytettävissä, voidaan näitä käyttää uuden järjestelmän mukaisten korkeuksien laskemisessa. Käytännössä tarvitaan lisäksi myös uusia havaintoja pisteiden liikkumisen ja tuhoutumisen johdosta. Pisteiden liikkuminen johtuu yleensä perustan epästabiilisuudesta. Lisäksi pinta-alaltaan laajemmilla alueilla toteutunut epätasainen maannousu heijastuu korkeusrunkoverkon sisäiseen luotettavuuteen ja saattaa aiheuttaa uudelleen vaaituksen tarvetta. Jos korkeusrunkoverkossa epäillään esiintyvän alueellista vääristymää, voidaan ongelmaa pyrkiä ratkaisemaan kallistamalla vertaustasoa suhteessa järjestelmän sisäisiin korkeusarvojen poikkeamiin. Yksinkertaisimmillaan riittää koko muunnosalueen yhdensuuntainen kallistus. Tätä menetelmää voidaan soveltaa esimerkiksi rajatulla alueella havaittuun maannousun eliminointiin.

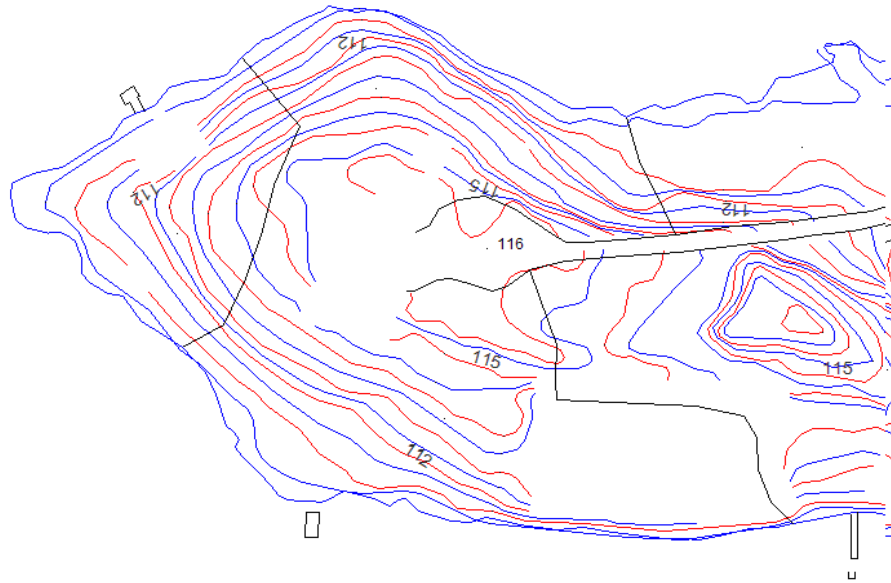
Havaittaessa muunnosalueella epähomogeenisuutta voidaan ongelmaa pyrkiä ratkaisemaan muunnosalueen kolmioinnoin avulla. Kolmioinnissa alue jaetaan tasasivuisiin kolmioihin, joiden kärkipisteet määräävät kolmion sisällä käytettävän korkeusmuunnoksen. Kolmiointi voi perustua ns. TIN-kolmiointiin tai affiiniseen kolmiointiin. Kolmioinnin onnistuminen edellyttää tarkkaa korkeusaineiston läpikäymistä. Aineiston läpikäynnin perusteella määritetään muunnoskolmioiden sijainnit kärkipisteiden avulla. Koska kolmiointi määrää alueellisesti käytettävät muunnokset, kolmioiden määrittäminen vaatii kaikkien muunnospisteiden läpikäyntiä ja riittävää testausta. Jos kolmioita muodostuu lukumääräisesti liikaa ja niiden määrittämisen muunnosalueiden pinta-alat ovat pienet, aineiston hallinta käytännön työtehtävissä muodostuu haasteelliseksi. Jos runkoverkko on riittävän korruptoitunut, tullaan helposti tilanteeseen, jossa verkon uudelleen mittaus ja tasoitus jää ainoaksi kannattavaksi vaihtoehdoksi.

Yksinkertaisimmillaan korkeusmuunnos voidaan suorittaa muuntamalla vanhan järjestelmän mukaisille korkeuskiintopisteille uuden järjestelmän mukaiset korkeudet ja määrittää järjestelmien välinen korkeusero. Tässä tapauksessa vaaituksia ei suoriteta ollenkaan, vaan muunnos perustuu rekistereistä saatuihin korkeusarvoihin ja niiden perusteella laskettuun vakiokorjaukseen. Näin toteutettu korkeusmuunnos ei sisällä

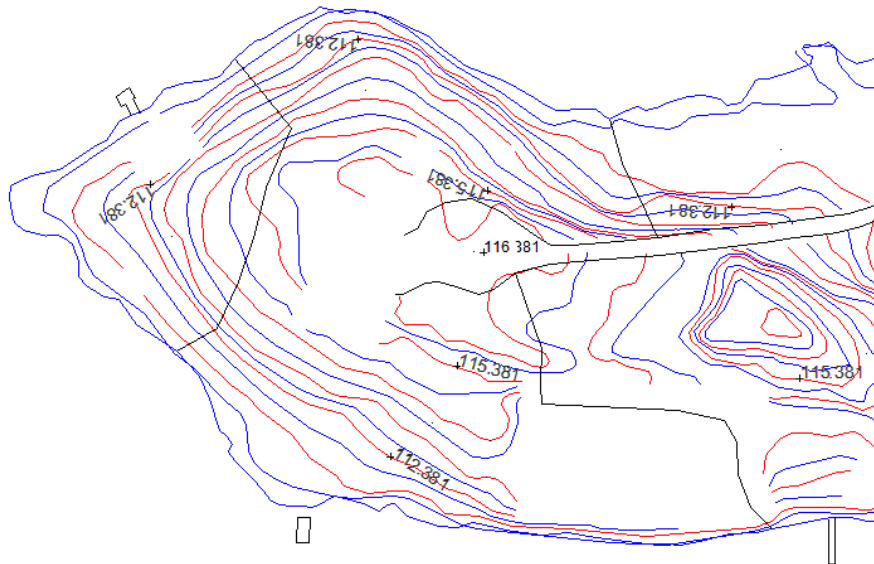
kontrollia ollenkaan eikä ole lähtökohtaisesti luotettava. Tätä voidaan soveltaa hyvin pienellä alueella tai projektikohtaisena ratkaisuna käyttäen erityistä varovaisuutta. Jos rekistereissä olevien muunnospisteiden korkeudet perustuvat osittainkin ilman vaaitusta suoritettuun muunnokseen, malli jättää huomioimatta mahdolliset pisteiden liikkumiset. Toimintamallia voidaan soveltaa rajatulla alueilla tai projektikohtaisessa työskentelyssä käyttämällä riittävää varmistusta muunnoksen oikeellisuudesta. Jos uuden järjestelmän mukaiset pisteet on vaaittu ja pisteitä sijaitsee edustavasti muunnosalueella, voidaan näin toteutetulla muunnoksella saavuttaa hyvä lopputulos. Tästä saadaan esimerkki vertaamalla tässä työssä esitettyä korkeusmallin orientointia varten laskettua korkeusmuunnosta lopulliseen, vaaituksiin perustuvaan muunnokseen. Jos vaaituksia ei kuitenkaan suoriteta, jää runkoverkon tila ja luotettavuus arvoitukseksi. Lahden kaupungin suhteellisen pienen maapinta-alan vuoksi epätasainen maanousu ei ollut odotettavaa. Korkeusrunkoverkossa ei ollut tiedossa alueellisia vääristymiä. Näiden seikkojen johdosta korkeusmuunnos suunniteltiin alusta lähtien tehtäväksi järjestelmien välisellä vakiokorjauksella. Jos muunnosprosessin aikana olisi ilmennyt alueellisia vääristymiä, varauduttiin suorittamaan lisähavaintoja ja tarvittaessa runko- tai osaverkon uudelleen tasoitus.

6.2 Maastomallia varten määritetty väliaikainen korkeusmuunnos

Siirryttäessä uuteen korkeusjärjestelmään tulee tietokannassa ja karttatuotteissa esitettävien korkeuskäyrien tasosijaintia muuttaa siten, että korkeuskäyrien arvot saavat havainnollisen arvon. Havainnollisella arvolla tarkoitetaan yleensä tasametristä esitystä. Jos käyrien tasosijainti pidetään vanhan järjestelmän mukaisena, muuttuvat käyrien korkeusarvot alkuperäisen ja uuden korkeusjärjestelmän erotusta vastaavan lukeman verran. Tämä ei ole kovinkaan havainnollista, joten käyrien tasosijainti tulee muuttaa siten, että uuden järjestelmän mukaiset tasametriset korkeusarvot toteutuvat käyrällä. Kuvissa 6.1 ja 6.2 on esitetty korkeuskäyrien korkeuslukemia Lahden ja N2000-korkeusjärjestelmien tapauksissa. Korkeuskäyrien tasosijainnin muuttaminen vastaamaan tasametreistä jaotusta voidaan toteuttaa interpoloimalla alkuperäisiä käyrien tasosijainteja suhteessa korkeuslukemaan. Jos käytettävissä ei ole ajantasaista maastomallia on näin toteutettu käyrien uudelleenpiirron tarkkuusvaatimuksen täyttyminen kyseenalaista etenkin kaavoitusmittausohjeiden [11] tarkkuusluokissa 1 ja 2.



Kuva 6.1: Lahden korkeusjärjestelmän mukaiset korkeuskäyrien korkeuslukemat esimerkikohteessa



Kuva 6.2: Korkeuskäyrien korkeuslukemat N2000 järjestelmässä ilman käyrien tasosijainnin korjausta esimerkikohteessa.

Laatikko 6.1 Kaavoitusmittausohjeiden vaatimukset korkeuskäyrien tarkkuudelle.

Korkeustarkkuus

Korkeuskäyrällä olevan pisteen tai numeerisesta korkeusmallista interpoloidun pisteen korkeuskeskivirhe (dh) saa olla enintään

$$dh = 0.3 \text{ m} + 1.0 \text{ m} * \tan v \text{ mittausluokka 1}$$

$$dh = 0.5 \text{ m} + 2.0 \text{ m} * \tan v \text{ mittausluokka 2}$$

$$dh = 1.0 \text{ m} + 5.0 \text{ m} * \tan v \text{ mittausluokka 3}$$

missä v on maaston kaltevuus

Erittäin vaikeassa rikkonaisessa maastossa keskivirhe saa olla kaksinkertainen.

Kartassa esitetyn maanpinnan korkeusluvun keskivirhe (dh) saa olla enintään

$$dh = 0.3 \text{ m} \text{ mittausluokka 1}$$

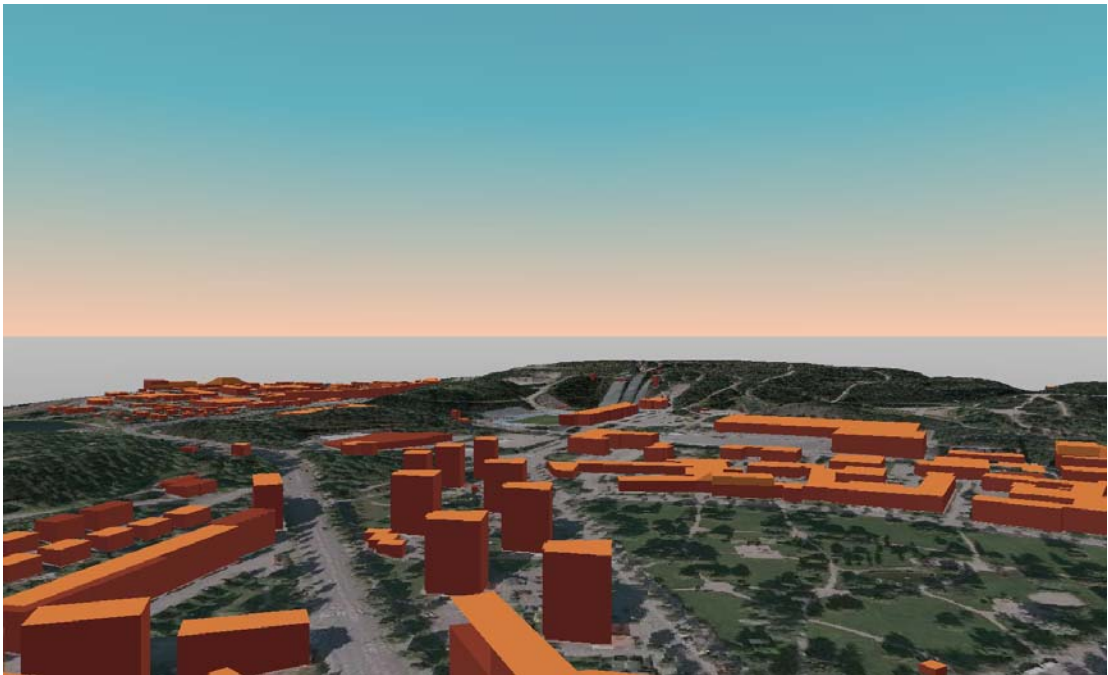
$$dh = 0.5 \text{ m} \text{ mittausluokka 2}$$

$$dh = 1.0 \text{ m} \text{ mittausluokka 3}$$

Lahden kaupungin kartta-aineisto on luotu useassa eri vaiheessa pitkällä aikavälillä. Kartta-aineiston osalta suurimmat puutteet olivat juuri kohteiden korkeusarvojen epätäydellisyydessä. Lisäksi kaupunki sijaitsee käytännössä kokonaan kaavoitusmittausohjeiden [11] mukaisen tarkimman mittausluokan 1 alueella. Näiden seikkojen perusteella päädyttiin määrittämään korkeusmalli koko kaupungin alueelle. Samassa yhteydessä toteutettiin myös pohjakartan ajantasaistaminen.

Kantakartan päivitys ja maastomallin muodostaminen koko kaupungin alueelta toteutettiin vuosien 2007 ja 2009 välisenä aikana. Vuonna 2007 ilmakeilaus ja laserkeilaus toteutettiin eteläisen Lahden osalta ja 2008 pohjoisen Lahden osalta. Hankkeen vastaavana konsulttina toimi Sito tietotekniikka Oy, keilausten suorittivat alikonsultteina Saksalainen Topscan GmbH ja Blom kartta Oy. Työ perustui ilmakeilauksen ja helikopterista toteutetun laserkeilausten yhdistämiseen.

Keilauksen pistetiheytenä käytettiin keskimäärin 10 pistettä neliömetrillä. Tällä saavutettiin riittävä pistetiheys kaupunkialueen tarkan maastomallin muodostamiseen. Saavutettu suhteellinen absoluuttinen korkeustarkkuus on n. 10 cm. Laserkeilauksen perusteella muodostettiin maastomalli, jossa korkeuskäyrät sijoitettiin tasametrisele korkeusjaotukselle. Maastomallin laserkeilausaineistoa hyödynnettiin lisäksi mm. Porvoonjoen tulvamallinnuksessa sekä kaupunkialueen melumallinnuksen simuloimisessa.



Kuva 6.3: Osa laserkeilausaineistosta muodostettua keskustan rakennusmallia

Ilmakuvauksen ja laserkeilauksen aloituksen aikana, vuonna 2006 maanmittauslaitos ei ollut määrittänyt kaikille Lahden kaupungin alueella sijaitseville kiintopisteilleen N2000-korkeuksia. Tämä ratkaistiin laskemalla väliaikainen N2000-korkeusmuunnos, jonka perusteella Lahden korkeusjärjestelmässä suoritettun laserkeilauksen perusteella lasketut korkeuskäyrät muutettiin N2000-järjestelmään. N2000-korkeuksien määrittys perustuu yhteisiin 29:ään Lahden kaupungin alueella sijaitsevaan korkeuskiintopisteeseen, joilla oli Lahden korkeusjärjestelmän ja N2000:n mukaiset korkeudet. Järjestelmien välinen korkeusero laskettiin pisteiden korkeuserotuksista painotettuna keskiarvona. Pääsääntöisesti pisteiden Lahti-N2000 korkeuserot pysyivät pieninä. Lahden ja N2000 järjestelmien korkeuseroksi saatiin 0.381 m.

Pisteen 603410 osalta havaittiin poikkeavan suuri Lahti-N2000 korkeus-ero, 0,461 m. Maanmittauslaitoksen vaaituksissa ilmeni pisteen N2000 korkeuden olevan oikein. Lahden korkeusjärjestelmän virheellinen korkeusarvo pisteelle 603410 osoittautui johtuvan Lahden järjestelmän korkeuslukeman virheellisestä tallennuksesta. Liitteessä 2 on kuvattu väliaikaisen korkeusmuunnoksen määrittämät pisteet sekä Lahti-N2000 korkeuserot. Muunnos laskettiin luokkien I ja II pisteiden avulla. Näin määritettyä väliaikaista N2000 korkeusjärjestelmää käytettiin vain laserkeilauksen lähtötasona. Saavutettu tarkkuus katsottiin riittäväksi kaavoitusmittausohjeiden [11] mukaiseen korkeuskäyrien muodostamisen tarkkuuteen. Lopullinen Lahden ja N2000-korkeusjärjestelmän välinen ero määräytyi maanmittauslaitoksen kiintopisteiden vaaituksen perusteella. Tästä kerrotaan kohdassa 6.3 kenttämittaukset.

6.3 Kenttämittaukset

Suunniteltaessa lopullisen ja mahdollisimman tarkan Lahden ja N2000- korkeusjärjestelmien välisen korkeuseron määrittämistä päädyttiin muunnospisteet vaatsemaan. Vaaituksella määritetään verkon muunnospisteille N2000-korkeudet. Koska maanmittauslaitoksella katsottiin olevan parhaat edellytykset vaativan vaaitustyön toteuttamiseksi, valittiin heidät työn suorittajaksi. Vaaitus suoritettiin maanmittauslaitoksen maastokauden päätteeksi syyskuussa 2009.

6.3.1 Kojeet

Vaaitushavainnot toteutettiin Leica DNA03 digitaalisella vaaituskojeella sekä Nedo-invar viivakoodilatoilla.

6.3.2 Vaaituksen lähtö- ja muunnospisteet.

Vaaituksen lähtöpisteinä käytettiin Geodeettisen laitoksen 1. luokan vaaituspisteitä 76001, LKP270, 82102, 440 ja 62033, maanmittauslaitoksen 2. luokan vaaituspisteitä 12049 ja 5007 ja maanmittauslaitoksen 3. luokan vaaituspisteitä 902346 ja 041139. Verkossa on laskettavana pisteenä mukana myös Lahti-Loviisa-radan varressa sijaitseva geodeettisen laitoksen vaaituspiste 83120, jolle geodeettinen laitos ei ole

julkaissut N2000-korkeutta. Lähtöpisteiden sijoittuminen muunnosalueelle asetti vaaitusverkon suunnittelun reunaehdot. Vaaituslinjoista tehtiin suunnitelma yhdessä Maanmittauslaitoksen kanssa. Suunnitelman perusteella kaupungin mittausryhmä inventoi suunnitelman mukaiset korkeuspisteet. Pisteiden täyttäessä sille asetetut kriteerit se hyväksyttiin lopulliseen vaaitukseen. Mittaus-ryhmä suoritti pisteen näkyvöittämissä sekä tarkisti sidontamitat ja sidontamerkit. Vaaittavina muunnospisteinä pyrittiin käyttämään Lahden kaupungin I-luokan pisteitä. Nopeasti kuitenkin selvisi, ettei vaaituslinjoja voitu perustaa kokonaan I-luokan pisteiden varaan niiden vähäisen lukumääränsä vuoksi. Tämän johdosta suurin osa verkon pisteistä muodostui II-luokan korkeuspisteistä.

Vaaitukseen mukaan otettavilta pisteiltä edellytettiin lähtökohtaisesti kallioperustusta. Jos tämä ei ollut mahdollista, voitiin käyttää silta- ja sokkelipisteitä, mikäli alusta oli riittävän hyväkuntoinen. Sokkelipisteiden osalta pyrittiin noudattamaan varovaisuutta, joten perustusten kunnon lisäksi niissä huomioitiin rakennuksen ikä. Alle 10 vuotta vanhoihin rakennuksiin perustettuja pisteitä ei käytetty rakenteiden mahdollisen painumisen vuoksi. Vaaituslinjojen sijainti on kuvattu liitteessä 3.

6.3.3 Havaintotyöt

Vaaitus suoritettiin Uudenmaan maanmittaustoimiston toimesta. Vaaitusryhmän vastuuhenkilönä toimi Matti Turunen ja vaaituksen tasoituslaskennan toteutti Matti Musto. Vaaitustyö suoritettiin soveltamalla Maanmittauslaitoksen 3.luokan perusvaaituksen käytäntöä. Vaaitus perustuu yksisuuntaisiin havaintoihin suljetuilla vaaituslinjoilla. Vaaitusryhmän kokoonpano oli havaitsija ja kaksi lattamiestä. Vaaitushavainnot toteutettiin 7.9.-24.9.2009 välisenä aikana. Vaaituksessa mitattiin N2000 korkeudet yhteensä 106:lle Lahden I ja II luokan korkeuskiintopisteille. Vaaituslenkkien yhteispituus oli n. 64 km. [16]

6.3.4 Laskentaohjelmisto

Laskenta toteutettiin maanmittauslaitoksen vaaitusverkko-ohjelmistolla. Vaaitusverkko on maanmittauslaitoksen sisäiseen käyttöön kehitetty vaaitushavaintojen tasoitusohjelmisto, jossa tasoitus toteutetaan virheyhtälötasoituksena.

6.3.5 Havaintojen laskenta

Vaaituksen tavoitetarkkuutena noudatettiin sulkuvirherajaa, joka lasketaan kaavalla:

$$w_{\max} = 10 \text{ mm} / \sqrt{S} \quad (13)$$

missä w_{\max} on suurin sallittu sulkuvirhe ja S on vaaituslinjan pituus kilometreinä

Sulkuvirherajana käytettiin 10 mm, mikä on puolet maanmittauslaitoksen ”ohjeet perusvaaitusten maastotyöohjeen” [17] mukaisesta III-luokan perusvaaituksen 20 mm:n sulkuvirherajasta. Ohjeessa kuvataan kriteerit vaaitusten hyväksymiseksi tarkkuusluokittain. N2000-vaaitusten osalta sulkuvirherajaa on tiukennettu normaalista, koska on haluttu varmistaa uuden korkeusjärjestelmän mahdollisimman laadukas toteutus. Tiukennettua 3. luokan sulkuvirherajaa on käytetty lisäksi vanhojen havaintojen hyväksymisessä N2000-tasoituksissa.

Tasoituksen suurin sulkuvirhe havaittiin välillä Ahtiala – Takkula sulkuvirheen ollessa 9.4 mm 6 km:llä. Suhteellisesti suurin sulkuvirhe havaittiin puolestaan osuudella rautatieasema – voimala sulkuvirheen ollessa 6.4 mm 2 km:llä. Vaaituslinjan rautatieasema – voimala sulkuvirhe puolittuisi, jos voimalan perustassa olevaa 2. luokan pulttia 12049 pidettäisiin laskettavana pisteinä, mikä osoittaisi pisteen vajonneen 3 mm edellisestä vaaituksesta 1971. Tällaista johtopäätöstä ei voi tehdä pelkästään näillä havainnoilla, joten 2. luokan tasoituksesta saatua korkeutta on tässä tasoituksessa käytetty lähtökorkeutena. Vaaituksessa on käytetty monumentoimatonta apupistettä, joka esiintyy laskennassa solmupisteenä numero X999.

Laskennassa oli tarkoitus käyttää myös vanhaa liitoshavaintoa Geodeettisen laitoksen pisteeseen nro 356, mutta laskentavaiheessa osoittautui, että kiintopiste on uudistettu

aikaisempien havaintojen jälkeen ja sittemmin myös tuhoutunut. Havainnot päätettiin korvata vaaitsemalla uusi liitos pisteeseen nro 62033. Okeroisissa omakotitalon perustassa sijaitseva pultti 554 sen sijaan on selvästi vajonnut yli 10 mm edellisestä korkeuspisteen vaaituksesta, eli 50 vuodessa. Tasoituksen ja laskennat suoritti Matti Musto Uudenmaan maanmittaustoimistosta. Tasoitusraportti liitteessä 7.

6.4 Lahti - N2000 korkeusmuunnoksen laskenta

Tasoituksen perusteella muunnospisteille saatujen N2000-korkeuksien ja Lahden järjestelmän väliset korkeuserot laskettiin vähentämällä jokaisen muunnospisteen N2000-korkeudesta Lahden järjestelmän mukainen korkeus. Saaduista korkeusjärjestelmien välisistä pistekohtaisista korkeuseroista laskettiin keskiarvo ja keskihajonta. Keskiarvon laskennassa tulee huomioida ns. huonojen havaintojen vaikutuksen eliminoiminen. Tämä toteutettiin käyttämällä 3-sigma testiä, jolloin saatujen korkeuserojen hylkäysraja määritettiin kaavalla:

$$T_{\max} = 3 \cdot \pm \sigma \quad (14)$$

missä T_{\max} on suurin sallittu korkeuserojen hajonta ja σ on keskihajonta.

Taulukko 6.1 Korkeusmuunnoksen tunnusluvut.

Suure	Parametri
Muunnospisteitä	94 kpl.
Hylättyjä muunnospisteitä ($> 3\sigma$)	8 kpl.
Keskiarvo	0,382 m.
Keskihajonta (σ)	0,005 m
Max Δh N2000-Lahti	0,397 m.
Min Δh N2000-Lahti	0,367 m.

6.4.1 Poikkeavat havainnot

Pisteen 603410 osalta havaittiin jo laserkeilauksen lähtötasoa varten määritetyssä korkeuslaskennassa poikkeavan suuri N2000-Lahti korkeusjärjestelmien erotus. Tämän pisteen osalta järjestelmien välinen korkeusero oli 0,444 m muiden pisteiden avulla lasketun keskiarvon ollessa 0,382 m. Koska kyseinen piste sopi hyvin vaaitus-

havaintoihin sekä tasoitukseen, virhe ei voinut olla peräisin maanmittaus-laitoksen korkeusrunkoverkosta. Jo aikaisemmassa vaiheessa ilmeni, että erotus vastaa lähes Lahden ja N43 järjestelmän välistä korkeuseroa, joka on 0,054 m. N2000-muunnoksen keskiarvon ja pisteen 603410 N2000-Lahti erotuksen ollessa 0,062 m. Kun tämä korjaus otettiin huomioon, pisteen korkeusarvo vastaisi muiden vaaituksessa mukana olleiden pisteiden Lahden ja N2000 järjestelmien välisiä korkeuseroja. Vahvistus sille, että tietokantaan oli aikoinaan syötetty pisteen 603410 osalta virheellisesti N43 korkeus, saatiin vanhasta pisteselityskortista, jossa oli ilmoitettu käytettävän N43 järjestelmää pisteen korkeuden ilmoittamisessa. Sama arvo oli myös pisteellä nykyisessä tietokannassa.

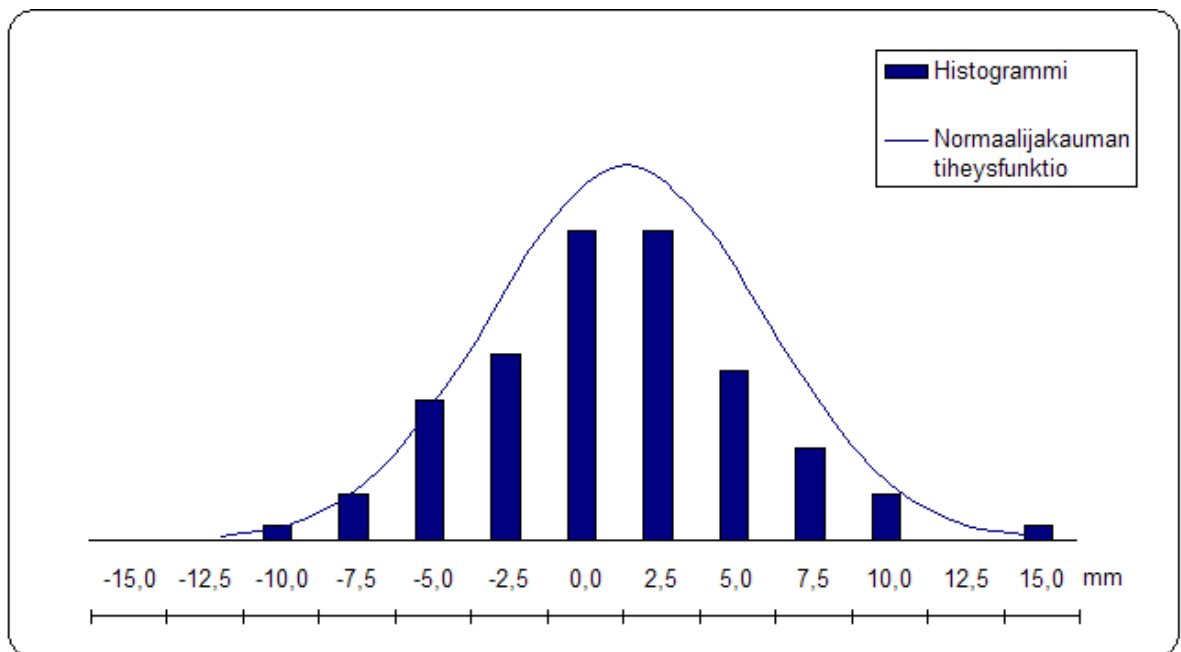
6.4.2 Korkeusmuunnoksen tarkastelua

N2000-Lahti muunnospisteiden korkeuserojen mukaan laskettujen keskiarvon sekä keskihajonnan perusteella laadittiin aineistosta normaalijakauman kuvaaja. Normaalijakauma kuvaa järjestelmien välisen korkeuserojen tilastollisen todennäköisyysjakauman. Normaalijakaumaa pidetään odotusarvona havaintojen jakautumiselle.

Samaan kuvaajaan liitettiin myös havaintojen perusteella laskettu histogrammi, joka kuvaa todellisia muunnospistekohtaisia korkeusjärjestelmien välisiä korkeuseroja ja niiden luokittaista esiintymistä. Histogrammissa korkeuserot on jaettu tasavälisiin luokkiin keskihajonnan perusteella. Histogrammin havainnollistamiseksi luokka esitetään välillä, joka vastaa keskihajonnan puolikasta. (2,5 mm) Frekvenssinä ilmoitetaan kyseiseen luokkaan kuuluvien korkeuserojen esiintymiskerrat. Korkeusero sisällytetään tiettyyn luokkaan, jos korkeusero on suurempi kuin alin ehto ja yhtä suuri tai pienempi kuin tietoluokan ylin ehto. Luokasta poistettu vähintään kolminkertaisesti keskihajonnan ylittävät havainnot.

Taulukko 6.2: Histogrammin tuloksena oleva luokka, eli havaintoväli ja sen esiintymiskerrat, eli frekvenssi.

<i>Luokka</i>	<i>Frekvenssi</i>
15	1
12,5	0
10	3
7,5	6
5	11
2,5	20
0	20
-2,5	12
-5	8
-7,5	3
-10	1
-12,5	0
-15	0



Kuvaaja 6.1: N2000-Lahti korkeuserojen normaalijakauma.

Tarkasteltaessa kuvaajaa voidaan todeta histogrammin seuraavan normaalijakaumaa odotetusti. Keskiarvoa ylempänä olevat luokka (+2,5mm) on vastaavaa keskiarvoa alempaa luokkaan suurempi. Looginen selitys tälle on maannousun vaikutus muunnospisteisiin. Toisaalta ylempien luokkien korostuminen rajoittuu tähän luokkaan

ja muut luokat noudattavat normaalijakaumaa kohtuullisen tarkasti. Näin tiheällä luokkavälillä myös havaintojen määritystarkkuus voi osaltaan selittää luokan (+2,5 mm) yliedustavuuden.

Muunnospistekohtaisten korkeuserojen vaihteluvälin selvittämiseksi muunnospisteiden järjestelmien väliset korkeuserot kuvattiin teemakartalla, josta saadaan helposti selville, miten korkeuserot esiintyvät muunnosalueella. Teemakartalla esitetään pistekohtainen korkeusero suhteessa keskiarvoon. Teemakartta on esitetty liitteessä 4, josta voidaan todeta, että keskiarvon kolminkertaisen keskihajonnan ylityksen perusteella hylätyt pisteet (+15-40mm) ovat jakautuneet muunnosalueelle epäsäännöllisesti. Keskiarvon ylityksen perusteella hylättyjä pisteitä on ainoastaan yksi. Luokan 0 – (-5mm) pisteet ovat myös jakautuneet tasaisesti muunnosalueelle.

Lukumääräisesti eniten pisteitä esiintyy luokassa -5-5mm (62 kpl) mikä on normaalijakautuneen aineiston tapauksessa oletettavaakin. Tässä luokassa pisteiden esiintyminen muunnosalueella on edelleen homogeenista, eikä niiden jakautumisessa ole systemaattisuutta. Luokan +5-10mm pisteiden jakautuminen painottuu enemmän eteläiseen osaan muunnosaluetta. Toisaalta eteläisessä osassa esiintyy myös -10-(-5mm) luokan pisteitä.

Suurin säännönmukainen poikkeama keskiarvosta löytyy välillä Jokimaa-Renkomäki. Tässä linjassa on yhteensä 15 pistettä, joista 8 kpl. sisältyy luokkaan + 5-10 mm. ja 2 kpl. luokkaan + 0-0.005 mm. Tämän perusteella voitaisiin olettaa verkon tässä osassa olevan systemaattisista virhettä. Virheen perusteella verkon eteläisin osa on 5 – 10 mm. verkon muuta osaa ylempänä. Kuitenkin samasta jonosta löytyy myös yksi luokan -10-(-5mm) piste sekä neljä luokan 0-(-5mm) pistettä. Tämän perusteella ei voida yksikäsitteisesti todentaa verkon tässä osassa olevan systemaattista virhettä.



Kuva 6.4, Jokimaa-Renkomäki vaaituslinja. Punaiset symbolit kuvaavat muunnospisteiden ylittävän ja siniset alittavan Lahti-N2000 korkeuseron keskiarvon. Symbolin koko kuvaa eron suuruutta, kts. liite 4.

Muunnospisteiden perusteella korkeusjärjestelmästä ei ole havaittavissa selkeästi alueellista poikkeamaa. Etenkin eteläisessä verkon osassa on viitteitä alueellisen poikkeavuuden olemassaolosta. Tämä ei kuitenkaan ole yksikäsitteisesti todistettavissa. Muunnospisteiden lukumäärä on tämän alueen tarkastelussa suhteellisen pieni. Lisäksi muunnospisteiden joukossa esiintyy myös keskiarvon ylittäviä pisteitä. Tämän johdosta alueen pisteitä ei muunnettu erillisellä muunnoksella, vaan muunnos koko kaupungin alueella perustui vakiokorjaukseen. Vakiokorjaus perustuu muunnospisteiden perusteella laskettuun keskiarvoon, joka on +382 mm. suhteessa Lahden alkuperäiseen korkeus-järjestelmään.

7. EUREF-FIN JA N2000 JÄRJESTELMIEN KÄYTTÖÖNOTTO

7.1 Järjestelmävaihdoksista tiedottaminen

Taso- ja korkeuskoordinaatistojen vaihtamisesta tiedottaminen on tärkeää eri järjestelmistä johtuvien ongelmatilanteiden välttämiseksi. Suurimmat riskit syntyvät heti uusien taso- tai korkeusjärjestelmien käyttöönoton jälkeen, jolloin loppukäyttäjillä on käytössä alkuperäisen ja uuden järjestelmän mukaista aineistoa. Käytännössä vanhan järjestelmän mukaista aineistoa tulee esiintymään pitkällä aikavälillä uuden järjestelmän käyttöönoton jälkeen.

7.1.1 Tasojärjestelmän muunnoksesta tiedottaminen

Tasojärjestelmämuunnoksesta tiedottaminen toteutettiin vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa kaupungin internetsivuille koottiin tiedote uuden järjestelmän käyttöönotosta. Lisäksi Teknisen- ja ympäristötoimen tiedotuslehteen laadittiin artikkeli, jossa kuvataan uuden järjestelmän käyttöönoton aikataulu ja vaikutukset. Tiedottaminen kaupungin oman henkilökunnan ja kaupunkikonsernin yritysten osalta on keskeisessä roolissa käyttöönoton sujumiseksi. Tasomuunnoksen tiedottamista tehostettiin kohdennetuilla yritys- ja toimialakohtaisilla tiedotustilaisuuksilla, jotka pidettiin muutama kuukausi ennen EUREF- järjestelmän käyttöönottoa. Tilaisuuksissa kerrottiin uuden koordinaattijärjestelmän perusteet sekä käytännön vaikutuksista toimialoille. Yrityskohtaiset tiedotustilaisuudet pidettiin kaupunkikonserniin kuuluvien yritysten ja liikelaitosten kanssa: Lahti Energia Oy, Lahti Vesi Oy ja Kuntatekniikan LL. Näiden lisäksi erillinen tiedotustilaisuus järjestettiin Teknisen- ja ympäristötoimen tulosityksikoista rakennusvalvonnalle ja kunnallistekniikalle.

Paikallisille merkittävälle insinööritoimistoille ja muille paikkatietoaineistojen parissa työskenteleville yrityksille lähetettiin myös tiedotteet postitse. Useat esitelmät paikkatieto- ja maanmittausalan koulutustilaisuuksissa toimivat hyvänä tiedotuskanavana ulkopuolisten toimijoiden suuntaan. Hyväksi tiedotuskanavaksi osoittautuivat myös eri maanmittausalan julkaisuissa esillä olleet artikkelit. Esitelmien ja artikkeleiden perusteella Lahden muunnostyö herätti suurta kiinnostusta useiden muunnostyötä suunnittelevien kuntien keskuudessa ja kuntien edustajat ovat käyneet Lahdessa tutustumassa muunnoksen toteutukseen. Uuden järjestelmän käyttöönotosta annettiin tiedote myös paikallisen radion välityksellä.

7.1.2 Korkeusmuunnoksesta tiedottaminen

Korkeusmuunnoksesta tiedottamisessa noudatettiin pääasiassa tasomuunnoksesta saatuja kokemuksia. Korkeusmuunnos koskettaa kuitenkin suureksi osaksi eri käyttäjäkuntaa kuin tasomuunnos. Korkeuksia tarvitaan talon- ja maanrakennuksessa tasosijaintia huomattavasti laajemmin lisäksi käyttäjäkunnan ammattitaidossa ja käytännön rutiineissa on suurempaa vaihtelua. Tästä johtuen korkeusmuunnoksen tiedottamista kohdennettiin koskemaan enemmän yksityisten rakentajia sekä

maanrakennuksen parissa työskenteleviä yrityksiä. Rakennusluvan yhteydessä jaetaan N2000-käyttöönoton jälkeisen ensimmäisen vuoden ajan erillinen tiedote. Lisäksi lahtelaisille maanrakennusalan yrityksille lähetettiin vastaava tiedote sähköpostin välityksellä. Muunnoksesta pidettiin keskitetty tiedotustilaisuus kaupunkikonsernin yhtiöille ja teknisen ja ympäristötoimen tulosyksiköille. Lisäksi muunnoksesta lähetettiin kirjeet Lahden alueella paikkatieto- ja mittausalan yrityksille, joissa yritysten pyynnöstä pidettiin lisäksi kohdennettuja tiedotustilaisuuksia korkeusjärjestelmän käyttöönoton vaikutuksista. Korkeusmuunnoksesta laadittiin virallinen tiedote, joka kaupungin ilmoitustaulun nähtävillä olon lisäksi julkaistiin Etelä-Suomen sanomissa. Tiedotukseksi voidaan katsoa lisäksi paikallisradion haastattelu ja maanmittausalan ammattilehtiin kirjoitetut artikkelit.

7.2 EUREF-FIN käyttöönotto

Tietokannan muunnosajo toteutettiin 17.11.2005. Muunnettu tietokanta oli käytössä seuraavana maanantaina 21.11.2005. Muunnosajosta johtuva tietokannan käyttökatos oli näin ollen 2 työpäivää. Varsinainen muunnosajo kesti 5 tuntia ja karttakohteiden läpikäynti ja tarkistaminen toteutettiin 18.11 ja 20.11 välisenä aikana. Muunnosajossa korvattiin vanha tietokanta ETRS-GK26 tasokoordinaatistoon perustuvalla tietokannalla. Uuden tietokannan korkeusjärjestelmänä käytettiin edelleen vanhaa Lahden korkeusjärjestelmää. Uusi N2000 korkeusjärjestelmää ei tässä vaiheessa vielä ollut realisoitu. Uusi tietokanta konvertoitiin Tekla Oyj:n toimesta ja karttakohteiden läpikäynti suoritettiin maankäytön paikkatietopalvelujen toimesta. Samalla tarkistettiin kiinteistöjen pinta-alojen muutokset suhteessa alkuperäisen järjestelmän mukaisiin pinta-aloihin.

Lisäksi rasterikartat, ortokuvat, ja muut rasteri- ja kuvamuotoiset aineistot konvertoitiin uuden järjestelmän mukaiseksi sekä vektoriaineistosta tuotetut taustakartat muodostettiin uudelleen. Myös tarvittavat määritykset ja muutokset toteutettiin Teklan Webmap ja Internet karttapalvelu-tuotteisiin. Alkuperäisestä Lahden tasojärjestelmän mukaisesta tietokannasta otettiin varmuuskopio uuden järjestelmän käyttöönoton yhteydessä mahdollisesti ilmenneiden ylitsepääsemättömien ongelmien varalle. Vanhalle kannan käytölle ei ilmennyt tarvetta ja uusi tietokanta voitiin ottaa tuotantokäyttöön kahden käyttökätköpäivän jälkeen.

Vuoden 2006 alusta tasomuunnoksen vaativat määritykset toteutettiin kaupungin Teklan Xstreet ohjelmistolle, jota käytetään katusuunnitelmien laatimiseen ja pohjatutkimusrekisterin ylläpitoon. Samassa yhteydessä määritykset toteutettiin myös katurekisterille. Lahden vesilaitoksen, Lahti Aqua Oy:n käyttämän Xpipe verkostonhallintaohjelmiston vaativat määritykset toteutettiin tässä yhteydessä. Xstreet ja Xpipe ohjelmat käyttävät karttakohteiden lukemiseen Xcity –tietokantaa. Siirtymävaiheessa, ennen ohjelmistoihin tehtyä ETRS-GK26 määritystä, näiden ohjelmien tarvitsema tiedonsiirto toteutettiin väliaikaisella Lahti-ETRS-GK26 muunnoksella.

Vastaavaa käytäntöä sovellettiin katurekisterin yhteydessä. Muunnos aiheuttaa tietokantakohteille myös muita vaikutuksia kuin pelkkien koordinaattiarvojen muuttumisen. Paikkatietojärjestelmässä kaikkien tietokantakohteiden päivityspäivämäärät muuttuvat oletuksena muunnosajankohtaa vastaavaksi. Tietokantakohteiden luontipäivämääriä eikä kohteiden luoja muuttettu muunnoksen suorituksen yhteydessä, vaan ne pidettiin alkuperäisen tilanteen mukaisina. Vanhan ja uuden koordinaattijärjestelmän mukaisten karttaprojektoiden välinen suuntaero vaikuttaa myös tilanteissa, joissa symbolien ja tekstien orientointi on sidottu vakiosuuntaan. Lahden järjestelmän ja ETRS-GK26 järjestelmien välinen suuntaero on 1,9 gon. Tekstien ja symbolien kiertokulmat palautettiin alkuperäisen tilanteen mukaiseksi tekemällä niiden orientointiin suuntaeroa vastaava korjaus. Nolla-suuntaisten symbolien osalta suuntakorjausta ei luonnollisestikaan tehty.

7.2.1 Vaikutukset ulkopuolisiin prosesseihin

Muunnetun aineiston päivityksestä ja aineiston tarkistuksesta johtuvan tietokannan käyttökatkon aikana uusien kohteiden tallennus ja tietokannan lukeminen ei ollut mahdollista. Käyttökatkon johdosta myös yhteys kiinteistötietojärjestelmään (KTJ) ja rakennus- ja huoneistorekisteriin (RHR) oli katkaistuna. Uusia kiinteistötoimituksia ei voitu käyttökatkon aikana rekisteröidä, samoin rakennuslupaa vaativien rakennusten ja huoneistojen tietojen päivitys ei ollut mahdollista. Koska käyttökatkos toteutui suunnitellussa ajassa, ei tästä muodostunut ongelmia käytännön työn kannalta. Jos tietokannassa olisi muunnoksen tarkistustyössä havaittu ongelmia, joita ei olisi voitu ratkaista lyhyessä ajassa, oli olemassa valmius ottaa vanha tietokanta välittömästi käyttöön.

7.3 N2000 korkeusjärjestelmän käyttöönotto

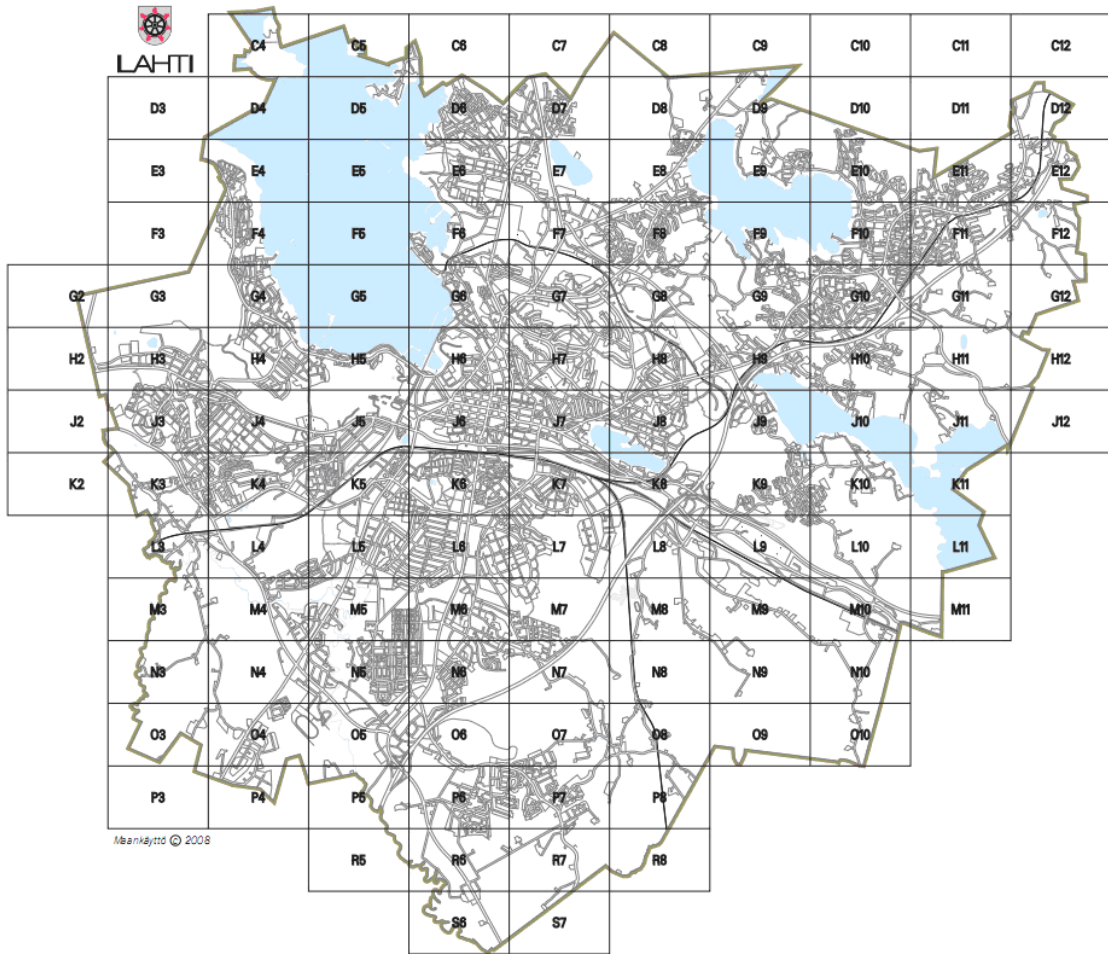
N2000-korkeusjärjestelmä otettiin tuotantokäyttöön 15.1.2010. Uuden korkeusjärjestelmän käyttöönottoa suunniteltaessa hyödynnettiin tasojärjestelmän yhteydessä saatuja kokemuksia. Tietokannan konversio toteutettiin Tekla Oyj:n toimesta lukuun ottamatta vaaittuja korkeuskiintopisteitä, jotka siirretään tietokantaan erillisinä. Muut korkeuskiintopisteet, joille ei ole vaaittuja N2000 korkeuksia muunnettiin tietokannan varsinaisen konversion yhteydessä käyttämällä tietokantakohteiden korkeusmuunnosparametreja. Parametreilla tarkoitetaan tässä yhteydessä Lahden korkeusjärjestelmän mukaisia korkeusarvoihin lisättävää 382 mm:n vakiokorjausta.

Tietokannan konvertointi toteutettiin 15.1.2010, valmistelujen ja määritysten johdosta tietokanta oli poissa käytöstä 14-15.1 välisen ajan. Käyttökatkon aikana yhteydet kiinteistötietojärjestelmään ja huoneistorekisteriin ovat katkaistuna, eikä tallennuksia voida toteuttaa. Näin lyhyellä käyttökatkolla ei ole käytännön merkitystä operatiiviseen työhön. Rekisteröintiä jatkettiin seuraavana arkipäivänä normaalisti. Konvertoinnin yhteydessä mahdollisesti havaittaviin ongelmiin varattiin muunnoksen jälkeinen viikonloppu. Xstreet ja Xpipe sovellusten osalta korkeusjärjestelmävaihdoksen edellyttämät määritykset toteutettiin välittömästi Xcity tietokantakonversion jälkeen.

8. MUUNNOSTEN VAIKUTUKSET TOIMINTAYMPÄRISTÖÖN

8.1 Karttalehtijako

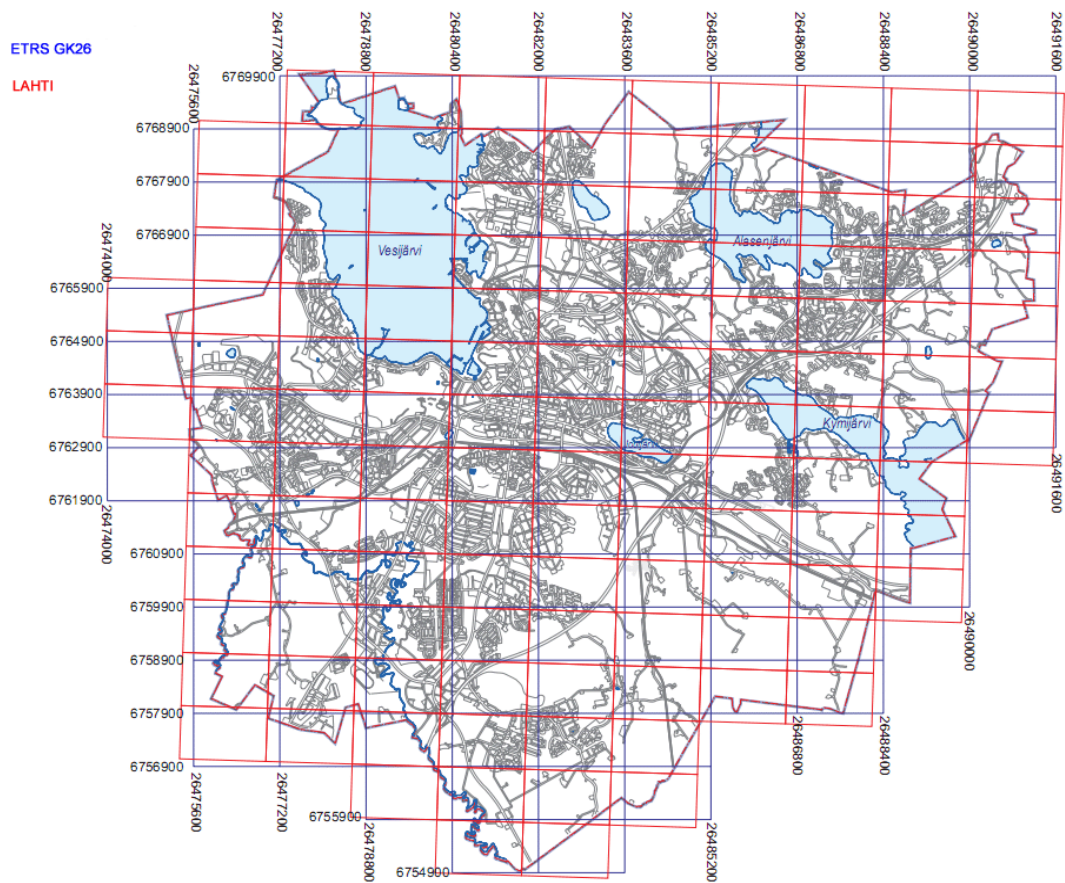
Lahden kaupungin käyttämä karttalehtijako perustuu 1,6 km x 1 km ruutu-jaotukseen. Karttalehtien indeksointi on toteutettu itä-länsisuunnassa aakkosilla C-S ja etelä-pohjoissuunnassa numeroilla 2-12.



Kuva 8.1: Lahden kaupungin karttalehtijako

Myös uusi koordinaattijärjestelmä esitetään alkuperäisen Lahden järjestelmän karttalehtijaolla. Järjestelmien välinen 1,9 goonin suuntaero aiheuttaa karttalehtijakoon keskinäiseen suuntaeroon virheen, joka kasvaa sitä enemmän, mitä kauemmaksi itä-länsisuuntaisesti alkuperäisen järjestelmän keskimeridiaanista siirrytään.

Keskustan alueella virhe on pienemmillään, siirryttäessä keskustasta pois päin virhe kasvaa nopeasti. Vaikka karttalehtijaon indeksointi ja ruutujen koko pidettiin alkuperäisen järjestelmän mukaisena, ruutujen sijaintia ja asentoa korjattiin ETRS-GK26-järjestelmän mukaiseksi. Lahden tapauksessa karttalehtijaolla ei ole paikkatietojen hallinnan kannalta merkitystä, koska Xcity on tietokantapohjainen paikkatieto-ohjelmisto, jossa karttalehtijakoa käytetään ainoastaan tarvittavissa karttatulosteissa, kuten virastokartoissa ja opaskartoissa.



Kuva 8.2: Lahden järjestelmän ja ETRS-GK26 projektion välisen suuntaeron vaikutus karttalehtijakoon.

8.2 Merkinnät asiakirjoihin

Eri aikoina käytössä olleet taso- ja korkeusjärjestelmät aiheuttavat haasteita asiakirjojen hallinnassa. Useissa asiakirjoissa ja muissa sijaintitietoa sisältävissä dokumenteissa esiintyvien koordinaattijärjestelmien hallinnointi tulee ratkaista koordinaattimuunnosten yhteydessä. Vanhan järjestelmän aikana syntyneitä asiakirjoja ja niissä esiintyviä koordinaattiarvoja tullaan käyttämään uuden järjestelmän aikana. Virhetilanteiden eliminoinnin kannalta riittävä tiedotus ja aineistojen luovutuksen parissa työskentelevän henkilöstön koulutus ovat avainasemassa.

8.2.1 Toimitusasiakirjat

Kaikkien olemassa olevien toimitusasiakirjojen läpikäynti ja käytössä olleen koordinaattijärjestelmän merkintä asiakirjoihin katsottiin olevan työmäärältään kohtuutonta. Ennen uuden tasokoordinaattijärjestelmän käyttöönottoa syntyneisiin toimitus- ja muihin kiinteistöjen sijaintitietoja sisältäviin asiakirjoihin ei tästä syystä tehty merkintöjä koordinaattijärjestelmästä. Suurin osa sijaintitietoa sisältävistä toimitus-asiakirjoista on ainoastaan viranomaiskäytössä, eikä eri aikoina käytössä olleista koordinaattijärjestelmistä katsottu aiheutuvan suurta virhetilanteen riskiä. Riskien minimoimiseksi luovutettavien asiakirjojen yhteydessä asiakkaalle annetaan tuloste, jossa on kuvattu eri järjestelmien voimassaoloajat. Luovutettava kartta-aineisto ja muut sijaintitietoa sisältävät dokumentit esitetään pääsääntöisesti ETRS-GK26 koordinaattijärjestelmässä.

8.2.2 Rakennuslupa-asiakirjat

Tasokoordinaattijärjestelmämuunnoksen jälkeen rakennuslupa-asiakirjojen yhteydessä luovutettiin erillinen tiedote Lahden tasokoordinaattijärjestelmistä ja niiden voimassaoloajoista. Tiedote luovutettiin rakennuslupadokumenttien yhteydessä noin vuoden ajan muunnoksen toteuttamisen jälkeen. Rakennuslupiin liittyvät asiakirjat ovat asiakasmäärältään kaupungin suurin korkeustietoa sisältävä asiakirjakokonaisuus, lisäksi suurin osa asiakkaista ei ole rakentamisen tai maanmittauksen ammattilaisia. Tästä johtuen henkilökunnan kouluttaminen ja asiakkaan ohjeistaminen on rakennuslupiin liittyvien asiakirjojen luovutuksen yhteydessä erityisen tärkeää. Rakennuslupakarttojen nimiöön merkitään korkeusjärjestelmäksi N2000. Samoin suunnittelijoiden toimittamiin dokumentteihin edellytetään merkattavaksi käytettävä N2000-korkeusjärjestelmä.

8.2.3 Pisteselityskortit

Tasokoordinaatiston muunnostyön yhteydessä toteutettiin pisteselityskorttien skannaustyö, jossa kaikki taso- ja korkeuspisteiden pisteselityskortit muutettiin sähköiseen muotoon. Tallennusformaattina käytettiin jpg-kuvaformaattia. Samalla

muutettiin koko pisteselityskorttijärjestelmän rakennetta. Alkuperäiset pisteselityskortit sisälsivät sidosmittakuvan lisäksi koordinaatit ja karttalehden numeron. Ainoastaan sidosmittakuva skannattiin. Koordinaatit toimitetaan erillisellä listauksella, koska skannatut pisteselityskortit olivat käytössä jo Lahden taso-järjestelmän voimassaolon aikana. Jos koordinaatit esitettäisiin pisteselityskortissa, olisivat kortit täytyneet käytännössä päivittää uuden järjestelmän mukaisilla arvoilla uudelleen järjestelmävaihdoksen yhteydessä. Taso- ja korkeuskiintopisteiden koordinaattiarvot saadaan erillisellä listauksella, joko Xcity tai 3d-win ohjelmista. Tämä mahdollistaa pistekorttien hakukuvien käyttämisen riippumatta käytettävästä koordinaattijärjestelmästä. Karttalehtijaon orientoinnin muuttuminen alkuperäisestä olisi aiheuttanut virheitä vanhan järjestelmän mukaisen karttalehtijakoon. Karttalehden numero jätettiin kokonaan pois pisteselityskorteista, koska lehtijaotusta ei enää käytännössä käytetä pisteiden hakuun. Näin koska taso- ja korkeuskiintopisteiden pisteselityskortit ovat attribuutteina tietokannan kiintopisteille. Pisteselityskortit saadaan helposti tulostettua suoraan paikkatieto-järjestelmästä.

8.2.4 Merkinnät muihin asiakirjoihin ja dokumentteihin

Uuden korkeusjärjestelmän käyttöönoton jälkeen tulostettavat karttatuotteet esitetään N2000 korkeusjärjestelmässä. Jos karttoja tuotetaan N2000-korkeusjärjestelmästä poikkeavassa järjestelmässä merkitään käytettävä järjestelmä otsikkotiedostoon.

8.3 Kustannukset

8.3.1 Tasokoordinaatiston muunnoksesta aiheutuneet kustannukset

Muunnoksen pääasialliset kustannukset muodostuvat muunnosprojektin suunnittelusta, runkoverkon mittauksesta ja laskennasta, muunnoksen testauksesta, käyttöönotosta, tietokantakonversiosta ja määrittelyistä sekä tiedottamisesta. Taulukossa 8.1 on esitetty kustannusten muodostuminen.

Taulukko 8.1: Tasokoordinaatiston vaihdoksen kustannukset

Kustannuslaji	Aika, päivinä	yksikkö kustannus €	kustannus yhteensä €
<i>Kaupungin oman työn osuus</i>			
Suunnittelu	22	220	4 840
Muunnoksen testaus	11	220	2 420
Maastomittausryhmät, staattinen GPS-mittaus	10	300	3.000
Käyttöönotto ja määrittelyt	5	220	1 100
Koulutus ja tiedottaminen	15	220	3 300
<i>Ulkopuolisilta tilatut työt</i>			
Paikkatietojärjestelmän tietokantakonversio			11 000
GPS-kaluston vuokra			500
Finnref data			200
Muiden ohjelmistojen vaatimat määrittelyt			5.000
<i>Yhteensä</i>			31 360

Tasokoordinaatiston muunnostyö toteutettiin suurelta osin Lahden maankäytön toimesta. Ainoastaan tietokannan konvertointi, yhden staattisen GPS-kaluston vuokra ja geodeettisen laitoksen FINNREF tukiasemaverkon data ostettiin ulkopuolisilta toimijoilta. Omana työnä toteutetulla muunnostyöllä saavutettiin merkittäviä kustannussäästöjä verrattuna tilaustyönä tehtyyn hankkeeseen.

Maankäytön tulosalueen osalta työ koostui eri muunnosvaihtoehtojen vertailusta ja testauksesta, tiedottamisesta, runkoverkon mittauksesta ja laskennasta ja tietokannan muunnostyön vaatimasta työpanoksesta. Muunnostyön vaatiman kaupungin virkatyön kokonais-kustannus sivukuluineen on n 15 000 €. Ulkopuolisilta toimijoilta tilattujen tasomuunnokseen liittyvien palvelujen kustannusvaikutus on n 17 000 €.

8.3.2 Korkeusjärjestelmän muunnoksesta aiheutuneet kustannukset

Korkeuskoordinaatiston muunnoksesta aiheutuneiden kustannusten muodostuminen poikkesi kustannusrakenteeltaan tasokoordinaatiston vaihdostyöstä. Korkeusjärjestelmävaihdos vaati toimenpiteitä, jotka on kaupungin omana työnä mahdoton toteuttaa. Pakollisesti ulkopuolisilta tilattavia töitä ovat laserkeilaus, korkeuskäyrien uudelleen piirto ja tietokannan konvertointi korkeusaineiston osalta. Myös vaaitustyö tilattiin kaupungin ulkopuoliselta toimijalta.

Taulukko 8.2: Korkeusjärjestelmän vaihtamisesta aiheutuneet kustannukset

Kustannuslaji	Aika, päivinä	yksikkö kustannus €	kustannus yhteensä €
<i>Kaupungin oman työn osuus</i>			
Suunnittelu	21	220	4 620
Muunnospisteiden inventointi	7	300	2 100
Käyttöönotto ja määrittelyt	7	220	1 540
Koulutus ja tiedottaminen	7	220	1 540
<i>Ulkopuolisilta tilatut työt</i>			
Vaaitus			15 000
Korkeuskäyrien uudelleenpiirto			95 000
Tietokantakonversio			6 000
Määritykset, muut			4 000
<i>Yhteensä</i>			134 420

Laserkeilauksen kustannuksista ainoastaan käyrien uudelleen piirto voidaan katsoa kuuluvan korkeusmuunnoksen kustannuksiin. Keilausprosessin muu osuus kuuluu osana normaaliin kartta-aineiston päivitysprosessiin, joka toteutetaan joka tapauksessa säännöllisin väliajoin.

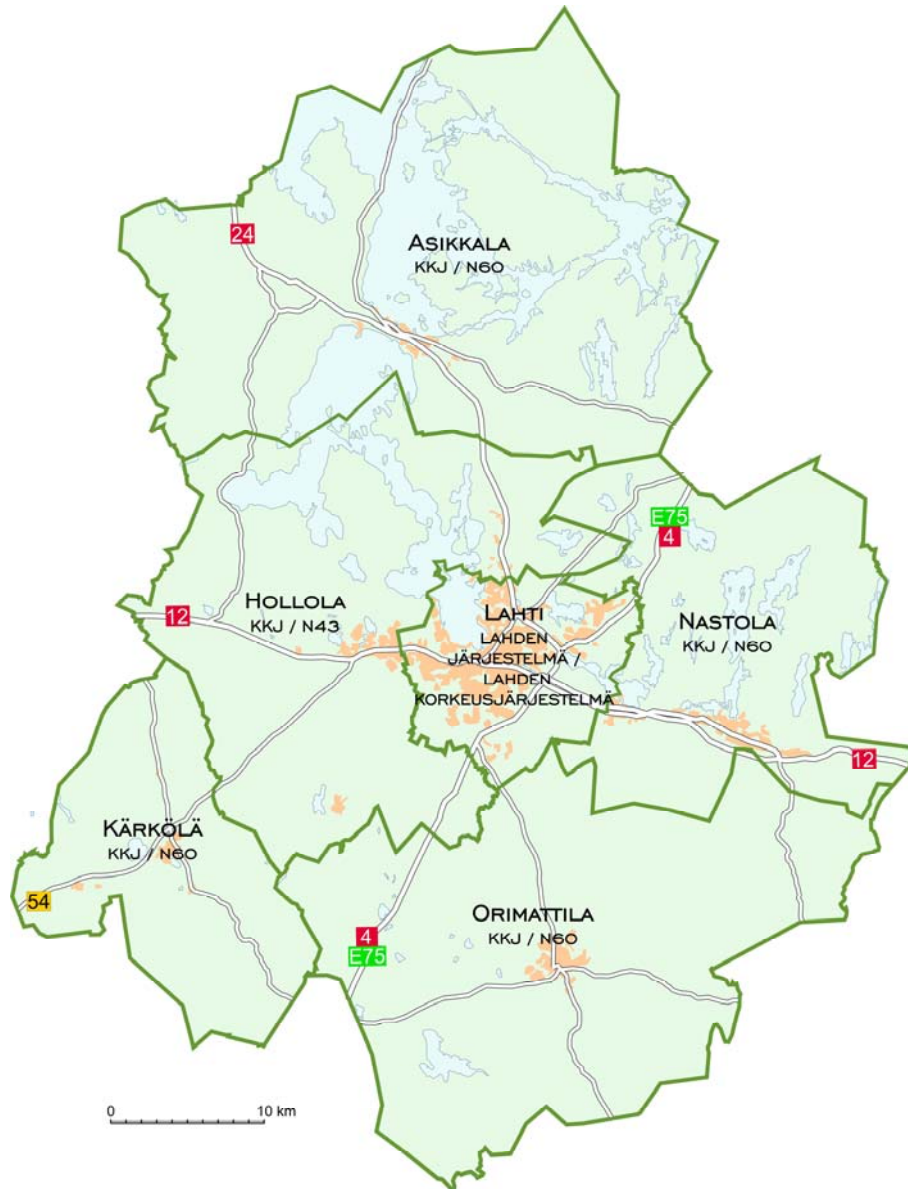
9 MUUT EUREF-FIN JA N2000 MUUNNOKSET LAHDEN SEUDULLA

Kunnan sisällä esiintyvät eri kaistat koettiin ongelmalliseksi paikkatiedon hallinnassa. Kahden kaistan alueella toimittaessa joudutaan käyttämään useissa tapauksissa kaistanvaihtoa, joka johtaa toiminnan monimutkaistumiseen ja virhetilanteiden syntymiseen. Lahden ulkopuolisten seutuPATI kuntien alkuperäisenä tasokoordinaattijärjestelmänä oli KKJ. Asikkala, Orimattila ja Hollola sijaitsevat KKJ-kaistojen 2 ja 3 alueella. Kunnat ovat rakenteeltaan tyypillisiä maaseutukuntia. Kunnan kokonaispinta-alat ovat suhteellisen suuria, kuntakeskuksen lisäksi kunnassa on vain muutamia taajamia, joita ympäröivät laajat haja-asutusalueet. Tämän tyyppinen rakenne johtaa usein koordinaatistossa alueellisiin vääristymiin jolloin joudutaan käyttämään useita alueellisia muunnoksia.

9.1 EUREF-muunnokset Lahden ulkopuolisissa seutuPATI kunnissa

Lahden tasokoordinaatiston vaihdoksen jälkeen saatuja kokemuksia voitiin hyödyntää muiden seutuPATI kuntien muunnosten yhteydessä vuonna 2006. SeutuPATI kunnat sitoutuivat tasokoordinaatiston muunnostyön toteutukseen seudullisen paikkatietojärjestelmän hankinnan yhteydessä vuonna 2004. Käytännön muunnostyössä ja testaamisessa noudatettiin Lahden tasomuunnoksen toimintamallia, joka on kuvattu luvuissa 3-5. Varsinainen runkoverkkojen mahdollinen saneeraus jätettiin hankkeen ulkopuolelle. Tavoitteeksi asetettiin yhden muunnoksen käyttäminen kuntakohtaisesti. Kunnan sisällä käytettäisiin useampaa muunnosta vain, jos runkoverkossa ilmenisi suurta epähomogeenisuutta.

Seudullisesti käytettäväksi karttaprojektiksi valittiin ETRS-GK_n projektio esitettäväksi keskimeridiaanilla 26. Projektion valinnassa noudatettiin kohdassa 4 kuvattuja periaatteita. Muunnosalueen läntisin piste sijaitsee n. 50 km:n etäisyydellä keskimeridiaanista. Koska kaistan leveys ylittää lännestä 0,5 asteen leveyden vain hiukan, katsottiin, ettei ole perusteltua ottaa käyttöön toista, kaistassa 25° esitettävää ETRS-GK_n projektioakaistaa. Myös JHS 154 mukaan kaista voidaan tarvittaessa levittää yli asteen levyiseksi. Alueen Nastolassa sijaitseva projektion itäisin piste on 14 km:n etäisyydellä keskimeridiaanista.



Kuva 9.1: SeutuPATI kuntien alkuperäiset taso- ja korkeusjärjestelmät.

Lähtöpisteinä käytettiin maanmittauslaitoksen I-III luokan tasopisteitä. Hollolan kunnan muunnoksessa mukana oli myös 2 kpl kunnan omia, ylemmän luokan tasopisteitä. Käytettäessä muunnoksen lähtöpisteinä maanmittauslaitoksen pisteitä muunnospisteiden valinnalla on suuri merkitys muunnoksen lopputulokselle. Käytettäessä saman tarkkuusluokan lähtöpisteitä tulee kiinnittää huomiota pisteen rakennusvuoteen ja mittaustapaan. Maanmittauslaitos on käyttänyt tasorunkopisteiden mittauksessa GPS-mittausta vuodesta 1986 lähtien. [13] Jos muunnos lasketaan käyttäen staattisella GPS mittauksella toteutettuja lähtöpisteitä, saadaan muunnoksen

virhetarkastelun perusteella parempi muunnos kuin tilanteissa, joissa muunnospisteiden joukossa on myös vanhempia, kolmiomittaukseen perustuvia pisteitä. Tämä johtuu siitä, että saman tarkkuusluokan kolmiomittauksella tuotetut pisteet eivät välttämättä ole täysin yhteensopivia GPS:llä mitattujen pisteiden kanssa.

Ongelmalliseksi tilanteen tekee se, että kunnan runkoverkko ja tietokanta-aineisto perustuu suurilta osin kuitenkin ns. vanhoihin pisteisiin. Olemassa olevan aineiston sovittaminen EUREF-FIN järjestelmään katsottiin olevan ensisijainen tavoite, joten muunnospisteiksi valittiin myös vanhoja kolmiomittauksiin perustuvia pisteitä. KKJ-ETRS-GK26 muunnokset toteutettiin käyttäen kuntakohtaisia muunnosparametreja. Alkuperäisellä KKJ-kaistalla 2 sijainneet muunnospisteet muunnettiin kaistaan 3. käyttäen laatikoiden 2.1 ja 2.2 mukaisia kaistanvaihdon kaavoja. Lopullinen affiininen muunnos laskettiin ETRS-GK26 koordinaatiston ja KKJ-kaistassa 3 esitettyjen pisteiden välillä.

Taulukko 9.1: KKJ-ETRS-GK26 muunnokset Lahden seudulla

Kunta	Muunnospisteitä	xy-rms	Käyttöönotto
Asikkala	14	21 mm	1/2006
Hollola	12	53 mm	1/2006
Orimattila	11	29 mm	1/2006
Nastola	11	16 mm	1/2006
Kärkölä	10	85 mm	1/2008

9.2 Korkeusjärjestelmävaihdokset muissa seutuPATI kunnissa

Lahden ulkopuolisten seutuPATI kuntien korkeusjärjestelmän vaihdoksen periaatteet noudattavat Lahden korkeusmuunnoksen kulkua. Näiden kuntien osalta korkeusmuunnos sisältää laserkeilaukseen perustuvan korkeuskäyrien uudelleen piirron sekä korkeuspisteisiin perustuvan varsinaisen tietokantamuunnoksen. Näiden kuntien kiinteistörekisterin ylläpitovastuu on Maanmittauslaitoksella, joka kiinteistörekisterin ylläpitäjänä vastaa myös alueella sijaitsevista kiintopisteistä. Kuntien kiinteistömittaukset perustuvat yksinomaan Maanmittauslaitoksen taso- ja korkeuskiintopisteisiin. Ainoastaan Hollolan kunta on mitannut omia kiintopisteitä. Käytännössä

ulkopuolisten seutuPATI kuntien kiintopisteiden päivitys N2000 korkeusjärjestelmään riippuu täysin Maanmittauslaitoksen aikataulusta. Kaava-alueilla kantakartan ylläpidon vastuu on kunnilla. Lahden ulkopuolisten seutuPATI kuntien kantakartta-aineiston ajantasaisuus on ollut vaihtelevaa ja aineiston päivitys on usean kunnan osalta tarpeellista. Korkeusmuunnosta ajatellen kantakarttojen alueilla katsottiin olevan perusteltua suorittaa maastomallimittaus, jonka avulla korkeuskäyrät saadaan piirrettyä uudelleen vastaamaan N2000-järjestelmän mukaisia korkeuksia. Lahden kaupungin ulkopuolisten SeutuPATI kuntien kantakartta-aineistot sijaitsevat pääasiassa kaavoitusmittausohjeiden [11] mukaisesti mittausluokassa 2. Tällöin ilmakuvakartoitukseen perustuvassa kartta-aineiston tuotannossa voidaan käyttää muunnettuja korkeustukipisteitä mitattujen sijaan. Tästä johtuen ilmakuvauus voidaan toteuttaa riippumatta korkeuspisteiden päivitysaikataulusta.

Kesällä 2009 seutuPATI kuntien edustajat asettivat tavoitteeksi yhteisen N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönoton. Valmistelevat toimenpiteet aloitettiin välittömästi. Toteutuksen suunnittelussa käytettiin hyväksi Lahden kaupungin kokemuksia korkeusjärjestelmän vaihtamisesta. Koska Maanmittauslaitos vastaa kuntien alueen kiintopisteiden ylläpidosta ja N2000- korkeusjärjestelmän käyttöönotosta, jäävät kunnan korkeusmuunnoksesta aiheutuneet toimenpiteet kartta-aineiston päivitykseen. Kuntien kantakartan korkeustiedon päivittämiseksi aloitettiin neuvottelut maanmittauslaitoksen ilmakuvakeskuksen kanssa kuntien alueella suoritettavasta laserkeilauksesta.

Maanmittauslaitos valittiin yhteistyökumppaniksi, koska ilmakuvakeskus on aloittanut uuden, koko Suomen laajuiseen digitaalisen maastomallin edellyttämät laserkeilaukset. Maanmittauslaitoksen alkuperäinen keilausaikataulun mukaan ensisijaisesti keilattavat, tulvaherkät alueet eivät sijainneet Lahden seudulla. Neuvottelujen perusteella maanmittauslaitos muuttaa keilausaikatauluaan siten, että laserkeilaus suoritetaan kevään 2010 aikana Lahden seudun kuntien alueella. Keilausaikataulun muuttamisen mahdollisti kustannusten jakaminen maanmittauslaitoksen ja keilattavien kuntien kesken. Myös muiden alueellisten toimijoiden mahdollisuus kustannuksiin osallistumisesta selvitetään ennen keilauksen aloittamista. Ulkopuolisista toimijoista ainakin tieliikelaitos on osoittanut kiinnostusta osallistua hankkeeseen. Muiden toimijoiden osalta selvitystä jatketaan vielä vuoden 2010 alkupuolella.

Maanmittauslaitos keilaa kokonaisuudessa Lahden ulkopuolisten seutuPATI kuntien alueet. Kunnat ostavat maanmittauslaitoksen tuottaman keilausaineiston tarvitsemiensa alueidensa osalta. Myöhemmässä vaiheessa kunnat voivat ostaa maanmittauslaitokselta lisää keilausaineistoa tarpeittensa mukaisesti.

10. JOHTOPÄÄTÖKSET

10.1 EUREF-FIN muunnos

Muunnospisteet sidottiin FINNREF tukiasemiin: Virolahti, Kivetty ja Metsähovi. Verkon lähtöpisteet sijaitsevat n. 100-300 km:n etäisyydellä muunnosalueesta. Suhteellisen suuri etäisyys lähtöpisteiden ja muunnospisteiden välillä asetti kysymyksen ppm-virheen vaikutuksesta runkoverkon laatuun. Tällä järjestelyllä saavutettua tarkkuutta voidaan pitää kuitenkin riittävänä. Vaihtoehtoisesti muunnoksen lähtöpisteinä olisi voitu käyttää valtakunnallisia I-III luokan pisteitä tai EUREF-FIN tihennyspisteitä. Käytettäessä edellä mainittuja pisteitä muunnoksen lähtöpisteinä, ppm-virhettä olisi voitu pienentää nykyisestä jonkin verran. Toisaalta mahdollisuudet keskistyksistä ja heikommista havainto-olosuhteista aiheutuville virheille olisivat kasvaneet. Käytettäessä riittävän pitkää havaintoaikaa, voidaan FINNREF pisteiden käyttöä suositella vastaavanlaisten verkkojen lähtöpisteiksi.

Affinisella muunnoksella lasketut muunnosparametrien jäännösvirheitä (0,0195m) voidaan pitää myös hyvänä. Koska affiininen muunnos muuttaa verkon mittakaavaa, varmistettiin muunnoksen luotettavuus yhdenmuotoisuusmuunnoksella. Käytettäväksi yhdenmuotoisuusmuunnokseksi valittiin 2-ulotteinen Helmert-muunnos. Muunnoksen jäännösvirheet (0.0305 m) ovat hieman affiinista muunnosta suuremmat. Tämä viittaa verkossa olevan lievää vääristymää. Verkon tarkkuusvaatimukseksi asetettu 2 ppm saavutetaan tästä huolimatta. Verkon laadun varmistaminen oli yhtenä perusteena tasomuunnoksen toteuttamiselle.

Yleisesti muunnoksen tarkkuuden tunnuslukuina on käytetty pelkästään verkon muunnospisteiden residuaaleja. Kunnan koordinaatistomuunnoksen tapauksessa muunnoksen vaikutukset ovat kauaskantoiset ja muunnoksen laadun todistamiseksi

tulee suorittaa myös käytännön maastomittauksia. Käytännön testausmenetelminä käytettiin maastomittauksiin perustuvaa testausta, jossa tarkasteltiin VRS-GNSS laitteella mitattuja kiintopisteitä, sekä takymetrimittauksilla toteutettuja kiinteistöjen pinta-alojen ja rajamittojen muutoksia. Muunnos testattiin myös tietokantamuunnoksella, jossa verrattiin kiinteistöjen pinta-alojen muuttumista alkuperäisen ja uuden järjestelmän välillä. Testausten perusteella pinta-alojen muutokset korreloivat kiinteistöjen pinta-alojen kanssa, eikä niistä löytynyt alueellisia poikkeavuuksia. Hyvin suuri osa Lahden kaupungin pinta-alasta on tiivistä kaupunkirakennetta ja maa on siten arvokasta. Tästä johtuen oli selvää, että projektiovirheet haluttiin pitää mahdollisimman pieninä. Ainoaksi todelliseksi JHS 154 mukaiseksi vaihtoehdoksi jää ETRS-GKn projektio esitettynä 26° kaistassa.

Lahden kaupunkiseudun kuntien Asikkala, Hollola, Lahti, Nastola ja Orimattila paikkatietoaineistot siirrettiin yhteiseen tietokantaan vuonna 2006. Muunnos perustui ns. seutuPATI paikkatietoyhteistyösopimukseen. Yhteisen tietokannan käyttööntottamisen edellytyksenä oli yhteinen koordinaattijärjestelmä ja karttaprojektio. Karttaprojektioksi valittiin ETRS-GK26 projektio, joka esitetään 2° kaistassa, joka kattaa koko kaupunkiseudun kuntien alueen. Kaistan leveyden kasvattaminen JHS 154 suosituksen 1°:sta kaksinkertaiseksi aiheuttaa suurimmillaan 31 ppm. projektiovirheen. Projektiovirheen maksimiarvoa voidaan pitää hyväksyttävä paikkatietojen hallinnan asettamien vaatimusten kannalta. Muunnos ETRS-TM35-FIN projektiolle määritettiin pienikaavaisia karttatuotteita ja Maanmittauslaitoksen aineistovaihtoa varten. Muiden seutuPATI kuntien muunnokset määritettiin kuntakohtaisella affiinisella tasomuunnoksella.

EUREF-FIN-järjestelmä otettiin tuotantokäyttöön Lahdessa marraskuussa 2005. Järjestelmä on toiminut operatiivisessa käytössä moitteettomasti, eikä odottamattomia ongelmia ole havaittu. Muunnostyö toteutettiin käytännössä tietokannan konvertointia lukuun ottamatta Lahden kaupungin omana työnä. Omana työnä toteutetulla muunnostyöllä saavutettiin merkittäviä kustannussäästöjä verrattuna tilaustyönä tehtyyn hankkeeseen. Kuitenkin kustannussäästöä suurempi hyöty voidaan katsoa syntyneen muunnoshankkeen kokemusten jäädessä kaupungin omaan organisaatioon. Tasomuunnoksesta saatuja kokemuksia voitiinkin hyödyntää Lahden korkeusmuunnoksen sekä muiden Lahden seudun kuntien tasomuunnosten yhteydessä.

10.2 N2000-muunnos

Käytännön työtehtävien osalta korkeusmuunnoksessa käytettiin tasomuunnosta enemmän kaupungin ulkopuolisten toimijoiden työpanosta. Syynä tähän oli korkeusmuunnoksessa käytettävät erikoistyövaiheet: ilmakeilaus ja laserkeilaus korkeuskäyrien piirtoa varten sekä vaaitus. Viimeksi mainittua voidaan katsoa nykyisin erikoisosaamiseksi kaupunkimittaajien keskuudessa, korkeusmittaukset on tehty Lahdessa 80-luvulta alkaen takymetrillä, eikä korkeusjärjestelmän vaihtamisen yhteydessä ole perusteltua käyttää mittausmenetelmää, jonka käyttö ei ole rutiini-työtehtävien joukossa.

Uuden N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönotto toteutettiin kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa laadittiin väliaikainen N2000-Lahti muunnos. Muunnoksen avulla ilmalaserkeilaukseen perustuvien korkeuskäyrille laskettiin N2000-korkeudet. Laserkeilaus oli osana kaupungin kartta-aineiston päivitysprosessia, jonka yhteydessä muodostettiin tarkka maastomalli koko kaupungin alueelle. Laserkeilauksen toteutuksen aikana, vuonna 2006 Lahden alueella oli käytettävissä rajatusti N2000-korkeuden omaavia korkeuskiintopisteitä. Kaikki ne pisteet, joilla oli sekä Lahden järjestelmän ja N2000-järjestelmän mukaiset korkeudet valittiin muunnospisteiksi. Muunnospisteiden korkeuserojen perusteella määritettiin väliaikainen Lahti-N2000 korkeusero. Järjestelmien väliseksi korkeuseroksi Lahden kaupungin alueella saatiin 381 mm.

Lopullinen korkeusmuunnos perustui Maanmittauslaitoksen syksyllä 2009 suorittamaan vaaitukseen. Vaaituksen perusteella 93:lle Lahden järjestelmän mukaiselle korkeuspisteelle vaaittiin N2000 korkeudet, vaaituslinjojen yhteispituuden ollessa n. 65 km. Vaaitus toteutettiin Maanmittauslaitoksen III-luokan perusvaaituksen kriteereillä, siten että sulkuvirheen hyväksymiskriteeriä kiristettiin puoleen normaalista III-luokan sulkuvirheen hyväksymisrajasta. Käytetty sulkuvirheen hyväksymisraja oli 10 mm/km. Suurin verkon yksittäinen sulkuvirhe oli 9,4 mm 6 km:n pulttivälillä. Suurin suhteellinen sulkuvirhe oli 6,4 mm 2 km:n pulttivälillä. Näin ollen vaaituksen katsotaan täyttävän sille asetetut tarkkuusvaatimukset.

Vaaituksen perusteella ainoastaan yksi piste havaittiin liikkuneeksi. Kyseessä oli sokkelipultti ja rakennus oli painunut 50 vuoden takaisesta edellisestä vaaituksesta 10 mm. Lisäksi havaittiin yhden pisteen korkeuslukeman tallennuksessa tapahtuneen virheen, piste oli tallennettu kantaan virheellisesti NN-korkeusjärjestelmässä.

Vaaittujen muunnospisteiden lukumäärää voidaan pitää riittävänä luotettavan Lahden ja N2000-korkeusjärjestelmien välisen korkeuseron määrittämiseksi. Korkeusrunkoverkon tilan laajempi tarkastelu edellyttäisi vanhojen vaaitushavaintojen avulla suoritettavaa verkon uudelleen laskentaa ja tasoitusta. Koska vanhat havaintokirjat olivat puutteellisia, tätä ei voitu soveltaa Lahden korkeusmuunnoksen tapauksessa. Vanhojen havaintojen käyttäminen toisi mukanaan myös lisähaasteita ja epäluotettavuutta verrattuna nykyhetken vaaituksiin. Näissä tapauksissa esimerkiksi vaaitusten jälkeinen kiintopisteiden painuminen ja muu liikkuminen jää kokonaan ilman kontrollia. Muunnospisteille laskettiin järjestelmien väliset korkeuserot. Korkeuseroista laskettiin keskiarvo ja korkeuserojen keskihajonnat. Lopullisesta keskiarvon laskennasta poistettiin kolminkertaisesti keskihajonnan ylittävät muunnospisteet, joita oli yhteensä 7 kpl. Tällä pyrittiin poistamaan keskiarvon laskennasta selkeästi aineistoon sopimattomat pisteet.

Lopullinen Lahden ja N2000-korkeusjärjestelmien välinen korkeusero on +382 mm. Verrattaessa tulosta väliaikaiseen korkeusmuunnoksen saadaan lopullisen ja väliaikaisen muunnoksen väliseksi eroksi ainoastaan 1 mm. Tästä voitaisiin vetää johtopäätös, että alueellinen korkeusmuunnos voidaan toteuttaa ilman vaaituksia, käyttämällä pisteiden tietokannoissa olevia lähtö- ja tulojärjestelmien korkeusarvoja. Tämä ei kuitenkaan ole yksiselitteinen tulkinta. Runkoverkon mahdollinen epähomogeenisuus jää tällöin täysin ilman kontrollia. Väliaikaisen ja lopullisen korkeusmuunnoksen pieni erotus (1 mm) vahvistaa käsitystä korkeusmuunnoksen luotettavuudesta.

11. MAHDOLLISET JATKOTUTKIMUSHANKKEET

11.1 Julkisen hallinnon suositusten jatkokehitys

Julkisen hallinnon suosituksissa JHS 153, JHS 154 ja JHS 163 periaatteet EUREF-FIN ja N2000-muunnosten suorittamiseksi. Suositukset ovat kuitenkin vahvasti teoriapainotteisia ja käyttäjäläheisemmän ohjeistuksen kehittäminen olisi perusteltua. On todennäköistä, että EUREF-FIN ja N2000-muunnosten suorittamisesta tulevat jatkossa vastaamaan suurelta osin konsultit, joille syntyy käytännön kokemusta ja rutiineja muunnosten suorittamiseksi. Käytännönläheisemmälle ohjeistukselle on kuitenkin tarvetta etenkin tilaajan kannalta. Vaikka tilaajat eivät osallistu varsinaiseen muunnoksen toteutukseen, on välttämätöntä, että muunnosten toteuttamista voidaan valvoa ja tarkastella kriittisesti. Tämä ohjeistus palvelisi samalla myös konsultteja ja muita muunnoshankkeen osapuolia oman työnsä toteuttamisessa.

11.2 Tietokantakoordinaatistot paikkatieto-ohjelmistoissa

Useat markkinoilla olevat paikkatieto-ohjelmistot eivät mahdollista tietokantakohteiden tallentamista globaalien koordinaatistojen mukaisessa maakeskisessä tai geodeettisessä muodossa ilman koordinaattien projisointia tasolle. Tietokantakohteiden esittäminen geodeettisessä tai maakeskisessä muodossa on paras ratkaisu paikkatiedon laadun kannalta. Käytännön ratkaisuna käyttöliittymässä esitettävät koordinaatit voisivat perustua projektiomuunnokseen, samoin tietokantakohteiden uloskirjoituksessa käytettävä karttaprojektio voitaisiin valita tapauskohtaisesti. Näin välttyttäisiin turhilta edestakaisilta koordinaattikonversioilta ja muunnoksilta.

Nykyisin useiden ohjelmistotoimittajien ratkaisuissa tietokantakoordinaatiston ja uloskirjoitettavan koordinaatistojen välinen muunnos perustuu affiiniseen tai Helmert muunnokseen. Näissä tapauksissa joudutaan tinkimään muunnoksen laadusta, koska koordinaattimuunnokset joudutaan toteuttamaan pahimmissa tapauksissa ilman lähtö- ja tuloskoordinaatistojen muuntamista samaan keskimeridiaaniin. Tämä vaikuttaa muunnosten laatuun vääjäämättä. Valittaessa EUREF-FIN koordinaatiston kanssa käytettävää projektiota, jää kunnan paikkatietojen esittämisen ainoaksi käytännön

vaihtoehdoksi ETRS-GKn. Verrattuna ETRS-TM35FIN projektioon, projektiovirheet pysyvät hyväksyttävinä. ETRS-GKn tapauksessa Itä-länsi suuntaisesti laajemmilla alueilla joudutaan kuitenkin käyttämään useampaa kaistaa. Tällöin ohjelmiston tulee tukea kaistanvaihdon suorittamista kaavojen 2 ja 3 mukaan.

11.3 VRS-verkon rooli valtakunnallisessa runkopistehierarkiassa

Geotrim Oy:n ylläpitämän GPSNet.fi® VRS-verkon tukiasemat sijaitsevat edustavasti koko Suomen alueella ja niiden käyttäminen kunnan tasokoordinaatistomuunnoksen lähtöpisteinä on perusteltua. GPSNet.fi® verkon hyödyntäminen on kuitenkin ongelmallista, koska verkon pisteitä ei ole luokiteltu valtakunnalliseen hierarkiseen pisteluokitukseen. Koska VRS-verkon luokka on määrittämättä, jää verkon tukiasemien käyttäminen muunnoksen lähtöpisteinä useissa tapauksissa hyödyntämättä. Asemat ovat teknisesti laadukkaasti toteutettu. Tukiasemien sijainnit ovat geodeettisen laitoksen laskemia sekä tukiasemat ovat varustettu laadukkailla komponenteilla. Lisäksi automatisoitu jälki-laskentadatan tilaaminen on käyttäjälle helppoa. Vaikka yksityisessä omistuksessa olevan VRS-verkon tukiasemien luokittelemisesta valtakunnallisten kiinto-pisteiden hierarkiaan herättää varmasti pohdintaa, käytännön muunnostöiden toteuttamisen kannalta tämä olisi toivottavaa.

LÄHDELUETTELO

- [1] Mäkyinen, Jari. 2006. Kolmioittaisen affiinisen muunnoksen paikallinen tihennys: case Lappeenrannan runkoverkko. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, maanmittaustieteiden laitos, Espoo 43 s.
- [2] JHS 153. Julkisen hallinnon suositus. ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Julkaistu 27.6.2008. 11 s. Saatavana sähköisessä muodossa <http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs153> (Viitattu 6.9.2009)
- [3] JHS 154 Julkisen hallinnon suositus. ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Julkaistu 2008. 15s. Saatavana sähköisessä muodossa <http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs154> (Viitattu 6.9.2009)
- [4] JHS 163 Julkisen hallinnon suositus. Suomen korkeusjärjestelmä N2000 Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Julkaistu 19.6.2007 13s. Saatavana sähköisessä muodossa <http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs163> (Viitattu 6.9.2009)
- [5] Teknillinen korkeakoulu. Maanmittaustekniikan laitos. Geodesian laboratorio. Työselostus Lahden kaupungin runkomittaukista vuonna 1989. Espoo. 1989. 15s.
- [6] IGS central bureau. Ei päiväystä. IGS products. [WWW-dokumentti] http://igscb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html (Viitattu 6.9.2009)
- [7] Lahden kaupungin tekninen virasto, kaupunginmittausosasto, Vesa Walamies. 1972. Selvitys Lahden kaupungin III-luokan kolmioverkon tilasta vuonna 1972.
- [8] Trimble. Trimble Total Control, online manual. 2003. Versio 2.71.
- [9] Häkli Pasi. 2004. Virtuaalista GPS-mittausta ilman tukiasemaa. Maankäyttö. 4/2004. s 43-44.

- [10] Geodeettinen laitos. Pasi Häkli. 2006 Dorne Margolin antennin parametrien korjaus Trimble total control ohjelmistoon, sähköposti 2009.
- [11] Maanmittauslaitos. Kaavoitusmittausohjeet. Helsinki 2003.57s. MML/1/012/2003.
- [12] Poppe, A. J. 1976. The Statistics of Residuals and the Detection of Outliers. NOAA Technical Report NOS 65 NGS 1. National Oceanic and Atmospheric Administration, Rockville, MD.
- [13] Maanmittauslaitos. Tietoa maasta, Mittaus. [WWW-dokumentti] http://www.maanmittauslaitos.fi/Tietoa_maasta/Mittaus/ (Viitattu 6.9.2009)
- [14] Matti Ollikainen, Joel Ahola, Mirjam Bilker, Pasi Häkli, Jorma Jokela, Hannu Koivula, Markku Poutanen. 2003. Geodetic operations in Finland 2000-2004. Geodeettinen laitos. 16s. http://www.fgi.fi/julkaisut/pdf/GeodeticOperations_2000_2003.pdf (Viitattu 6.9.2009)
- [15] Teknillinen korkeakoulu. Maanmittaustekniikan laitos. Geodesian laboratorio. Numeerisen kartoituksen maastomittausohjeet. Espoo. 1991. 44s.
- [16] Maanmittauslaitos. Uudenmaan maanmittaustoimisto. Matti Musto. 2009. Työselostus Lahti-N2000 vaaituksesta 2009.
- [17] Maanmittaushallitus. 1954. Maanmittaushallituksen julkaisu nro: 54. Ohjeet perusvaaituksen maastotöitä varten.
- [18] Hirvonen R.A., The Use of subroutines in geodetic computations, Maanmittaus 1970.