

Arsi Juote

# Vantaan kantakartta-aineistojen EUREF-FIN- ja N2000-muunnos

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

25.3.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Arsi Juote Vantaan kantakartta-aineistojen EUREF-FIN- ja N2000- muunnos 51 sivua + 4 liitettä 25.3.2013
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	kaupunkimittaussinööri Kimmo Junttila lehtori Jussi Laari
<p>Tässä insinööriyössä suunnitellaan ja toteutetaan EUREF-FIN- ja N2000-muunnokset Vantaan kaupungin kantakartta-aineistoille. Muunnoksissa siirrytään Vantaan VVJ-tasokoordinaatistosta EUREF-FIN:n mukaiseen ETRS-GK25-tasokoordinaatistoon ja korkeuden osalta N43-korkeusjärjestelmästä N2000-järjestelmään. Muunnoksen yhteydessä siirrytään käyttämään uutta pääkaupunkiseudun yhteistä karttalehtijakoa Vantaan tiedostopohjaisessa MicroStation-ylläpitoympäristössä.</p> <p>Työssä paneudutaan erityisesti sellaisiin kartografisiin ongelmiin, joita koordinaattimuunnos ja karttalehtijaon vaihtaminen aiheuttavat, sekä niiden minimoimiseen ja ohjelmalliseen korjaamiseen. Projektin kohteena oleva aineisto koostuu 578 tiedostosta ja yli 1,7 miljoonasta karttakohteesta. Tällaisen aineiston käsittely vaatii omat menettelytapansa ja pitkälle vietyä automaattista prosessointia. Muunnoksen suorittaminen vaatii lisäksi täydellistä katkosta kaupungin karttatuotantoon, jonka johdosta se täytyy saada suoritettua mahdollisimman lyhyessä ajassa.</p> <p>Osana korkeusmuunnosprojektia kantakartalle luodaan uudet korkeuskäyrät laserkeilausaineistosta. Tällaiset korkeuskäyrät eivät sovi sellaisenaan kantakartalle, vaan ne vaativat runsaasti käsittelyä. Työssä pyritään esikäsittämään korkeuskäyrät ohjelmallisesti niin hyvin, että ne voidaan ottaa käyttöön kantakartalle ilman massiivista manuaalista korjausprojektia. Käyrien viimeistely voi siten tapahtua tavallisen karttojen ylläpitytyön yhteydessä.</p> <p>Tässä työssä ei oteta kantaa muunnosmenetelmään tai sen parametreihin, vaan keskitytään valitun muunnoksen toteuttamiseen ylläpitoaineistolle.</p>	
Avainsanat	EUREF-FIN, koordinaatistomuunnos, asemakaavan pohjakartta, kantakartta

Author Title Number of Pages Date	Arsi Juote EUREF-FIN and N2000 transformations of Vantaa's base map data 51 pages + 4 appendices 25 March 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Kimmo Junttila, City Surveying Engineer Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The purpose of this final year project is to plan and execute EUREF-FIN and N2000 transformations to the base map of City of Vantaa. The transformation shifts the base map from VVJ plane coordinates to ETRS-GK25 plane coordinates. The height transformation shifts the map from N43 height reference system to the N2000 height reference system. During the transformation, a new collective ETRS-GK25 map sheet referencing system of the metropolitan area is put to use in the file-based MicroStation maintenance system used in Vantaa's map making.</p> <p>This study focuses particularly on programmatically minimizing the cartographic problems that arise from changing the map sheet referencing system and the coordinate system. The data transformed in this study consist of 578 map files and over 1.7 million map features. The handling of data of this magnitude requires its own practices and highly automated processing. Performing the transformation requires a complete halt to the base map maintenance of Vantaa, which is why it needs to be carried out promptly once started.</p> <p>As a part of the height transformation, new contour lines generated from LIDAR data are adopted to the base map. Automatically generated contour lines are not sufficient for the base map without additional processing, and they require considerable trimming and cutting. A part of this project is to automatically pre-process the contour lines so that they can be put to use and inserted into the base map without initiating an extensive manual labour project to trim and polish them. Polishing the contour lines can then be done simultaneously with the regular maintenance of the base map.</p> <p>This project does not focus on the transformation methods or their parameters, but instead on the execution of the chosen transformations for the base map of Vantaa and the problems that arise from it.</p>	
Keywords	EUREF-FIN, coordinate transformation, base map

## Sisällys

### Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Vantaan kaupungin kartta-aineistot	2
2.1	Mittausosasto	2
2.2	Kartta-aineistot mittausosastolla	2
2.3	Kartta-aineistojen muunnokset	3
3	EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmät	4
3.1	EUREF-FIN	4
3.2	N2000-korkeusjärjestelmä	6
3.3	INSPIRE-direktiivi	7
3.4	EPSG-koodit	8
3.5	Geodeettinen pohja ja muunnosmenetelmät	8
4	Karttalehtijako	10
4.1	Lehtijaossa ylläpidettävän kartan erityispiirteitä	10
4.2	ETRS-GK25-karttalehtijako	11
4.3	Siirtyminen lehtijaosta toiseen	12
5	Kantakartan tasomuunnoksen toteutus	13
5.1	Muunnostyökalu	13
5.2	Tasomuunnoksessa havaitut ongelmat	14
5.2.1	Elementtien kääntyminen koordinaatiston mukana	15
5.2.2	Aluemaisten elementtien leikkautumissäännöt	16
5.2.3	Useista elementeistä koostuvat kompleksit	16

5.2.4	Käyrien siirtyminen leikattaessa	17
5.2.5	Korkeuskäyrät uudessa korkeusjärjestelmässä	17
5.2.6	Suorituskykyvaatimukset laitteistolle	18
5.3	Tasomuunnoksen toteutus	19
5.3.1	Testialueet	20
5.3.2	Eräajotyökalu	20
5.3.3	Erilliset tiedostosarjat	22
5.3.4	Valitut menetelmät	22
5.3.5	Tiedostosarjojen jälkikäsittely	25
5.4	Tasomuunnoksen todennusmenetelmät	25
5.5	Tasomuunnoksen tulokset	26
6	Korkeusmuunnoksen toteutus	28
6.1	Korkeusmuunnoksen menetelmät	28
6.2	Korkeusmuunnosindeksin rakentaminen	29
6.3	Korkeusmuunnoksessa todetut ongelmat	29
6.4	Korkeusmuunnoksen todennusmenetelmät	30
6.5	Korkeusmuunnoksen tulokset	31
7	Korkeuskäyrien tuottaminen uuteen korkeusjärjestelmään	31
7.1	Korkeuskäyrien tuottamisen menetelmä	32
7.2	Käyrien käsittely ja liittäminen kantakartalle	32
7.2.1	Lähtöaineisto käyrien käsittelyyn	33
7.2.2	GeoScripts-työkalun ongelmat	34
7.2.3	Korkeuskäyrien käsittelyn testialueet	36
7.2.4	Korkeuskäyrien käsittelyyn käytettävät parametrit	37
7.3	Karttasymbolien siirto	39
7.4	Korkeusluvut ja rinneviivat	43
7.5	Tulokset ja jälkikäsittely	47
8	Yhteenveto	47

Liitteet

Liite 1. Suomessa käytettävien EUREF-FIN-koordinaatistojen EPSG-koodit

Liite 2. Kantakartan muunnosprosessi

Liite 3. Vaihtoehtoiset parametrit korkeuskäyrien käsittelyyn

Liite 4. N2000-korkeuskäyrien käyttöönoton prosessi

## Käsitteet

bounding box	<i>(range, envelope)</i> Bounding boxilla tarkoitetaan GIS:ssä yleensä sel- laista mahdollisimman pientä koordinaattiakselien suuntaista suora- kulmiota, joka rajaa elementin sisäänsä. Tarkemmin sanottuna Axis Aligned Minimum Bounding Box.
bufferi	<i>(vyöhyke, zone)</i> Bufferilla tarkoitetaan GIS:ssä pisteen, viivan tai alu- een ympärille tehtyä tietyn levyistä aluetta.
DGN	Design file. MicroStationin käyttämä tiedostoformaatti.
Digiroad	Kansallinen tietojärjestelmä, johon on koottu koko Suomen tie- ja ka- tuverkon tarkat sijainnit sekä tärkeimmät ominaisuustiedot.
elementti	Elementillä tarkoitetaan MicroStationissa kuvatiedostoon tallennettua geometriaa jolla on tietty kuvaustekniikka ja koordinaatit. Erilaisia elementtityyppejä ovat muun muassa viivat, kaaret ja monikulmiot.
EPSG-koodi	European Petroleum Survey Groupin kehittämä rekisteri eri koordi- naattijärjestelmien yksilölliseksi tunnistamiseksi.
eräajo	<i>(Batch Process)</i> Eräajo tarkoittaa tiettyjen operaatioiden tai prosessi- en tekemistä tiedostojonolle joka koostuu useista tiedostoista.
GIS	Geographic Information System eli paikkatietojärjestelmä tarkoittaa paikkatietojen keräämiseen, tallentamiseen, manipulointiin, analysoin- tiin ja ylläpitoon tarkoitettua järjestelmää. Toisinaan GIS on myös Geographic Information Science, joka viittaa aiheen tutkimukseen.
kohde	<i>(feature)</i> Kohteella tarkoitetaan tässä työssä sellaista kartta- tai GIS- kohdetta joka muodostuu kohteen geometriasta (elementti) ja koor- dinaateista sekä sitä kuvailevista attribuuteista ja metatiedoista.
MicroStation	MicroStation on Bentley Systems Inc:n CAD-sovellus, joka soveltuu erilaisiin suunnittelu-, visualisointi-, dokumentointi-, mallinnus- ja kar- toitustehtäviin.

MVBA	MicroStation Visual Basic for Applications. MicroStationin versio Microsoftin VBA-kielestä ja sovelluskehitysympäristöstä, jota voi käyttää MicroStationin sisäisten ohjelmien tekemiseen.
rasteritiedosto	Rasterimuotoinen paikkatieto koostuu yleensä samankokoisista neliön muotoisista ruuduista, joista muodostuu esitettävä kuva. Attribuutit yhdistetään ruudukon pikseleihin.
unioni	Topologinen yhdistelmä kahdesta tai useammasta aluemaisesta elementistä. Sisältää kaikki lähtöaineiston elementit.
VB.NET	Visual Basic.NET. Microsoftin oliopohjainen ohjelmointikieli, joka on kehittynyt vanhasta Visual Basicista.
vektoritiedosto	Koordinaattipohjainen tietomalli joka esittää paikkatiedot aluemaisina, viivamaisina tai pistemäisinä elementteinä. Attribuutit yhdistetään yksilöllisiin kohteisiin.
XFM	XML Feature Modeling. Bentley Mapin tietomalli paikkatietokohteiden tallentamiseksi ja esittämiseksi.

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä suunnitellaan ja toteutetaan EUREF-FIN- ja N2000-muunnokset Vantaan kaupungin kantakartta-aineistoille sekä näiden aineistojen siirto pääkaupunkiseudun yhteiseen karttalehtijakoon. Vantaalla siirrytään VVJ-tasokoordinaatistosta ETRS-GK25-tasokoordinaatistoon ja N43-korkeusjärjestelmästä N2000-korkeusjärjestelmään. Korkeusmuunnoksen yhteydessä kartoilta poistetaan vanhat korkeuskäyrät ja otetaan käyttöön uudet ilmalaserkeilausaineistosta tuotetut korkeuskäyrät.

Pääkaupunkiseudun kuntien (Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen) yhteinen EUREF-FIN-projekti alkoi vuoden 2009 marraskuussa. Pitkä projekti saatettiin loppuun virallisesti 1.12.2012, kun pääkaupunkiseudun kunnat ottivat käyttöön uudet tasokoordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Tämä työ liittyy osaltaan tähän projektiin toteuttamalla muunnokset Vantaan laajimmalle kartta-aineistolle. [EUREF-FIN/N2000 PKS-projektin päätöskokous 2013.]

Työ tehdään pääasiassa Bentleyyn MicroStation-ohjelmistolla, etenkin sen MVBA-sovelluskehitysympäristön avulla. Vantaalla on työn tehoketkellä käytössä MicroStation V8i SS2 -versio. Vantaan kantakartta ylläpidetään tiedostopohjaisessa järjestelmässä Bentleyyn Stella Map -sovelluksen avulla. Työssä suunnitellaan prosessit, joilla koordinaatti- ja korkeusmuunnokset sekä karttalehtijaon vaihto saadaan suoritettua tällaiselle aineistolle. Erityisesti työssä paneudutaan niiden lukuisten kartografisten ongelmien ratkaisuun, joita tällaisissa toimenpiteissä syntyy. Lisäksi työssä suunnitellaan erilaisia todennusmenetelmiä muunnosten onnistumisen valvomiseksi ja seuraamiseksi.

Korkeuskäyrien osalta keskitytään käyrien käsittelyyn, jotta lopputuloksena on visuaalisesti toimiva kantakartta. Työssä tutkitaan, miten käyriä voidaan poistaa sellaisista kohdista, joihin ne eivät kantakartalla kuulu, hyödyntämällä olemassa olevia aineistoja.

Työn haasteet liittyvät aineiston laajuuteen. Vantaan kantakartta koostuu 578 karttalehdestä, jotka ovat mittakaavassa 1:500, ja se sisältää yli 1,7 miljoonaa karttakohdetta. Tällaisen aineiston käsittely manuaalisesti on mahdotonta – pelkkä kokonaistarkastelu on erittäin työlästä. Muunnostyötä suoritettaessa kantakartoilla on ylläpitokatko, mikä tarkoittaa sitä, että kartan viisi aktiivista ylläpitäjää joutuvat tekemään muunnok-

sen ajan muita töitä eikä kartta päivity. Tämän johdosta muunnos täytyy suorittaa mahdollisimman nopeasti. Muunnos täytyy siis suunnitella ja testata mahdollisimman huolellisesti etukäteen, jotta se onnistuu jouhevasti itse muunnostilanteessa. Kaikkien tehtävien prosessien täytyy myös luonnollisesti olla automaattisia.

## **2 Vantaan kaupungin kartta-aineistot**

### **2.1 Mittausosasto**

Vantaan kaupungin mittausosasto huolehtii muun muassa kiinteistöjärjestelmän ylläpidosta, uusien kiinteistöjen muodostamisesta kiinteistönmuodostamislain mukaisesti, rakennusvalvontamittauksista sekä kaupungin paikkatietovarannon ylläpitämisestä. Paikkatietovaranto koostuu vektori- ja rasterimuotoisista kartoista, kuvista ja pistepilvistä. [Mittausosaston esittely 2012.]

### **2.2 Kartta-aineistot mittausosastolla**

Mittausosaston ylläpitämistä kartta-aineistoista merkittävimmät ovat kiinteistörekisterikartta, johtokartta sekä kantakartta. Nämä aineistot ovat jatkuvassa käytössä ja jatkuvassa ylläpidossa sekä sisältävät rakentamisen ja yhdyskuntasuunnittelun kannalta tärkeää tietoa. [Junttila 2012.]

Kiinteistörekisterikartta sisältää nimensä mukaisesti kiinteistörekisterin. Sen ja valtakunnallisen kiinteistötietojärjestelmän (KTJ) yhdenmukaisuudesta huolehditaan siirtotiedostojen avulla. Kiinteistörekisterikarttaa ylläpidetään Vantaalla SITO Oy:n toimittamalla CityGis-kiinteistötietosovelluksella. Sitä käytetään GeoMedian päällä toimivan GeoBas- paikkatietojen ylläpito-ohjelman avulla. Se on tietokantapohjainen kiinteistörekisterin ylläpitojärjestelmä, joka toimii Vantaan Oracle Spatial -tietokannassa. [Ojala 2013.]

Johtokartat sisältävät tiedot kaikista kaupungin alueella olevista maanalaisista johdoista. Se on jaoteltu vesihuoltoverkkoon, sade- ja jätevesiverkkoon, sähköverkkoon, tietoliikenneverkkoon ja kaasu- sekä kaukolämpöverkkoihin. Johtokarttaa ylläpidetään MicroStationin päällä toimivilla Keypro Oy:n KeyYJK- ja KeyAqua-sovellusten työasema-

versioilla. Kuten kiinteistörekisterikartta, myös johtokartta on Oracle Spatial -tietokannassa. [Myllymäki 2013.]

Kantakartta, toiselta nimeltään asemakaavan pohjakartta, sisältää kaiken rakentamisen ja yhdyskuntasuunnittelun kannalta olennaisen tiedon rakennetusta ympäristöstä. Näitä ovat muun muassa tiestö, rakennukset, erilaiset rakenteet, korkeustiedot sekä tiedot maanpinnasta ja muusta ympäristöstä. Kantakarttaa ylläpidetään Bentleyyn tekemällä MicroStationin päällä toimivalla Stella Map -ohjelmistolla. Kantakarttaa ylläpidetään vektorimuodossa tiedostopohjaisessa järjestelmässä, ja se koostuu 578 MicroStationin DGN-tiedostosta ja yli 1,7 miljoonasta karttakohteesta. Kantakarttoja ylläpidetään karttalehtiäossa, ja jokainen tiedosto vastaa yhtä karttaruutua Vantaan alueella. Karttaruudut ovat kooltaan 500 m x 1000 m, ja yhden tiedoston spatiaaliset ulottuvuudet ovat myös karkeasti tämän kokoiset. [Junttila 2012.]

Kantakartta koostuu niin sanotuista XFM-kohteista (XML Feature Modeling). XFM on Bentley Mapin GIS-kohdemalli. Kohdemallia ylläpidetään XML-pohjaisen XFM-skeeman avulla. Skeemassa on kuvailtuna kohteet ja niihin liittyvä metadata sekä erilaisia sääntöjä ja yhteyksiä kohteille ja niiden välille. Karttakohteiden ominaisuustiedot tallennetaan XML-muodossa tiedostoon. [Bentley Map käyttöohje 2012.]

Näiden aineistojen lisäksi Vantaalla on johdettuja kartta-aineistoja, kuten virastokartta, opaskartta ja yleiskartta. Niitä ylläpidetään kantakartan muuttumisen perusteella, eli ne on johdettu kantakartasta. Edellä mainittujen aineistojen lisäksi mittausosastolla tuotetaan lukuisa joukko erilaisia aineistoja, kuten ortoilmakuvia, korkeusmalleja, kaupunkimalleja ja maanalaisten tilojen karttoja. [Wesa 2012.]

### 2.3 Kartta-aineistojen muunnokset

Aineistojen muuntamisessa keskityttiin kolmen massiivisen, jatkuvassa ylläpidossa olevan karttasarjaan, eli johto-, kiinteistö- ja kantakarttaan. Työ jaettiin siten, että johtokartan ja kiinteistökartan muunsivat niiden ylläpitojärjestelmien tuottajat, eli Keypro Oy ja SITO Oy vastaavasti [Junttila 2012]. Kantakartan muunnos toteutettiin mittausosaston omana työnä ja tässä insinööriyössä keskitytään siihen. Kantakartan ohessa muunnettiin siitä johdettu virastokartta, mikä on myös melko suuri aineisto, mutta pää-

periaatteiltaan yleistetty ja suppeampi kantakartta. Täten samat menetelmät, joita sovellettiin kantakarttaan, sopivat pienin muutoksin myös virastokarttaan.

### 3 EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmät

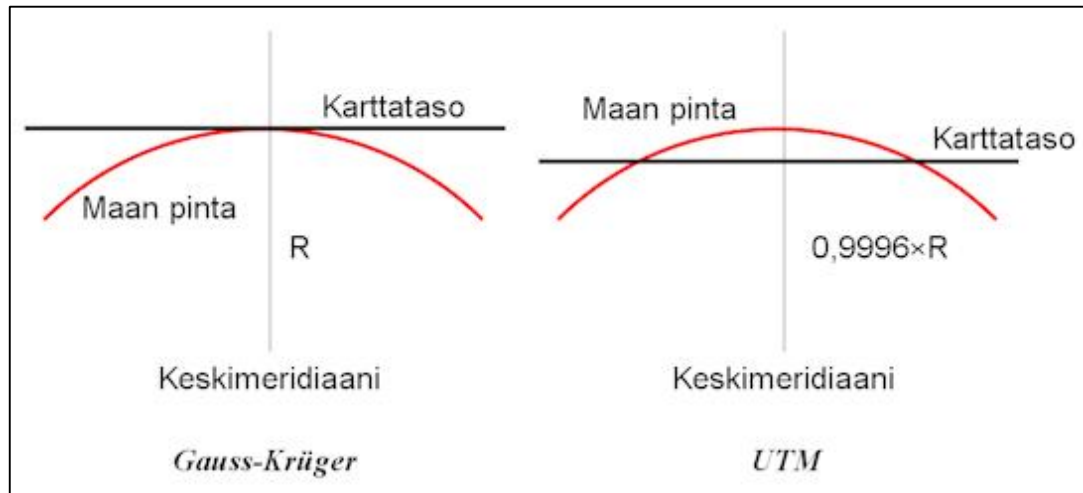
#### 3.1 EUREF-FIN

EUREF-FIN on eurooppalaisen ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio [JHS 153 2008]. Koordinaatistossa suositellaan käytettävän joko ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistoa koko maan mittakaavassa tai paikallisesti jotakin ETRS-GKn-tasokoordinaatistoa, jossa n tarkoittaa projektiokaistan numeroa [JHS 154 2008]. Vantaalla ja muualla pääkaupunkiseudulla otetaan käyttöön ETRS-GK25-tasokoordinaatisto, jossa keskimeridiaani on 25 leveysasteella, ja valeitä on 25 500 000. Valeitä tarkoittaa arvoa, joka on lisätty koordinaatiston itäkoordinaatteihin, jotta millekään pisteelle ei tulisi negatiivisia itäkoordinaatin arvoja [GIS Dictionary 2013].

Karttaprojektio on menetelmä, jossa maan pinta projisoidaan kaksiulotteiselle tasolle. Projektiossa tapahtuu aina vääristymistä joko välimatkojen, muotojen, pinta-alojen tai suuntien osalta, sillä maa on todellisuudessa pallomainen. Maanmittauksessa käytetään yleensä oikeakulmaisia karttaprojektioita. Tämä tarkoittaa sitä, että kohteiden väliset kulmat pysyvät oikeina, mutta niissä esiintyy mittakaavavirhettä kaikkialla muualla paitsi kohdissa, joissa projektiotaso yhtyy maan pintaan. [Häkli ym. 2009: 7–8; Karttaprojektiot 2013.]

ETRS-GK25-tasokoordinaatiston karttaprojektiossa käytetään Gauss-Krügerin (GK) projektiota, joka on sivuva lieriöprojektiio. ETRS-TM35FIN puolestaan käyttää poikittaista Mercatorin projektiota (UTM, Universal Transverse Mercator), joka on leikkaava lieriöprojektiio. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että GK-projektio sivuaa maan pintaa projektiokaistan keskellä, jolloin mittakaavavirhe on projektiokaistan keskellä 0, ja kasvaa liikuttaessa kauemmas siitä. UTM-projektio puolestaan leikkaa maan pintaa kahdessa kohdassa, jolloin projektiovirhe on projektiokaistan kahdessa leikkauspisteessä 0 ja kasvaa liikuttaessa sekä ulommas että keskemmälle kaistalla. TM35-FIN-tasokoordinaatistossa voidaankin esittää koko maan koordinaattitietoja kohtuullisella tarkkuudella, mutta suurta tarkkuutta vaativaan paikalliseen käyttöön suositellaan GK-

projektiota ja sopivaa projektiokaistaa. ETRS-GK:n kunkin projektiokaistan leveys on 1 aste ja ETRS-TM35FIN:n ainoan projektiokaistan leveys on 13 astetta. Kuva 1 havainnollistaa UTM- ja GK-projektioiden eroja. [Häkli ym. 2009: 29; JHS 154 2008.]



Kuva 1. Gauss-Krüger- ja Transverse Mercator -projektioiden ero [Grönroos 2009].

Vantaalla on aiemmin ollut käytössä VVJ, eli vanha valtion järjestelmä. Se oli ensimmäinen valtakunnallinen tasokoordinaatisto Suomessa. Karttaprojektiona on käytetty Gauss-Krügerin projektiota, jossa kaistan keskimeridiaani on 24 leveysasteella. VVJ on jaettu projektiokaistoihin kolmen asteen välein. Sekä itä- että pohjoiskoordinaateista on leikattu pois sadattuhannet metrit, eli koordinaatit ovat viisinumeroisia. [Vantaan kartta-koordinaatisto 2013.]

EUREF-FIN-koordinaatistoon siirtymiseen on monia syitä. Perinteisesti Suomessa on ollut sekalainen joukko erilaisia paikallisia järjestelmiä ja Maanmittauslaitoksen ja monien kuntien käyttämä KKJ eli kartastokoordinaattijärjestelmä. Nämä paikalliset järjestelmät toimivat usein melko pienellä alueella, ja muunnokset niiden ja muiden järjestelmien välillä ovat olleet huonosti määriteltyjä ja puutteellisia. Satelliittimittauksen kehittyminen on myös paljastanut puutteita näiden järjestelmien tarkkuudessa ja homogeenisuudessa. [Lukkari 2006: 19]. Pääkaupunkiseudulla yhteisen koordinaattijärjestelmän ja korkeusjärjestelmän käyttöönoton toivotaan helpottavan kaupunkien rajat ylittäviä rakennushankkeita ja helpottavan yhteistyötä projekteissa, joissa tarvitaan paikkatietoja. Lisäksi kuntalaisten ja yritysten näkökulmasta kunnan tarjoamien paikkatietojen käytettävyys paranee, kun ne tarjotaan yhtenäisessä järjestelmässä, josta tun-

netaan yleisesti muunnokset muihin laajalti käytettyihin koordinaattijärjestelmiin. [Junttila 2012; Rainio 2012.]

Näiden seikkojen lisäksi saavutetaan hyötyjä tavallisen kartoitussatelliittimittauksen tarkkuudessa, sillä dataa ei jouduta muuntamaan mittalaitteessa paikalliseen järjestelmään. Lisäksi VVJ-järjestelmän käytetyn projektiokaistan keskimeridiaani kulki noin 50 kilometriä Vantaalta itään. Tästä johtuen erityisesti Itä-Vantaalla mitattaessa satelliittimittauksiin aiheutui jo huomattavaa mittakaavavirhettä. ETRS-GK25-tasokoordinaatiston keskimeridiaani kulkee juuri sopivasti keskeltä Vantaata, joten mittakaavavirheet koko kaupungin alueella ovat erittäin pienet. [Junttila 2012.]

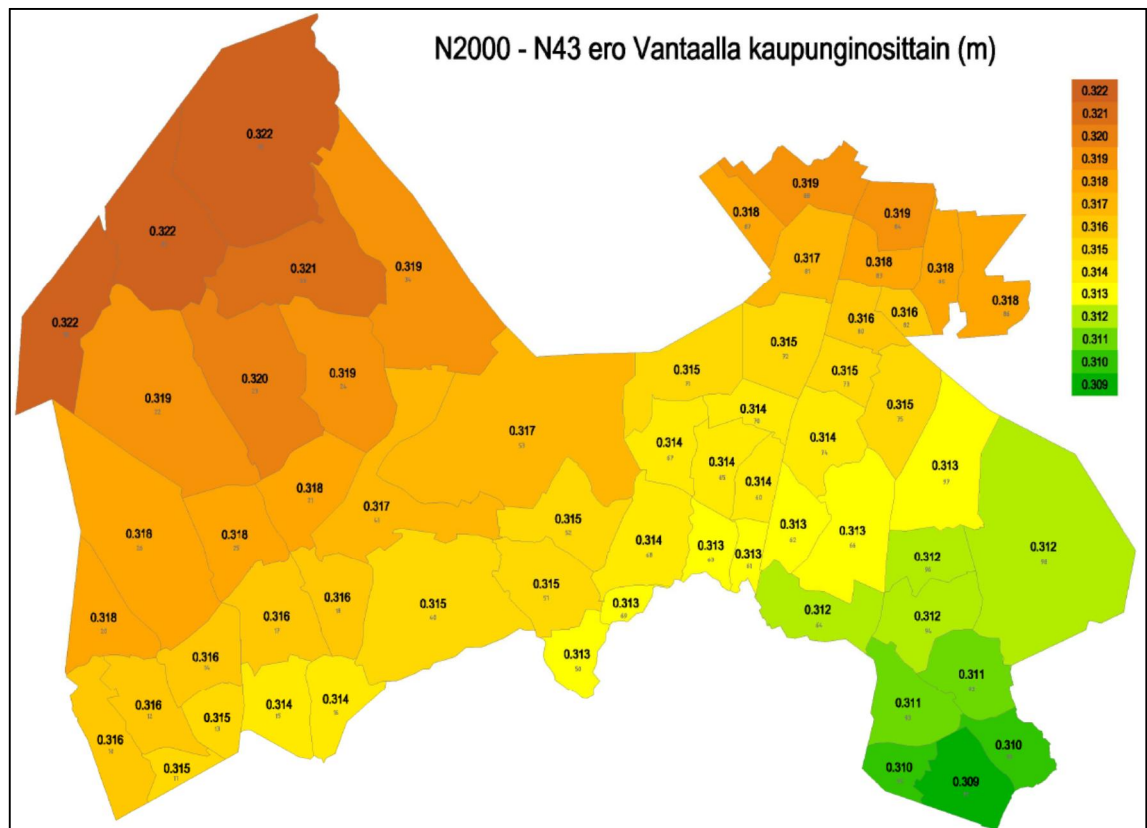
### 3.2 N2000-korkeusjärjestelmä

Vantaalla on ollut pitkään käytössä N43-korkeusjärjestelmä. Järjestelmän nimi juontuu siitä, että sen lähtötaso on sidottu Helsingin keskimerenpintaan vuonna 1943. N2000-järjestelmän lähtötaso on sidottu Amsterdamin NAP-nollatasoon (Normal Amsterdam Peil), joka on Keski-Euroopan maiden yleinen korkeuden nollataso. [Saarikoski 2007: 84.]

Korkeusjärjestelmiä on syytä uusia Suomessa tietyin väliajoin, sillä edellisen jääkauden seurauksena maan pinta nousee jatkuvasti. Tämä johtuu siitä, että aikoinaan raskas jääpeite on painanut maata alaspäin, ja jääpeitteen poistuttua maan pinta jatkaa hidasta palautumistaan ylöspäin. Tämä niin kutsuttu postglasiaalinen maannousema ei ole tasaista Suomessa eikä edes Vantaalla, vaan se voimistuu kaakosta luoteeseen. [Mähönen 2011: 27; Saarikoski 2007: 83–84.]

Vantaalla ja sen läheisyydessä sijaitsee runsaasti Geodeettisen laitoksen ja Maanmittauslaitoksen N2000-tarkkavaaittuja korkeuskiintopisteitä. Vanhat vaaitusjonot voidaan laskea osittain uudestaan N2000-järjestelmään. Lisäksi vuonna 2010 suoritettiin tarkkavaaituksia N2000-järjestelmässä, jotka täydentävät tätä aineistoa. [Piiirainen 2012.] Saadusta aineistosta lasketun muunnoksen perusteella koko kaupungin alueen korkeuden muutoksen keskiarvo on noin 313,7 mm. Se kuitenkin vaihtelee välillä 303–326 mm. Maannouseman muutoksen eroista johtuvaa kallistumaa on siis tapahtunut Vantaalla noin 23 mm. Kuvassa 2 esitetty N43- ja N2000-järjestelmien eroa havainnollista-

va kartta kuvaa hyvin maannouseman nopeuden eroja Vantaalla. [Mähönen 2011: 27–28.]



Kuva 2. N43- ja N2000-järjestelmien erot Vantaalla [Kalso 2012].

### 3.3 INSPIRE-direktiivi

Euroopan unionin vuonna 2007 hyväksymä INSPIRE-direktiivi (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) määrittelee julkisen hallinnon paikkatietoaineistojen ja palveluiden saatavuutta sekä niiden metatietoja. Direktiivi edellyttää, että jäsenmaiden on pystyttävä toimittamaan paikkatietoa yhteiseurooppalaisessa koordinaattijärjestelmässä [Saarikoski 2007: 84].

Vuonna 2009 Suomessa tulivat voimaan laki- ja asetus paikkatietoinfrastruktuurista, jotka määrittelevät, miten direktiiviä sovelletaan Suomessa. Laki velvoittaa viranomaisia laatimaan ja ylläpitämään yhteiskäyttöisen paikkatietoaineiston, joka on saatavilla

internetissä [Direktiivi, laki ja asetus 2013]. Käytännössä tämä tarkoittaa kuntien kanalta sitä, että aineistoa täytyy pystyä toimittamaan eteenpäin jossakin EUREF-FIN:n mukaisessa koordinaatistossa. Koska muunnokset täytyy joka tapauksessa olla määriteltynä, aiemmin mainittujen hyötynäkökohtien johdosta on luonnollista vaihtaa ylläpitojärjestelmää. Toiminta helpottuu, mikäli kunnan omassakin paikkatietoaineistojen ylläpidossa käytetään EUREF-FIN-järjestelmää.

### 3.4 EPSG-koodit

EPSG-koodit ovat kansainvälinen, ohjelmistoriippumaton menetelmä erilaisten geodeettisten järjestelmien tunnistamiseen. European Petroleum Survey Group kehitti järjestelmän helpottamaan erilaisten koordinaattijärjestelmien tunnistamista yksiselitteisesti. EPSG-koodeilla on luokiteltu muun muassa maantieteellisiä alueita, koordinaattimuunnoksia, koordinaattijärjestelmiä ja korkeusjärjestelmiä. [Using the EPSG Geodetic Parameter Dataset 2012.] Tässä työssä puhutaan aina koordinaattijärjestelmien EPSG-koodeista. EPSG-koodit yksilöivät käytetyn koordinaattijärjestelmän lisäksi muun muassa seikkoja, kuten koordinaattien esitysjärjestyksen ja käytetyt mittayksiköt [Tolkki 2012].

Vantaalla käyttöön otettavan ETRS-GK25-tasokoordinaatiston EPSG-koodi on EPSG:3879. Lisäksi Vantaalla puhutaan sisäisesti EPSG:92-tasokoordinaatistosta, jolla viitataan vanhaan VVJ-järjestelmään (Vantaan kuntakoodi on 92). Tämä on kuitenkin epävirallinen koodi, jota ei tulla käyttämään Vantaan ulkopuolella. Liitteessä 1 on esitelty EUREF-FIN:n mukaisten koordinaatistojen EPSG-koodit.

### 3.5 Geodeettinen pohja ja muunnosmenetelmät

Vantaalla suoritettiin 1990-luvun lopussa ensimmäisiä staattisia satelliittimittauksia runkopisteille. Niiden myötä havaittiin olemassa olevan kolmiopisteverkon epähomogeenisuus. Kolmiopisteverkolle suoritettiin uudelleenmittaus ja tasoitus käyttäen staattista satelliittimittausta. Näiden toimenpiteiden johdosta Vantaan runkopisteverkko on ylempien luokkiensa osalta erittäin homogeeninen. [Lukkari 2006: 19.]

Vuonna 2006 Lukkarin AMK-insinööriyössä määriteltiin Vantaan EUREF-FIN-liitos. Työssä määriteltiin kaupungin kolmiopisteille EUREF-FIN-koordinaatit ja määriteltiin muunnos EUREF-FIN- ja VVJ-koordinaattijärjestelmien välille. Liitos toteutettiin sitomalla Vantaan runkoverkko GPSNet.fi-palvelun Hyvinkään, Lohjan, Pernajan ja Vantaan VRS-tukiasemiin kuuden valitun liitospisteen kautta staattisella satelliittimittauksella. [Lukkari 2006: 20–24.]

Liitoksessa määritettyjen muunnosparametrien avulla voidaan MicroStation V8i -ohjelman *Geocoordinate*-työkalulla muuntaa Vantaan paikallisen VVJ-järjestelmän koordinaatteja muihin tunnettuihin koordinaattijärjestelmiin. Tässä muunnoksessa käytetään 7-parametrinen Bursa-Wolf-muunnosta, jota kutsutaan usein myös kolmiulotteiseksi yhdenmuotoisuusmuunnokseksi, 3D-helmertiksi tai vain 7-parametriseksi muunnokseksi. Bursa-Wolf-muunnos muuntaa geosentrisiä koordinaatteja toisen järjestelmän geosentrisiksi koordinaateiksi. Sen jälkeen koordinaatit yleensä muunnetaan maantieteellisiksi koordinaateiksi ja projisoidaan haluttuun projektioitasoon. Muunnoksen parametreina määritellään mittakaavakerroin, kierto kaikkien koordinaattiakselien suhteen sekä origon siirtovektori. Muunnoskaava on esitetty kuvassa 3.

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = (1 + m) \begin{bmatrix} 1 & e_z & -e_y \\ -e_z & 1 & e_x \\ e_y & -e_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

$X_1, Y_1$  ja  $Z_1$  ovat koordinaatit lähtökoordinaatistossa

$X_2, Y_2$  ja  $Z_2$  ovat koordinaatit uudessa koordinaatistossa

$\Delta X, \Delta Y$  ja  $\Delta Z$  muodostavat koordinaatistojen origojen välisen siirtovektorin

$e_x, e_y$  ja  $e_z$  ovat koordinaatistojen akselien väliset kierrot

$m$  on mittakaavakerroin.

Kuva 3. 7-parametrinen Bursa-Wolf-muunnos. [Coordinate Conversions and Transformations 2012: 123–124.]

## 4 Karttalehtijako

Karttalehtijako on karttojen painamista ja ylläpitoa varten kehitetty järjestelmä. Siinä kartta koostuu useista, yleensä suorakulmaisista karttalehdistä, jotka yhdessä muodostavat kartan tai kartaston. Karttalehtijakoa voidaan myös käyttää ylläpidon apuvälineenä, kun toimitaan tiedostopohjaisessa järjestelmässä. Se jakaa luontevasti dataa eri tiedostoihin. Valitsemalla sopiva karttalehtijako aineiston ylläpitoon vältetään yksittäisten tiedostojen kasvaminen liian suureksi suhteessa käytettävissä olevaan konetehoon. Valitsemalla sopivan kokoinen lehtijako suhteessa ylläpitäjien määrään voidaan tiedostopohjaisessa ylläpidossa myös välttää konflikteja, jotka johtuvat tiedostojen lukkiutumisesta yhden ylläpitäjän käyttöön.

Karttatiedostot voidaan myös nimetä lehtijaon perusteella siten, että tiedoston nimestä selviää sen spatiaaliset ulottuvuudet, aineiston tyyppi ja tarvittaessa muita metatietoja. Esimerkiksi tiedostonimestä jz685495x2.dgn selviää, että kyseessä on johtokartan sähköverkkoja sisältävä tiedosto, jonka vasemman alakulman koordinaatit ovat  $[N, E] = [6685000, 25495000]$  ja karttalehden koko on 2 x 2 kilometriä. Lisäksi karttalehtijakoa voidaan hyödyntää paikannusindeksinä paikkatietojärjestelmässä [Tolkki 2012].

Vantaan kantakarttaa on perinteisesti ylläpidetty 500 m x 1000 m:n kokoisessa suorakaiteen muotoisissa karttalehdissä. Kantakartta on koostunut 578 karttalehdestä ja vastaavasti 578 tiedostosta. Virastokartta puolestaan on koostunut 52 2000 m x 4000 m:n kokoisesta karttalehdestä.

Siirryttäessä EUREF-FIN-koordinaatistoon siirrytään samalla yhdessä Espoon, Helsingin ja Kauniaisten kanssa luotuun ETRS-GK25-karttalehtijakoon, ja kanta- sekä virastokartta siirretään sen mukaisiin tiedostoihin. Yhteinen karttalehtijako yhtenäistää pääkaupunkiseudun paikkatietoaineistoja, ja se on loogista ottaa käyttöön EUREF-muunnoksen yhteydessä.

### 4.1 Lehtijaossa ylläpidettävän kartan erityispiirteitä

Lehtijaossa ylläpitoon liittyy väistämättä muutamia erityispiirteitä. Ylläpitäjä valitsee yleensä paikkatietojärjestelmän indeksistä, minkä karttalehden hän haluaa avata aktiiv-

viseksi. Tämän jälkeen hän saa kirjoitusoikeudet kyseiseen tiedostoon, ja tällöin tiedosto on lukittu muilta käyttäjiltä.

Karttakohteet sijoitetaan pääsääntöisesti karttalehdelle, jonka alueella ne sijaitsevat. Aluemaiset kohteet puolestaan sijoitetaan karttalehdelle, jonka alueella niiden painopiste sijaitsee. Tähän on poikkeuksena muun muassa rakennusten erilliset komponentit, kuten portaat tai katokset, jotka sijoitetaan aina samalle lehdelle pääkohteen kanssa. Viivamaiset kohteet katkaistaan aina karttalehden rajaan ja jatketaan seuraavalla karttalehdellä. Tekstit ja symbolit sijoitetaan niiden origopisteen mukaisesti jollekin karttalehdelle, ja ne voivat ulottua usean lehden alueelle. Ylläpitäjän näkökulmasta tämä tarkoittaa sitä, että käsiteltäessä kartoitusdataa, joka sijaitsee karttalehtien rajoilla, hän joutuu yleensä vaihtamaan tiedostoa työn aikana. [Mittausosaston laatujärjestelmä 2013.]

#### 4.2 ETRS-GK25-karttalehtijako

Uusi pääkaupunkiseudun ETRS-GK25-karttalehtijako poikkeaa hieman Vantaalla aiemmin käytetystä lehtiasta. Karttalehtiäön perusruudun koko on 1 x 1 km, kun aiemmin perusruutukoko oli 500 m x 1000 m. Muita käytettäviä ruutukokoja ovat 250 x 250 m, 500 x 500 m, 2 x 2 km, 5 x 5 km ja 10 x 10 km. Tarvittaessa vierekkäiset karttaruudut voidaan yhdistää, jolloin ne muodostavat suorakulmaisen karttaruudukon, kuten Vantaalla aikaisemmin käytetyssä lehtiassa. [Tolkki 2012.]

Ruudut nimetään aina siten, että etuliitteenä on tekstimuotoinen aineistotunnus, jota seuraavat ruudun vasemman alakulman koordinaatit leikattuna 1000 km:n tarkkuudelle. Pohjoiskoordinaatista leikataan miljoonat metrit pois ja itäkoordinaatista leikataan kymmenet miljoonat ja miljoonat metrit pois. Karttalehti sijaitsee aina tasakoordinaateissa. Esimerkiksi *ka650500* tarkoittaa kantakartan 1 x 1 km:n karttalehteä, jonka vasemman alakulman pohjoiskoordinaatti on (6) 650 (000) ja itäkoordinaatti (25) 500 (000). Jälkiliitteillä voidaan määritellä muut ruutukoot tai yhdistelmäruudut. [Tolkki 2012.]

### 4.3 Siirtyminen lehtijaosta toiseen

Siirryttäessä lehtijaosta toiseen joudutaan käytännössä luomaan tyhjä, uutta karttalehtijakoa vastaavat tiedostot, joille kiinnitetään kaikki lähtöaineiston tiedostot, jotka peittävät uudelleenprojisoituna uuden karttalehden aluetta. Tämän jälkeen datasta leikataan karttalehden rajojen mukaisesti uusi tiedosto. Tässä prosessissa joudutaan noudattamaan samoja sääntöjä elementtien sijoitukseen liittyen kuin ylläpitäjätkin.

Ensimmäiseksi työssä selvitettiin, mitkä ovat erilaisten muunnoksessa käytettävien karttalehtijakojen leikkaukset. Toisin sanoen, mitkä karttalehdet osuisivat toistensa alueille, mikäli ne olisivat samassa koordinaatistossa. Tämän selvittämiseksi vanhat VVJ-lehtijaon 1:1000-mittakaavaiset (500 x 1000 m), ja 1:4000-mittakaavaiset (2 x 4 km) lehtijakoindeksit uudelleenprojisoitiin MicroStationilla EPSG:3879-järjestelmään. Sen jälkeen ne vietiin PostGIS-tietokantaan aluemaisina kohteina yhdessä ETRS-GK25-lehtijakoindeksien kanssa. Kantaan vietiin kaikki tehdyt ETRS-GK25-lehtijaot. PostGIS on spatiaalinen laajennus avoimen lähdekoodin PostgreSQL-tietokantaan [About PostGIS 2013].

Seuraavaksi kannassa muodostettiin kyselyt sen selvittämiseksi, mitkä karttalehdet leikkaavat toisiaan. Näin muodostettiin listat VVJ-GK25 karttalehtien leikkauksista vastaamaan sekä kysymykseen *Mitkä VVJ-karttalehdet leikkaavat tätä GK25-karttalehteä?* että *Mitkä GK25-karttalehdet leikkaavat tätä VVJ-karttalehteä?* Lisäksi GK25-karttalehdistä muodostettiin listaukset naapuruussuhteista. Tätä tietoa tullaan tarvitsemaan tämän projektin lisäksi monissa muissa operaatioissa, kuten automaattisissa karttatulostuksissa [Junntila 2012].

## 5 Kantakartan tasomuunnoksen toteutus

Kantakartan tasomuunnos ja uuteen lehtijakoon siirto tapahtuvat loogisesti samanaikaisesti. Peruspiirteissään prosessissa avataan tyhjä, uutta EUREF-karttalehteä vastaava tiedosto. Tähän tiedostoon kiinnitetään referenssiksi sellaiset VVJ-kantakartan karttalehdet, jotka osuivat uudelleenprojisoituna käsiteltävän EUREF-lehden alueelle. Kiinnitettävät lehdet voidaan lukea tehdyistä listauksista. Sen jälkeen referenssit uudelleenprojisoidaan ETRS-GK25-tasokoordinaatistoon ja muodostetaan suorakulmainen aluerajaus, joka noudattelee karttalehden rajoja. Tämän jälkeen karttaelementit kopioidaan aluerajauksella leikaten uuteen tiedostoon.

### 5.1 Muunnostyökalu

Itse koordinaattimuunnostyökaluna käytettiin MicroStationin sisäänrakennettua koordinaattimuunninta, joka ilmestyi ensimmäisen kerran Bentley Mapin XM-versiossa ja on mukana MicroStationin perusversiossa V8i SS1 -versiosta alkaen. Työkalulla voi muuntaa tiedostoja koordinaattijärjestelmästä toiseen. Muunnostyökalu käyttää perustana kaikille muunnoksille Yhdysvaltain puolustusministeriön luomaa WGS84-koordinaattijärjestelmää (World Geodetic System). Toisin sanoen kaikki muunnokset tapahtuvat sen kautta. Muunnostyökalun asetuksista voi muun muassa valita, saavatko teksti- tai symbolikohteet kääntyä tai skaalautua koordinaatiston mukana. Lisäksi voidaan valita, muutetaanko kaaret, käyrät tai ellipsit viivoiksi ja millä toleranssilla. [MicroStation käyttöohje 2013.]

MicroStationin V8i SS2 -versiossa ei ole valmiiksi määriteltynä Vantaalla käytettyä VVJ-tasokoordinaatistoa, eikä myöskään ETRS-GK25-tasokoordinaatistoa pitkällä itäkoordinaatilla (EPSG:3879). Sen sijaan lyhyellä itäkoordinaatilla eli valeidän arvolla 500 000 koordinaatisto on määritely (EPSG:3132). Työkaluun täytyi siis määritellä itse nämä kaksi koordinaatistoa ennen kuin muunnoksia pystyttiin tekemään. Koordinaattijärjestelmä määritellään MicroStationiin valitsemalla muunnosmenetelmä ja parametrit, joilla WGS84-koordinaatit muuntuvat määriteltävän järjestelmän koordinaateiksi. VVJ määriteltiin vuoden 2006 satelliittimittauksista johdettujen muunnosparametrien pohjalta. Sen ja WGS84:n väliset muunnokset tapahtuvat 7-parametrisella Bursa-Wolf-muunnoksella. Kopioimalla EPSG:3132-määrittely ja muuttamalla sen valeidän arvoksi

25 500 000 saatiin määriteltyä EPSG:3879, eli ETRS-GK25 pitkällä itäkoordinaatilla. [Junttila 2012.] Kuvassa 4 on VVJ:n ja WGS84:n väliset muunnosparametrit.

The image shows a software window titled "Datum-editori" with a blue header. The main area is divided into several sections:

- Datumin avainnimi:** A dropdown menu showing "VVJ\_Vantaa". To the right is a checkbox labeled "Vain luku".
- Ellipsoidi:** A list box containing:
 

116	IndonesianN
117	INTNL
118	IUGG-67
119	IUGG-75
- Siirrä käyttämällä:** A dropdown menu showing "Bursa-Wolfe".
- Bursa-Wolfe Molodensky:** A section with two columns of input fields:
 

Delta X [m]	-131.3347	Kierr. X [sek.]	-0.876410
Delta Y [m]	-285.9550	Kierr. Y [sek.]	2.475200
Delta Z [m]	-61.26420	Kierr. Z [sek.]	2.403600
	(WGS84:ään)	BW-mittakaava [ppm]	-1.280025
- Kuvaus:** A text field containing "Vanha valtion järjestelmä (VVJ)".
- Tietolähde:** A text field containing "Vantaan kaupunki/mittaosasto/Veijo Keveri 4.3.2008 (X-Global)".
- Buttons:** Four buttons at the bottom: "Lisää/Päivitä", "Poista", "OK", and "Peru".

Kuva 4. VVJ-muunnosparametrit [Junttila 2012].

Testeissä muunnostyökalu toimi hyvin nopeasti ja luotettavasti. Muutaman megatavun vektoritiedoston uudelleenprojisoiminen vei aikaa noin 1–3 sekuntia, eikä mitään ongelmia toimivuuden kanssa havaittu. Määritelty muunnos puolestaan oli hyvin tarkka: verrattaessa 35 kolmiopisteen muunnettuja koordinaatteja tasoituslaskennasta saatuihin koordinaatteihin, jäännösvirheiden keskiarvo oli 5,5 mm. [EUREF-FIN käyttöönotto-raportti 2012.]

## 5.2 Tasomuunnoksessa havaitut ongelmat

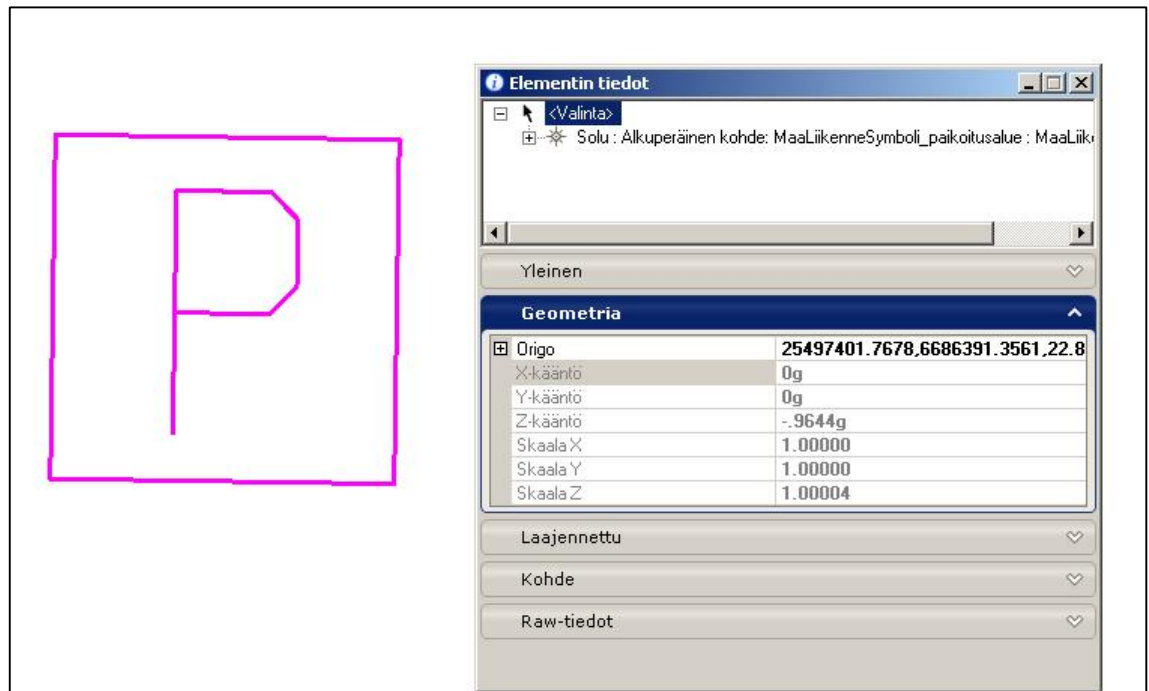
Muunnoksessa todettiin jo ensimmäisissä suunnittelupalavereissa muutamia ongelmia. Lisäksi muunnosta suunniteltaessa ja testattaessa niitä paljastui lisää. Ongelmat olivat pääsääntöisesti luonteeltaan kartografisia ja visuaalisia, mutta myös muutamiin tekniisiin ongelmiin törmättiin.

### 5.2.1 Elementtien kääntyminen koordinaatiston mukana

Kun vaihdetaan koordinaattijärjestelmästä toiseen, koordinaatiston akselit usein kääntyvät. Tämä piti paikkansa myös tässä projektissa. Kääntö ei ole kovin suuri, mutta kuitenkin silmin havaittava, noin  $-0,9644$  gon. Tämä aiheuttaa ongelmia niissä kohteissa, joiden on tarkoitus sijoittua kartalla vaakasuoraan. Tällaisia ovat muun muassa paikannimet ja monet erilaiset symbolit, kuten metsän symboli tai käyttötarkoitusteksti. Kaikki ongelmaelementit ovat kuitenkin joko tekstejä tai soluja.

Koordinaatistomuunnos (*geocoordinate*) -työkalulla pystyy määrittelemään muunnoksen siten, ettei pistemäisten elementtien kääntö muutu. Asia ei kuitenkaan ole niin yksioikoinen, sillä esimerkiksi katujen nimet on sijoitettu katujen suuntaisesti ja niiden täytyy kääntyä koordinaatiston mukana, kuten itse katukin kääntyy. Vantaan kartoilla on myös tiettyjä soluja, joiden täytyy kääntyä muunnoksessa, kuten ojien ja jokien virtaussuuntanuolet.

Yksi vaihtoehto ongelman ratkaisemiseksi olisi se, että suoritettaisiin muunnos siten, että jokainen elementti kääntyy muunnoksessa. Sen jälkeen voitaisiin etsiä ohjelmallisesti kaikki elementit, joiden kääntö on tasan eri järjestelmien pääakselien välisen kulman verran, eli  $-0,9644$  gon, ja kääntää nämä elementit takaisin vaakatasoon. Toinen vaihtoehto puolestaan olisi se, että muunnoksen yhteydessä kantakartta halkaistaan kahteen tiedostoon ja osa aineistosta muunnetaan eri asetuksilla kuin muut. Tämän jälkeen tiedostot taas yhdistetään. Kuva 5 havainnollistaa, mitä vaakatasoon sijoitettujen symbolien kääntymisellä tarkoitetaan.



Kuva 5. Vaakatasoon sijoitetun solun kääntyminen koordinaatistomuunnoksessa.

### 5.2.2 Aluemaisten elementtien leikkautumissäännöt

Toinen varhaisessa vaiheessa todettu ongelma liittyi aluemaisiin elementteihin ja kartan leikkaamiseen uuteen lehtijakoon. Aluemaisia elementtejä ei haluta leikata lehtijaon rajalla ja siten pilkkoa esimerkiksi satoja rakennuksia kahteen osaan, jotka sijoittuisivat eri karttalehdille. Aluemainen elementti täytyykin säilyttää muunnoksessa yhtenä kokonaisuutena, mutta sijoittaa vain yhdelle niistä karttalehdistä, joiden aluetta se peittää. Tämä vaatisi monimutkaisen kopiointialgoritmin kirjoittamista, joka tutkisi esimerkiksi minkä karttalehden alueella elementin painopiste sijaitsee. Tätä luotettavammaksi ja turvallisemmaksi arvioitiin menetelmä, jossa aluemaiset elementit kopioitaisiin kaikille lehdille, joita ne peittävät, ja jälkikäteen ajettaisiin jälkikäsitteilyohjelma joka poistaa jollakin yksiselitteisellä säännöllä elementin kaikilta paitsi yhdeltä lehdeltä. Myös tässä tapauksessa alkoi näyttää siltä, että erityyppisten elementtien erottaminen kartalta omaksi tiedostosarjaksi voisi olla järkevä ratkaisu.

### 5.2.3 Useista elementeistä koostuvat kompleksit

Yksi ongelma on useista elementeistä koostuvien kompleksien, kuten rakennusten, käsittely. Vantaan kantakartalle kuvatut rakennukset koostuvat rakennuskohteen lisäksi

useista muista kohteista, kuten katoksista, portaista, terasseista, ajoluiskista, käyttötarkoitusteksteistä ja muista rakennuksen osista. Nämä kohteet eivät ole millään lailla linkitettyjä toisiinsa tai saman pääkohteen alikohteita.

Kartan ylläpidossa kaikki rakennuksen osat piirretään samalle karttalehdelle kuin varsinaisen rakennuskin. Tämä onkin järkevää ja selkeää ja vähentää virheen mahdollisuutta muun muassa tonttijakojen tai uusien rakennusten paikkojen laskennassa. Projektia suunniteltaessa todettiin, että jopa tuhannet rakennukset hajoaisivat monelle eri karttalehdelle, jos niitä ei käsiteltäisi erikseen.

#### 5.2.4 Käyrien siirtyminen leikattaessa

Ensimmäisissä testeissä havaittiin, että käyrämäiset elementit, joissa oli hyvin harvakseltaan taitepisteitä, saattoivat leikattaessa siirtyä jopa noin kahden senttimetrin verran. Tämä johtuu siitä, että käyrän visuaalinen pyöristyminen riippuu sen muodostavista taitepisteistä. Kun käyrä leikataan, leikatun osan taitepisteet poistetaan ja leikkauspisteisiin muodostetaan uudet taitepisteet, ja käyrän pyöristyminen lasketaan uudelleen. Erityisesti silloin, jos taitepisteitä on melko harvassa, tapahtuu leikattaessa huomattavaa siirtymistä. Käyräelementtejä ei saisi käyttää sellaisten kohteiden kuvaamiseen, joiden sijaintitieto esitetään suurella tarkkuudella. Käyrien sijaan tulisi käyttää murtoviivoja.

Käyrämäisiä elementtejä todettiin olevan kantakartalla huomattavan paljon. Niitä oli käytetty myös tarkkuudeltaan kriittisten kohteiden, kuten tien reunaviivan kuvaamiseen. Lisäksi käyräelementit siirtyivät taitepisteidensä välillä jonkin verran koordinaatistomuunnoksessa, mutta tämä ilmiö oli vähäistä: siirtymiset olivat noin 1 millimetrin suuruisia. Aineistolle päätettiin näiden seikkojen johdosta suorittaa etukäteen korjausajo, jossa tietyt käyrämäisiä elementtejä muutetaan viivamaisiksi. Muutettavia elementtejä olivat muun muassa tien reunaviivat, koska niiden sijaintitiedolta edellytetään suurta tarkkuutta.

#### 5.2.5 Korkeuskäyrät uudessa korkeusjärjestelmässä

Siirryttäessä uuteen korkeusjärjestelmään vanhoista korkeuskäyrästä tulee käytännössä käyttökelvottomia. Tämän projektin yhteydessä luodaan uusi käyrästä kantakartalle,

mutta se tapahtuu varsinaisten muunnosten jälkeen. Muunnoksen yhteydessä korkeuskäyrät jätetään yksinkertaisesti pois kartoilta. Korkeuskäyristä kerrotaan tarkemmin luvussa 7 (Korkeuskäyrien tuottaminen uuteen korkeusjärjestelmään).

#### 5.2.6 Suorituskykyvaatimukset laitteistolle

Tässä projektissa tehtävät operaatiot ovat melko raskaita, ja se täytyy ottaa huomioon suunniteltaessa prosesseja. Erityisesti massiivisten XFM-kohteista koostuvien aineistojen kopioiminen tai poistaminen Stella Mapilla on erittäin raskasta. Tämä saattaa johtua XFM-kohteiden manipulointiin käytettävien työkalujen ongelmista, kuten muistivuodoista tai ylipäänsä tietomallin raskaudesta. Ongelmat korostuvat työskennellessä heikotehoisilla tietokoneilla, jollaisia Vantaallakin käytetään. Tavanomaisessa työasemassa on Intel Core 2 Duo 3 GHz -prosessori ja vain 2 GB RAM muistia, joka onkin tällaisissa operaatioissa usein pullonkaulana.

Ongelmia voidaan osittain kiertää käynnistämällä Stella Mapin sijaan esimerkiksi pelkkä Bentley Map tai pelkkä MicroStation. Nyrkkisääntönä voidaan sanoa, että Stella Mapia käytetään operaatioissa, joihin tarvitaan määritellyn kohdemallin sääntöjen pakottamista elementeille. Bentley Mapia tarvitaan, jos edellä mainittu ei ole tarpeen mutta XFM-ominaisuuksien käsittelyä tarvitaan. Pelkkää MicroStationia käytetään, jos XFM-ominaisuuksista ei tarvitse välittää lainkaan. Tässä projektissa suurin osa operaatioista on tehty käyttäen Bentley Mapia ja viimeistelyt Stella Mapia käyttäen. Erityisesti jättämällä Stella Map pois saavutetaan merkittävä hyöty suorituskyvyn suhteen.

Mainittakoon vielä, että tietyissä elementeissä saattaa ilmetä omituista käyttäytymistä, mikäli niitä manipuloidaan pelkässä Bentley Map -istunnossa ilman Stella Map -skeeman latausta. Esimerkiksi aluemaisiin kohteisiin liitetyt assosiaatioalueet saattavat kopioitaessa hypätä ilmeisesti satunnaisille tasoille ja väreille, vaikka itse pääkohde säilyttäisikin ulkoiset ominaisuutensa. Ongelman voi korjata jälkikäteen Stella Mapin työkalulla ”päivitä ulkoasu” (komento *UpdateOutlook*) tai MVBA:n XFT Object Libraryn metodilla *Feature.ApplyAttributeChanges*.

### 5.3 Tasomuunnoksen toteutus

Pääkaupunkiseudun kunnat siirtyivät virallisesti käyttämään uutta koordinaattijärjestelmää 1.12.2012. Vantaalla muutos tapahtui käytännössä pienellä liukuma-ajalla eri aineistojen osalta. Kanta- ja virastokartta päätettiin muuntaa maanantaina 3.12.2012 alkavalla viikolla, ja alustavasti ylläpitokatkon pituudeksi kaavailtiin vähintään kolmea päivää tai tarvittaessa koko viikkoa. Projekti piti siis toteuttaa alusta loppuun tässä ajassa, ja kaikki ongelmat ja hidasteet olisivat pitkittäneet kartan ylläpitokatkoa. [Junttila 2012.]

#### Aineiston esivalmistelut

Kaikki kantakartan tiet, kiitoalueet ja junaradat käytiin läpi ennen muunnoksen aloittamista, ja sellaiset elementit, joiden elementtityyppi oli käyrä (*curve*) muutettiin murtoviivoiksi (*line string*) 1 mm toleranssilla. Tämä muutos tehtiin, jotta välttyttiin elementtien sijainnin muuttumiselta erityisesti siinä vaiheessa, kun niitä leikataan uuteen karttalehtijakoon.

Toinen aineistolle tehtävä esivalmistelu liittyi muunnoksen todentamiseen. Jokaiselle kantakartan rakennukselle annettiin yksilöllinen ID. Sen jälkeen rakennuksista tehtiin listaus, johon kerättiin ID, koordinaatit ja pinta-ala. Tämä mahdollistaa sen, että listoja ristiin vertaamalla saadaan nopeasti selville, ovatko kaikki samat yksilölliset rakennukset kertaalleen sekä VVJ-kartalla että luotavalla EUREF-kartalla. Rakennukset ovat kantakartan tärkein yksittäinen paikkatieto, joten oli luontevaa valita se ylimääräisen kontrollin piiriin.

Yksi tärkeä osio esivalmisteluissa oli rakennusbufferiaineiston luominen kantakartan rakennuksista ja rakennuksen osista. Bufferoinnilla tarkoitetaan GIS:ssä tietyn levyisen alueen luontia pistemäisen, viivamaisen tai aluemaisen elementin ympärille [Mandagerre 2013]. Työhön käytettiin Bentley Mapin GeoScripts-työkalua, jolla on mahdollista kirjoittaa nopeasti yksinkertaisia skriptejä erilaisia spatiaalisia ja topologisia analyyseja varten. Rakennusbuffereista kerrotaan tarkemmin luvussa 5.3.6 (Rakennuskompleksien hallinta sulautetuilla buffereilla).

Tämä vaihe projektissa vei eniten laskenta-aikaa tietokoneilta, minkä vuoksi se täytyikin aloittaa hyvissä ajoin ennen varsinaista muunnosta. Operaatio vei yhteensä lähes

neljä vuorokautta neljältä työhön käytetyltä tietokoneelta. Koska kantakartalle tulee lähes päivittäin uusia rakennuksia, täytyi rakennusbufferiaineiston ajantasaistamiseksi myös kirjoittaa seurantaohjelma, joka etsii kartoilta kaikki sellaiset rakennukset, jotka eivät ole vielä minkään rakennusbufferin sisällä.

Ennen muunnosta täytyi lisäksi selvittää, mitkä karttakohteet kuuluivat mihinkin muunnoksessa tehtävään tiedostosarjaan. Kaikista tiedostosarjoista muodostettiin tasolistaukset siten, että jokaisen kantakartalla esiintyvän elementin taso oli yhdessä listassa. Näitä listoja käytettiin myöhemmin hyväksi itse muunnoksen aikana kontrolloimaan kunkin tiedostosarjan luonnin aikana käsiteltäviä tasoja.

### 5.3.1 Testialueet

Aineiston massiivisuuden johdosta ei ollut läheskään realistista testata erilaisia vaihtoehtoja tai parametreja tekemällä muunnosta koko kaupungin alueelle. Se ei olisi ollut myöskään tarpeellista, sillä mikä tahansa riittävän laaja alue antaa riittävästi palautetta muunnoksen toimivuudesta. Tämän johdosta muunnosta lähdettiin suunnittelemaan testialueen pohjalta. Testialueeksi valittiin Tammisto-Kartanonkoski-Pakkala-alue. Alue koostui 30 kantakartan lehdestä, ja siitä muodostui 24 uutta ETRS-GK25-karttalehteä.

Testialueella tehtyjen pitkällisten testien perusteella päädyttiin valitsemaan sopivat työkalut muunnoksen, leikkausten ja kopiointien tekemiseen ja kirjoittamaan valmiit skriptat, joilla muunnos tapahtuisi automaattisesti, kun sen aika tulisi. Testialueilla myös todennettiin, että muunnos on riittävän tarkka ja toimii ongelmitta ja tarpeeksi nopeasti. Testialueen muuntamiseen kulunutta aikaa ekstrapoloimalla päädyttiin arvioon, että muunnokseen tarvitaan ainakin kolme tietokonetta, jotta päästään haluttuihin aikamääreisiin.

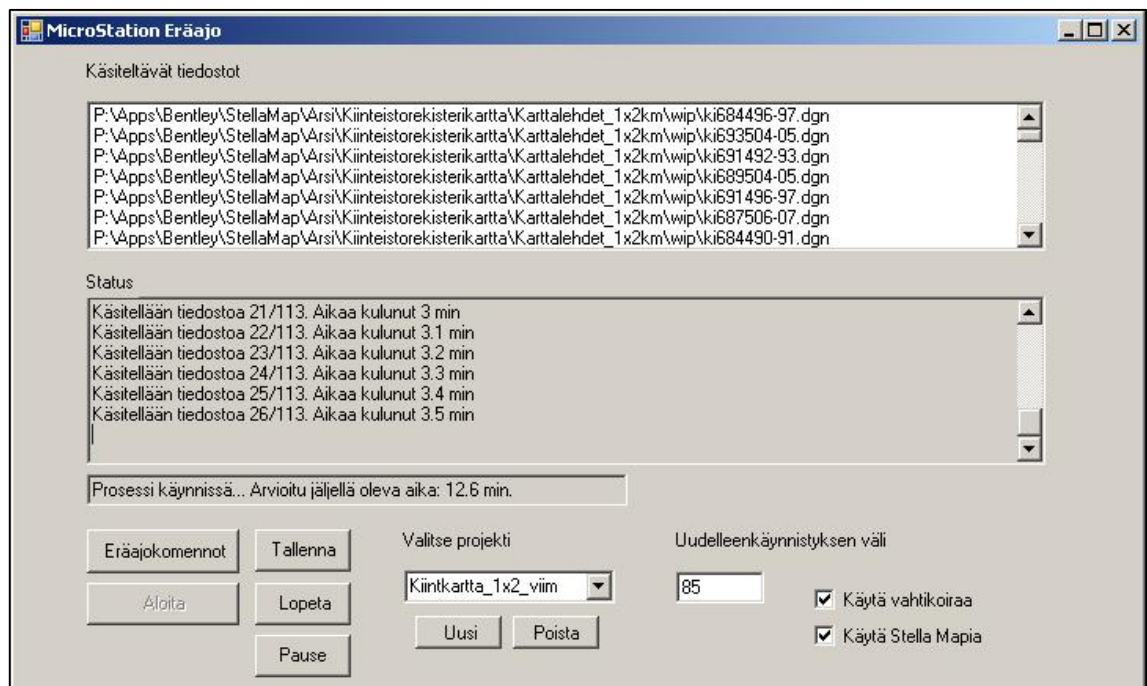
### 5.3.2 Eräajotyökalu

Vantaalla on aikaisemmin muun muassa Stella Map -konversioprojektin yhteydessä todettu MicroStationin sisäänrakennettu eräajotyökalu puutteelliseksi vaativiin proseduureihin. Se toimii hyvin ja nopeasti pienten komentosarjojen tai ohjelmien ajamiseksi suurille tiedostomäärille, mutta sen viriheensietokyky on heikko. Tämä korostuu erityisesti käytettäessä MicroStationin tai Stella Mapin komentoja, joihin liittyy muistivuotoa.

Kun MicroStation kaatuu eräajon aikana, täytyy ohjelma sammuttaa manuaalisesti, tarkistaa, mitkä tiedostot on käsitelty onnistuneesti ja mitkä ei, sekä päivittää eräajotyön tiedostojono.

Näiden ongelmien johdosta Vantaalla on jo aiemmin kirjoitettu oma, MicroStationista riippumattomasti toimiva eräajo-ohjelma VB.NET-ohjelmointikielellä. Tärkeimpiä parannuksia verrattuna MicroStationin omaan eräajoon on MicroStationin uudelleenkäynnistämisen välin määrittely, jolloin ohjelmisto voidaan sammuttaa ja käynnistää uudelleen tarvittaessa vaikka jokaisen käsiteltävän tiedoston välillä. Ohjelma myös havaitsee, jos MicroStationissa tapahtuu käsittelemätön poikkeus, ja osaa sammuttaa ja käynnistää sen uudelleen sekä jatkaa eräajoa tiedostosta, jossa poikkeus tapahtui.

Käyttämällä tällaista eräajo-ohjelmaa voidaan käytettävissä olevan laitteiston suorituskyvyn puutetta kompensoida raskaita operaatioita tehtäessä. Kaikki tässä projektissa aineistolle tehtävät operaatiot tapahtuvat tämän eräajotyökalun avulla. Kuvassa 6 on tämän eräajotyökalun käyttöliittymä.



Kuva 6. Eräajotyökalun käyttöliittymä.

### 5.3.3 Erilliset tiedostosarjat

Projektissa päädyttiin halkaisemaan lähtöaineisto neljään erilliseen tiedostosarjaan, joista jokainen projisoidaan uuteen koordinaattijärjestelmään, leikataan karttalehtijakoon ja jälkikäsitellään hieman erilaisin asetuksin. Nämä neljä eri tiedostosarjaa ovat leikattavat, ei-kääntyvät, rakennukset ja muut alueet. Taulukko 1 havainnollistaa jaottelea.

Taulukko 1. Muunnoksessa käytettävät eri tiedostosarjat ja niiden parametrit

Aineisto	Suhteellinen koko	Elementtityypit	Leikkaussäännöt	Solujen / Tekstien kääntyminen
<i>Ei-kääntyvät</i>	15 %	Piste	Ei leikata	-
<i>Leikattavat</i>	52 %	Viiva, piste	Viivat leikataan, pisteitä ei leikata	Solut, Tekstit
<i>Rakennukset</i>	31 %	Alue, viiva, piste	*	Solut
<i>Muut alueet</i>	2 %	Alue	Ei leikata	-

\* Rakennusten sijoittuminen eri karttalehdille ratkaistaan rakennusbuffereiden perusteella

Tällainen jaottelu sopi suunnitelmiin hyvin myös sen johdosta, että projekti täytyi toteuttaa usealla eri tietokoneella, jotta se saataisiin suoritettua halutussa aikataulussa. Projektin oli käytettävissä neljä tietokonetta, ja valittu menetelmä jakaa aineiston luontevasti neljään osaan, joista yksi on pieni ja nopea käsitellä. Tämä mahdollistaa myös sen, että konetta, joka käsittelee muut alueet -aineistoa, pystyttäisiin tarvittaessa käyttämään varakoneena. Mikäli jossakin osiossa ilmenisi ongelmia, voitaisiin työt jakaa uudelleen koneiden välillä.

### 5.3.4 Valitut menetelmät

Muunnoksessa päädyttiin käyttämään menetelmää, jossa tyhjäan tiedostoon kiinnitetään kaikki karttalehdet, jotka leikkaisivat uuteen koordinaattijärjestelmään muunnettuna käsiteltävää karttalehteä. Nämä tunnettiin jo etukäteen ja pystyttiin lukemaan projektissa tehdystä indeksistä. Kiinnitetyt karttalehdet projisoitiin uudelleen *geocoordinate*-työkalulla käyttäen käsiteltävästä tiedostosarjasta riippuvia asetuksia.

Tämän jälkeen taas käsiteltävästä tiedostosarjasta riippuen kuvatiedostolta sammuteaan kaikki ne tasot, jotka eivät kuulu kyseiseen sarjaan. Myös tasolistaukset eri tiedostosarjoista on tehty etukäteen. Mikäli tasojen perusteella ei voida rajata haluttuja elementtejä yksiselitteisesti, hyödynnetään *näyttöryhmää* (*display set*), johon elementit kerätään skannaamalla tiedosto elementti kerrallaan MVBA:n *ModelReference.Scan*-metodilla.

Sen jälkeen käsiteltävän karttalehden nimen perusteella muodostettiin spatiaalinen raja-*MicroStationin aita (fence)* -työkalulla. Aidan tilana käytettiin käsiteltävästä tiedostosarjasta riippuen joko *Leikaten (clip)* tai *Osittain (overlap)*. Aitatyökalu näkee tiedostolla samat asiat kuin käyttäjäkin, eli se kunnioittaa sekä erilaisia näkymän leikkauksia että esimerkiksi tasojen pois päältä oloa tai määriteltyjä näyttöryhmiä. Aidan luonnin jälkeen *file fence* -komennolla kopioitiin referenssiltä karttalehden kokoinen palanen haluttua aineistoa uuteen tiedostoon. Esimerkiksi: `\tyhjat\ka686495.dgn -> \wip\leikattavat\ ka686495.dgn`. Kun kaikki neljä tiedostosarjaa on luotu, uudelleenprojisoitu ja leikattu omilla säännöillään, niille ajetaan jälkikäsitteilyohjelmat ja sen jälkeen koostetaan taas yhteen tiedostoon. Tälle tiedostolle tehdään korkeusmuunnos ja todennetaan lopputulos. Tätä prosessia on havainnollistettu liitteessä 2.

Rakennuskompleksien hallinta sulautetuilla buffereilla

Jotta rakennuskompleksit säilyvät yhtenäisinä yhdellä karttalehdellä, ryhdyttiin tutkimaan mahdollisuutta käyttää sulautettuja buffereita eräänlaisina apuelementteinä ongelman ratkaisussa. Bufferit luotiin Bentley Mapin GeoScripts-työkalulla. Työkalulla pystyy kirjoittamaan nopeasti skriptejä, jotka tekevät muun muassa bufferointia ja muita tavanomaisia paikkatieto-operaatioita.

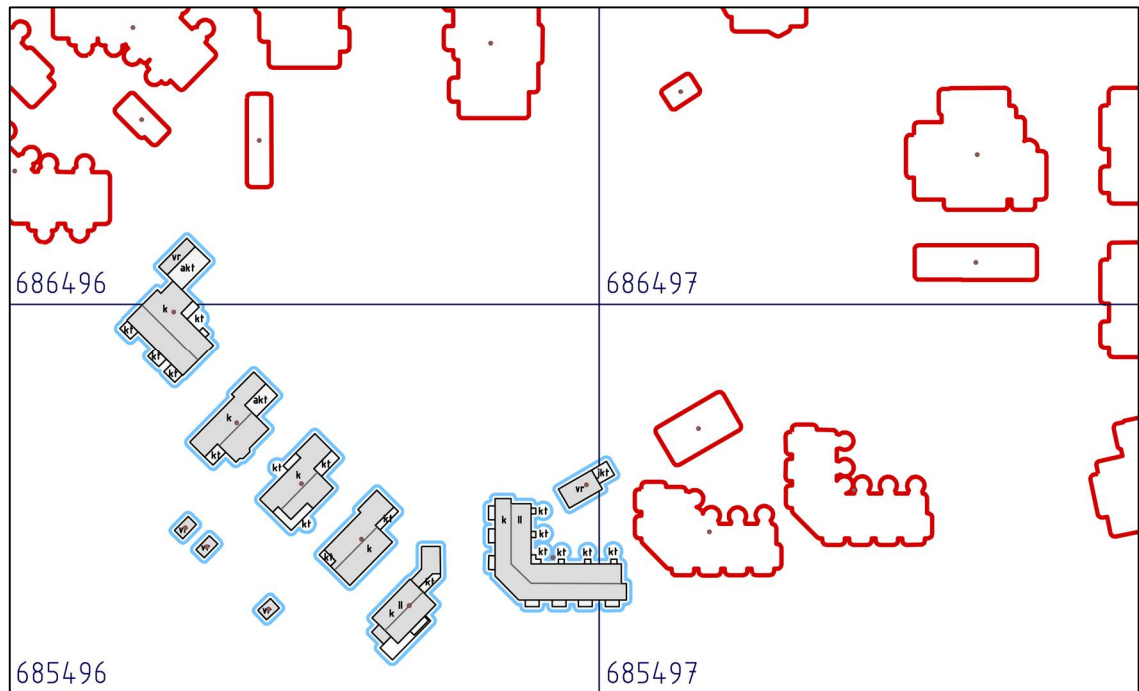
Bufferiaineisto tehtiin työkalulla siten, että kuvatiedostolta kerättiin GeoScriptsin luomalle topologiatasolle kaikki elementit, jotka haluttiin sisällyttää aineistoon. Näitä olivat muun muassa rakennukset, rakennuksen osat, rakenteet ja käyttötarkoitustekstit. Tarkoituksena oli, että aina yhtä rakennuskompleksia ympäröisi yksi yhtenäinen bufferi-alue metrin etäisyydellä sen elementeistä. Luodulla topologiatasolla olevat elementit bufferoitiin metrin levyisellä bufferilla, saaduista alueista poistettiin saarekkeet (tai reiät) ja ne kirjoitettiin kuvatiedostoon. Näin saatiin aikaiseksi sulautetut bufferit, jotka ympäröivät kokonaisia rakennuksia kaikkine osineen. Bufferiaineisto syntyi testialueille hel-

posti, ja se vaikutti varsin kattavalta. Aineistossa havaittiin pieniä virheitä, kuten satunnaisten portaiden puuttuminen bufferin sisältä.

Koska bufferiaineiston eheydestä ei oltu täysin varmoja ja niihin liittyvät riskit haluttiin minimoida, hylättiin ajatus siitä, että rakennusbuffereilla kopioitaisiin karttalehdelle sellaiset rakennuselementit, jotka kuuluisivat sen alueelle. Sen sijaan päätettiin soveltaa käänteistä logiikkaa kopioimalla jokaiselle karttalehdelle reilusti yli oman alueensa rakennuselementtejä. Sen jälkeen tiedostoa siivottaisiin poistamalla rakennusbufferiaineiston avulla tiedostosta kaikki rakennuselementit, jotka ovat sellaisten rakennusbuffereiden sisällä, jotka eivät kuulu kyseiselle karttalehdelle. Kriteerinä tässä käytettiin rakennusbufferin painopisteen sijaintia suhteessa karttalehden rajoihin.

Tämän lähestymistavan hyvä puoli on se, että pahimmassa mahdollisessa skenaariossa lopputuloksena kartalle tulee jokin rakennus kahteen kertaan. Jos rakennusbuffereita käytettäisiin aktiivisesti siihen, että valittaisiin, mitä rakennuksia kopioidaan kartalle, pahin mahdollinen skenaario olisi rakennuksen puuttuminen kartalta kokonaan.

Kuvassa 7 havainnollistetaan rakennusten jälkikäsitteilyohjelman toimintaa rakennusbuffereiden kanssa. Neljän karttalehden rajalla tiedostosta on poistettu sellaiset rakennuselementit, jotka ovat punaisella värjättyjen rakennusbuffereiden sisäpuolella. Punaisen rakennusbuffereiden painopiste sijaitsee tässä tapauksessa käsiteltävän karttalehden ulkopuolella. Sinisten rakennusbuffereiden painopiste puolestaan sijaitsee käsiteltävän lehden sisäpuolella, ja niiden sisältämät rakennuselementit säilytetään tiedostossa.



Kuva 7. Rakennusaineiston jälkikäsitteily käynnissä. Buffereiden painopisteet on merkitty pisteillä. Kuvassa vasemmalla alhaalla on käsiteltävän karttalehden oikea yläkulma.

### 5.3.5 Tiedostosarjojen jälkikäsitteily

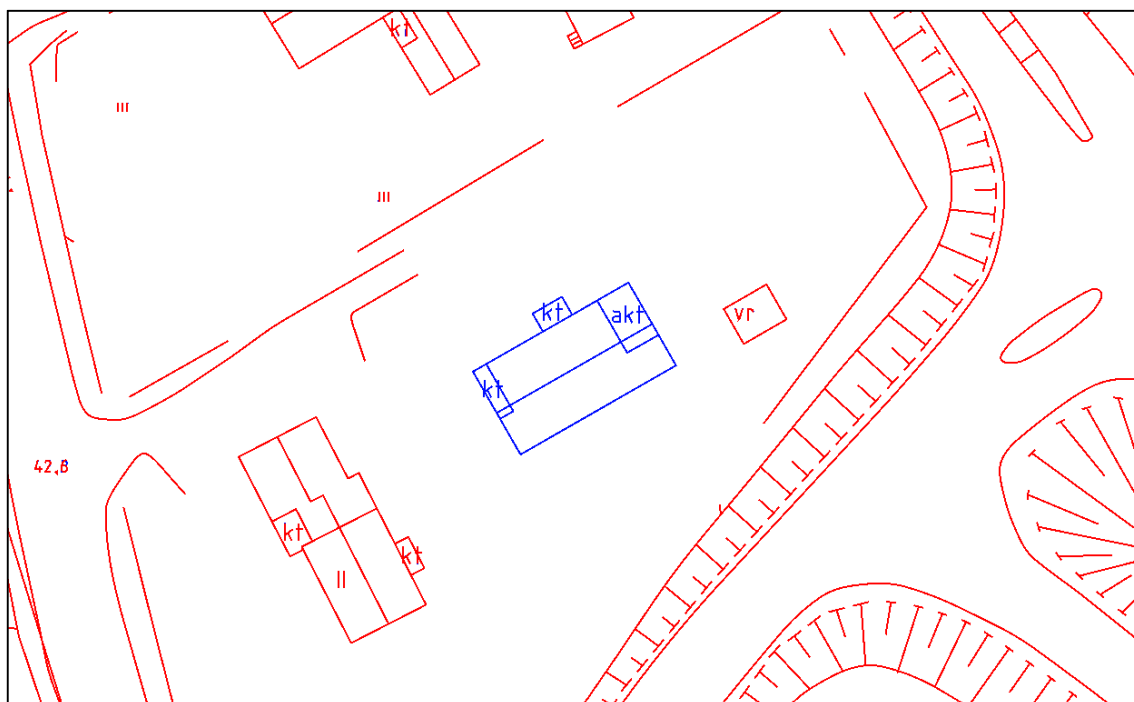
Ei-kääntyvät ja leikattavat tiedostosarjat sisältävät muun muassa pistemäisiä kohteita. Tällaiset kohteet kopioidaan kaikille karttalehdille, joille niiden graafiset osat ulottuvat. Tämän johdosta tiedostoista täytyy poistaa sellaiset teksti- ja soluelementit, joiden origopiste sijaitsee karttalehden rajojen ulkopuolella. Lopputuloksena jokainen pistemäinen kohde sijaitsee vain yhdellä karttalehdellä. Muut alueet -tiedostosarjasta poistetaan sellaiset alueet, joiden painopiste sijaitsee karttalehden rajojen ulkopuolella.

## 5.4 Tasomuunnoksen todennusmenetelmät

Muunnoksen todennusmenetelminä käytettiin aiemmin tässä työssä esiteltyä rakennusten numerointia ja listausta ennen ja jälkeen muunnoksen. Lisäksi muutamille kohteille suoritettiin tarkastuslaskennat ennen ja jälkeen muunnoksen. Näiden ideana oli varmistaa, että kaikki elementit ovat säilyneet kartalla.

Lisäksi kaikki aineisto tarkastettiin visuaalisesti muunnoksen jälkeen. Tarkastus suoritettiin uudelleenprojisoimalla VVJ-kantakarttoja lennosta ETRS-GK25-

tasokoordinaatistoon uusien, muunnettujen karttojen päälle. Tämän jälkeen kummankin aineiston oikeat värit korvattiin kahdella värillä, kumpikin omallaan. Muutosten mahdollisimman helpon havaitsemisen vuoksi kannattaa valita käyttöön jokin helposti toisistaan erottuva väripari. Sen jälkeen muunnettu ETRS-GK25-kartta pakotettiin näkymään päällimmäisenä kahdesta kartasta. Lopputuloksesta huomaa hyvin nopeasti, missä kohdin kartassa on tapahtunut muutoksia aineistojen välillä. Kuvassa 8 muunnettu kartta on punaisella ja sen alle lennosta uudelleenprojisoitu muuntamaton kartta sinisellä. Menetelmä paljastaa päällimmäiseltä kartalta puuttuvan rakennuselementin helposti. Rakennus on poistettu esimerkkikuvasta menetelmän havainnollistamista varten.



Kuva 8. Tasomuunnoksen visuaalinen todennus.

## 5.5 Tasomuunnoksen tulokset

Itse muunnos sujui lähes odotetusti. Maanantaina 3.12.2012 aloitetut muunnokset oli suoritettu keskiviikkoon mennessä. 12 kantakartan tiedostoa korruptoitui kesken muunnosten, ja ne täytyi käsitellä uudelleen. Lisäksi yksi kantakartan tiedosto korruptoitui vain XFM-ominaisuustietojensa osalta. Asia paljastui rakennuslistausta ristiin verrattaessa. Huomattiin, että useita kymmeniä rakennuksia puuttui listasta, mutta niiden oletetussa sijainnissa kaikki näytti olevan kunnossa kartalla, kunnes havaittiin, ettei

visuaalisesti oikean näköisillä elementeillä ole lainkaan ominaisuustietoja. Muunnos suoritettiin karttalehdelle uudelleen, minkä jälkeen se toimi normaalisti.

Tämän tiedoston korjaamisen jälkeen rakennuslistaustiedostot eivät paljastaneet puuttuvia rakennuksia, vaan listat täsmäsivät toisiinsa. Myös RakennuksenOsa-kohteille ja KasviRyhmaSymboli-kohteille suoritettut tarkastuslaskelmat täsmäsivät toisiinsa tarkalleen.

Visuaalisessa tarkastelussa havaittiin uudelta kartalta yksi puuttuva tekstielementti. Lähempi tarkastelu osoitti, että tekstielementti kyllä löytyi muunnetulta kartalta, mutta se oli tyhjä. Samoin elementin XFM-ominaisuustieto *Teksti* oli tyhjä. Ongelman syyksi paljastui virheellinen toiminta ylläpidossa. Stella Map -tekstikohteille täytetään pakollisena ominaisuustietona *Teksti*. Tämä ominaisuustieto määrää kohteeseen liittyvän MicroStation-tekstielementin kuvalla näkyvän tekstin. Jos tekstiä halutaan vaihtaa, täytyy kohteen ominaisuustietoja muokata. Tässä tapauksessa tekstin muokkaamiseen oli käytetty MicroStationin omia tekstin muokkaustyökaluja, ja jostain syystä kohteen ominaisuustieto oli jäänyt tyhjäksi. Tämä johtaa siihen, että kun kohteelle tehdään jokin muokkaustoimenpide, pakottaa Stella Map kohteen taas XFM-skeeman sääntöjen mukaiseksi. Jos *Teksti*-ominaisuustieto on tyhjä, myös kuvalla näkyvä teksti muuttuu tyhjäksi.

Tällaisia virheellisiä tekstikohteita pelättiin olevan kartoilla runsaasti, mutta niiden etsimiseksi kirjoitettu MVBA-ohjelma löysi sellaisia virastokartalta neljä kappaletta ja kantakartalta vain yhden kappaleen. Tulosta pidettiin myös osoituksena valitun visuaalisen tarkastusmenetelmän tehokkuudesta.

Sen lisäksi, että muunnoksessa täytyi säilyttää olemassa oleva tieto muuttumattomana, haluttiin välttää päällekkäisten tuplaelementtien luontia. Tuplaelementillä tarkoitetaan tässä täsmälleen samoissa koordinaateissa olevia päällekkäisiä elementtejä, joiden taso ja väri ovat samat.

Työssä päätettiin selvittää tuplaelementtien määrä ennen muunnosta ja muunnoksen jälkeen seitsemällä koealueella ympäri Vantaata. Jokainen koealue oli 2 x 2 km:n kokoinen neliö, ja yhteensä ne sisälsivät 309 648 elementtiä, kun korkeuskäyrät jätettiin pois laskuista. Alueilla havaittiin olevan jo ennestään hyvin paljon tuplaelementtejä, yhteensä 643. Lisäksi havaittiin selvää tuplaelementtien määrän kasvamista alueilla,

noin 5–20 elementtiä aluetta kohti. Syytä selvitetessä havaittiin, että maanalaisen tilan käyttötarkoitustekstit olivat systemaattisesti uudella kartalla kahteen kertaan. Syyksi paljastui selvä määrittelyvirhe, sillä maanalaisten tilojen tekstit olivat mukana sekä rakennustiedostosarjan tasolistauksessa että ei-kääntyvien kohteiden tasolistauksessa. Kartoilta poistettiin kyseiset tuplaelementit. Niiden poistamisen jälkeen tuplaelementtien määrä testialueilla oli yhteensä 13 suurempi kuin ennen muunnosta. Koska testialueiksi oli valittu kaikkein tiheimmin rakennetut alueet Vantaalla, pääteltiin tuplaelementtien määrän kasvaneen kantakartalla korkeintaan noin 2 %.

Kaiken kaikkiaan muunnos onnistui virheiden määrällä mitattuna erinomaisesti. Myös ajallisesti päästiin lähes alkuperäiseen tavoitteeseen suorittaa työ kolmen päivän aikana. Tarkistuksiin käytettiin yksi päivä ja torstaina 6.12.2012 kantakartan ylläpitokatkos voitiin lopettaa ja uudet kartat ottaa käyttöön.

## **6 Korkeusmuunnoksen toteutus**

### **6.1 Korkeusmuunnoksen menetelmät**

Kantakartan korkeusmuunnos päätettiin alusta alkaen toteuttaa vakiomuunnosparametrilla. Espoo ja Helsinki toteuttivat omat muunnoksensa yhdellä, koko kaupungin kattavalla vakiomuunnosparametrilla [Hårdh 2012]. Tätä harkittiin myös Vantaalla, mutta kaupungin alueella tapahtuneen maannousun verrattain suuren eron johdosta oli syytä harkita myös muita vaihtoehtoja. Johtokarttojen vastaavaa muunnosta varten oli jo aikaisemmin tuotettu Keyprolle kaupunginosajakoon perustuva korkeusmuunnoskartta ja indeksi. Tämän käyttöä harkittiin, mutta todettiin samalla, että yhtä helppoa olisi tuottaa kantakartan karttalehtijaolle vastaava indeksi. Tätä puolsi myös se, että vertailut N2000-tarkkavaahtujen pisteiden ja Geodeettisen laitoksen muuntimella muunnettujen vastaavien pisteiden välillä täsmäsivät hyvin toisiinsa.

Koska tasomuunnos onnistui niin tarkasti koko kaupungin alueella, ei kantakartan muunnosta korkeuden osalta haluttu tehdä kertaluokkaa huonommalla tarkkuudella, vaikka lopputuloksessa muutaman sentin erot korkeuksissa olisivatkin hyväksyttäviä. Lisäksi haluttiin hyödyntää tehtyjä tarkkavaaituksia, jotka kattoivat kaikki tiheimmin rakennetut alueet Vantaalta. Näiden seikkojen johdosta päädyttiin ratkaisuun, jossa luotiin korkeusmuunnosindeksi, jossa jokaiselle kantakartan uudesta 300 karttalehdestä

on määritetty vakiomuunnosparametri. Virastokartalle puolestaan käytettiin koko kaupungin korkeusmuunnoksen keskiarvoa, eli 313 mm nostoa.

## 6.2 Korkeusmuunnosindeksin rakentaminen

Muunnosindeksin rakentaminen aloitettiin siten, että selvitettiin mitattujen N2000-pisteiden ja niitä vastaavien N43-pisteiden korkeuden erotus. Näin saatiin näille pisteille korkeuserotus järjestelmien välillä. Sen jälkeen jokaisen karttalehden alueelta haettiin pisteet, jotka sisältyvät alueeseen, ja niiden korkeuserotuksen keskiarvo annettiin kyseisen karttalehden korkeusmuunnosarvoksi. Lisäksi kriteerinä oli, että karttalehden alueella on oltava vähintään kaksi mitattua pistettä. Näin saatiin korkeusmuunnosarvo 118 karttalehdelle.

Lopuille karttalehdille, joista valtaosa sijaitsi hyvin harvaan asutulla alueella, saatiin muunnosarvo Geodeettisen laitoksen N43-N2000-muuntimen avulla. Muuntimesta haettiin N43- ja N2000-korkeusjärjestelmien välinen korkeusero jokaisen karttalehden keskipisteessä. Tämä työ suoritettiin ilmaisella Quantum GIS -ohjelmistolla ja Geodeettisen laitoksen koordinaatistomuunnosivuilla ([coordtrans.fgi.fi](http://coordtrans.fgi.fi)) olevilla työkaluilla.

## 6.3 Korkeusmuunnoksessa todetut ongelmat

Korkeusmuunnoksen toteuttamiseen liittyy muutamia ongelmia. Ensinnäkin osa aineistosta on todellisuudessa mallinnettu kaksiulotteisesti, ilman korkeustietoa. Nämä elementit sijaitsevat 0-tasossa kartoilla. Muunnoksessa 0-tasossa sijaitsevat elementit eivät saa nousta mihinkään korkeuteen.

Kokonaan 0-tasossa sijaitsevien elementtien lisäksi kartoilta löytyy sellaisia virheellisiä elementtejä, jotka sijaitsevat osittain jossakin korkeudessa, ja osittain taas 0-tasossa. Tällaisia elementtejä saattaa syntyä esimerkiksi silloin, jos karttaa digitoidaan rasterikuvalta 0-tasoon ja tartutaan korkeusdataa sisältävään elementtiin. Tällöin elementti nousee kahden taitepisteensä välillä esimerkiksi 35 metriä, mutta pelkästään yläkuvasta tilannetta tarkkaileva digitoija ei välttämättä huomaa tapahtumaa lainkaan.

Tämä ongelma ratkaistiin siten, että käsiteltävän näkymän takaleikkaustaso asetettiin 1 cm korkeuteen ja sen jälkeen kaikki näkyviin jääneet elementit nostettiin korkeusindeksin osoittamalla parametrilla. Tällainen hyvin yksinkertainen ratkaisu toimii Vantaalla, jolla ei nykyään ole enää merenrantaa. Tämän johdosta kaikkein matalimmallakin sijaitsevat elementit ovat muutaman metrin korkeudessa merenpinnasta.

Toinen muunnoksessa huomioonotettava asia on se, että jotkin karttakohteet sisältävät korkeustietoa myös tekstimuotoisena attribuuttina elementin geometrian lisäksi. Vantaalla tällaisia kohteita ei ole kuin muutama: kiintopisteet ja maanpinnan korkeuspisteet. Kantakartan muunnoksessa kaikki maanpinnan korkeuspisteet pitää käsitellä erikseen ja päivittää niiden ominaisuustiedot korkeuden osalta. Kaikkiin tällaisiin päivitettäviin kohteisiin kirjoitettiin samalla uusi ominaisuustieto *N2000\_muunnosarvo*, jonka arvoksi annettiin kyseisen karttalehden muunnosindeksin korkeusmuunnosarvo. Tämän perusteella on helppo selvittää, onko esimerkiksi kaikki maanpinnan korkeuspisteet muunnettu oikein.

#### 6.4 Korkeusmuunnoksen todennusmenetelmät

Korkeusmuunnoksen onnistumisesta koko kantakartan osalta haluttiin saada jollakin tapaa luotettavaa tietoa, mutta sen todentaminen visuaalisesti ei ole yhtä helppoa kuin tasomuunnoksen tapauksessa. Tämän johdosta kirjoitettiin yksinkertainen ohjelma, joka laskee kaikkien sellaisten elementtien korkeuden, joiden matalin kohta eli rangen alin Z-arvo sijaitsee 0-tason yläpuolella. Kun näin saadut korkeudet jaetaan käsiteltyjen elementtien lukumäärällä, saadaan tiedostolle eräänlainen keskimääräisen korkeuden arvo.

Range on MicroStationin terminologian vastine GIS:ssä yleisemmin käytetylle bounding boxille. Elementin bounding box tarkoittaa yleisesti GIS:ssä sellaista mahdollisimman pientä suorakulmiota, jonka sivut ovat koordinaatiston pääakselien suuntaiset ja joka rajaa elementin sisäänsä. [Caldwell 2005.]

Korkeusmuunnoksen jälkeen samalla tavalla tehdyn korkeustarkastelun jälkeen tiedoston keskimääräisen korkeuden pitäisi olla korkeusmuunnosindeksin osoittaman luvun verran suurempi kuin lähtötilanteessa. Suurehkossa tiedostossa yhden elementin aiheuttaman häiriön korkeuskeskiarvoon todettiin olevan havaittavissa kolmannen desima-

lin kohdalla, joten hyväksyttävään lopputulokseen vaadittaisiin neljän desimaalin tarkkuudella täsmävä tulos.

## 6.5 Korkeusmuunnoksen tulokset

Korkeusmuunnos onnistui hyvin sekä kanta- että virastokartoille. Excelillä tehdyssä lopputarkastelussa kaikilla karttalehdillä päästiin edellä kuvatulla todennusmenetelmällä lopputulokseen, jossa kaikkien karttalehtien keskimääräisen korkeuden erotus täsmäsi haluttuun muunnosarvoon.

Kaikilta karttalehdiltä tarkistettiin lisäksi visuaalisen tarkastelun yhteydessä se, etteivät 0-tasossa sijainneet elementit olleet nousseet mihinkään. Toisin sanoen tarkistettiin, ettei yhdelläkään lehdellä ole elementtejä 25–35 cm:n korkeudessa.

## 7 Korkeuskäyrien tuottaminen uuteen korkeusjärjestelmään

Korkeuskäyriä on perinteisesti piirretty käsin, ja tämä on ollut valtava työsarka Vantaan kartanpiirtäjille vielä 1990-luvulla. Edelleenkin visuaalisesti parhaat käyrät saadaan aikaiseksi mittaamalla ja piirtämällä stereokuvalta tai siistimällä käsin maastomallista luodut käyrät. Vantaan maapinta-alan huomioon ottaen tämä olisi kuitenkin työ, joka veisi vuosia. Nykyään on kuitenkin mahdollista luoda sekä visuaalisesti toimivia että tarkkuudeltaan hyviä käyriä automaattisesti laajoille alueille hyödyntämällä laserkeilauksesta saatavaa maanpinnan dataa. [Kalso 2012.]

Korkeuskäyrien merkitys vähenee pistepilvien ja korkeusmallien käytön yleistymisen myötä. Se on kuitenkin edelleen kysytty karttatuote ja hyvä tapa esittää korkeutta rasterikuvalla tai tulostetulla kartalla ilman, että muiden karttakohteiden näkyvyys merkittävästi heikentyisi. Vantaan kantakartalla on käytetty kolmenlaisia korkeuskäyriä: johtokäyriä viiden metrin välein, välikäyriä metrin välein ja tasaisilla alueilla apukäyriä puolen metrin välein. [Kalso 2012.]

Vanhojen korkeuskäyrien muuntaminen N2000-järjestelmään on huono ratkaisu johtuen niiden esitystavasta: välikäyrät piirretään tasametrein ja johtokäyrät viiden metrin välein. Korkeusmuunnoksen jälkeen käyrät olisivat sinänsä valideja, mutta esimerkiksi

25 metrin johtokäyrä olisikin sen jälkeen 25.313 metrin johtokäyrä. Tämä olisi erittäin heikko ratkaisu ongelmaan ja lisäksi vastoin luonnosvaiheessa olevaa kaavoitusmitausohjeet korvaavaa julkisen hallinnon suositusta asemakaavan pohjakartan laatimisesta [Asemakaavan pohjakartan laatiminen 2013].

### 7.1 Korkeuskäyrien tuottamisen menetelmä

Vantaalla on tehty vuoden 2012 keväällä koko kaupungin kattava laserkeilaus helikopterista. Pistepilven tiheys on keskimäärin 10 pistettä/neliömetri, mikä riittää tarkan maanpinnan mallin tuottamiseen. Malli tuotettiin ennen tämän projektin käynnistymistä MicroStationin päällä toimivalla Terra Modeler -ohjelmalla. Mallista tuotettiin sitten korkeuskäyrät kantakartalle metrin välein. [Kalso 2012.]

Käyrät leikattiin samaan lehtijakoon kantakartan kanssa, eli 1 x 1 km:n paloihin. Tässä operaatiossa havaittiin ongelmia, sillä MicroStationin aita-leikkaustyökalu (*fence delete, clip*) poisti leikkaavia käyriä kokonaan. Ohjelmistovirheen syyksi paljastui käyrien suuri pistemäärä. Yli 2 000 segmenttiä sisältävät käyrät vaikuttivat häviävän kokonaan, jos niitä yritti leikata. Ongelman korjaamiseksi kirjoitettiin ohjelma, joka käy läpi kaikki käyrät ja piirtää ne uudelleen 500 pistettä kerrallaan, aloittaen sen jälkeen uuden käyrän samasta pisteestä. Täten saatiin samanlainen aineisto, jossa käyrät sisälsivät korkeintaan 500 pistettä ja jolle leikkausoperaatiot myös onnistuivat ilman virheitä.

### 7.2 Käyrien käsittely ja liittäminen kantakartalle

Käyrien tuottaminen ja oikeaan karttalehtijakoon saattaminen tiedettiin yksinkertaiseksi ja nopeaksi toimenpiteeksi alusta alkaen. Sen sijaan kantakartan ja koko maanpinnan kattavien korkeuskäyrien yhdistäminen visuaalisesti toimivalla tavalla oli haasteellista. Kantakartalla käyrät eivät saa kulkea esimerkiksi rakennusten, vesistöjen tai tiealueiden yli. Ongelman ratkaisuksi tarvittiin siis paljon erilaisia alue-elementtejä, joilla generoitua käyrästä pystyttiin leikkaamaan.

Ylläpitäjillä on myös ollut tapana varjella käyriä ja sijoittaa sellaisia kohteita käyrien väliin, joiden sijaintitieto ei ole kriittinen. Tällaisia ovat esimerkiksi metsän, pellon tai suon symboli. Tätä käytäntöä seuraillen päätettiin kirjoittaa ohjelma, joka toimii samalla

tavalla siirtämällä olemassa olevaa aineistoa suhteessa uusiin käyriin. Ohjelma siis etsii sellaiset symbolit, joita on abstraktin sijaintinsa vuoksi mahdollista siirtää ja jotka leikkaavat uusia käyriä. Se hakee niille lähietäisyydeltä uutta sijaintia, jossa ne eivät leikkaa mitään kohdetta. Tästä ohjelmasta kerrotaan lisää luvussa 7.3 (Karttasymbolien siirto).

Suunnittelun lähtökohdaksi otettiin se, ettei käyrien kantakartalle lisäämisen jälkeen olisi tarpeen käynnistää massiivista operaatiota, jossa koko kartta käydään läpi käsin, vaan käyriä voisi viimeistellä tavallisen kartan ylläpidon yhteydessä. Lisäksi toivottiin, että korkeusdataa saataisiin kartalle mahdollisimman paljon, sillä vanhoja käyriä oli kadonnut rakentamisen myötä paikoin paljon. Erityisesti 1990- ja 2000-luvuilla rakennetuille alueille haluttiin saada tuotettua uutta validia käyrästä. Kriittiset kohdat, joilla käyriä ei saa missään nimessä kulkea, olivat rakennukset, vesistöt ja tiealueet. Lisäksi käyrät eivät saa häiritsevästi kulkea karttasymbolien läpi.

#### 7.2.1 Lähtöaineisto käyrien käsittelyyn

Koska kantakartalla on hyvin vähän aluemaisia kohteita, täytyi ne pääasiassa generoida ohjelmallisesti bufferoimalla viivamaista aineistoa. Tässä projektissa aiemmin käytetyt sulautetut rakennusbufferit toimivat hyvänä aineistona leikkaamaan käyrät rakennusten kohdalta. Todettiin, että niissä käytetty yhden metrin bufferointi on juuri sopiva käyrien leikkaamiseksi. Tämä aineisto täytyi vain käydä läpi ja päivittää siltä osin, kuin uusia rakennuksia oli ehditty merkitä kartalle. Muille halutuille elementeille lähdettiin generoimaan alueita Bentley Mapin GeoScriptsillä kuten rakennusbuffereitakin.

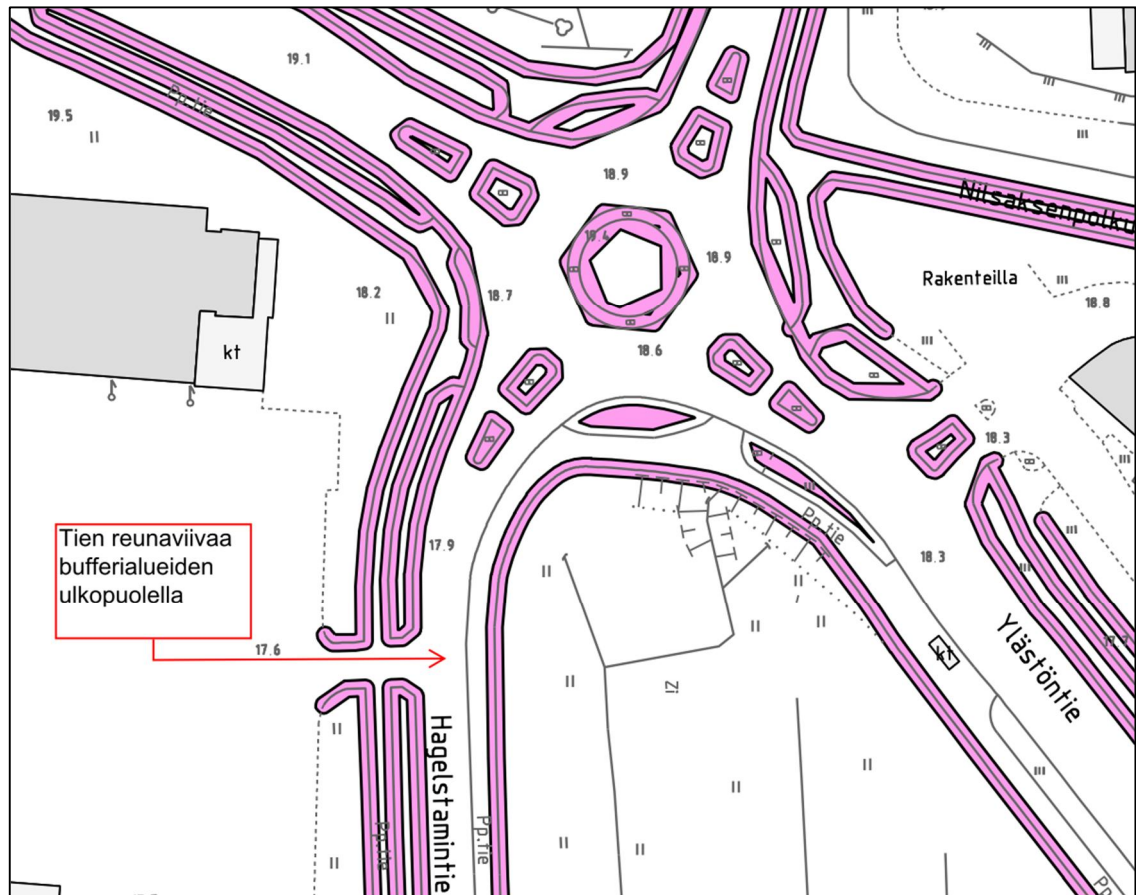
Kantakartalla on digitoituna teiden reunaviivat, joten se oli luonnollinen lähtökohta. Niihin sopivaa bufferileveyttä pohdittiin pitkään ja todettiin, että olisi hyvä, jos käyrät voivat tulla melko lähelle teitä. Toisaalta bufferileveys 1–2 m ei riitä poistamaan käyriä teiden keskeltä, ottaen huomioon, että normaali pienenkin kadun leveys on yli 10 m ja esimerkiksi Kehä III:n ajoradat saattavat olla lähes 20 metriä leveitä. Todettiin kuitenkin, että leikkausalueiden ei tarvitse poistaa välttämättä kaikkia käyriä, jotka halutaan hävittää. Aineiston leikkauksen jälkeen voidaan poistaa kaikki käyrät, jotka ovat jotakin valittua raja-arvoa lyhyemmät. Täten riittäisi siis, että leikkausalueet ovat pilkkoneet poistettavat käyrät riittävän pieniksi paloiksi, jolloin ne voitaisiin etsiä ja poistaa jälkikäsitteilyohjelmalla. Lähtökohdaksi valittiin viiden metrin minimipituus käyrille. Todettiin myös, että tarvittaessa voitaisiin myös hyödyntää valtakunnallista digiroad keskilinja-aineistoa se-

kä Vantaan koulumatkojen laskemiseen käytettyä kevyen liikenteen keskilinja-aineistoa.

Lisäksi kerättiin lista kantakartan erilaisista aluemaisista, viivamaisista ja pistemäisistä karttakohteista, joiden läpi käyrät eivät saa kulkea. Niille generoitiin bufferit erilaisin parametrein.

### 7.2.2 GeoScripts-työkalun ongelmat

Pian testiajojen alkuvaiheessa havaittiin, että GeoScriptsillä on suuria vaikeuksia selvittää silmukoita tekevien verkkojen bufferoinnista halutulla tavalla. Se saattoi silmukko kohdassa jättää osan viivoista kokonaan huomioimatta. Vaikuttikin siltä, että työkalu selvisi hyvin todellisten aluemaisten, muista kohteista eristettyjen kohteiden, kuten rakennusten bufferoinnista. Sen sijaan verkkomaisissa toisiinsa liittyvissä ja silmukoita tekevissä kohteissa tulokset olivat huonoja. Kuvat 9 ja 10 havainnollistavat tätä ongelmaa. Kuvassa 9 GeoScriptsillä tien reunaviivoista luodut bufferit on piirretty kuvalle vaaleanpunaisella. Risteyksen eteläosasta puuttuu runsaasti tiebuffereita. Tämä johtuu kuvaustekniikasta, jossa tien vierellä kulkee pyörätie, joka esitetään samalla ajoradan viivalla kuin itse tien reunakin. Erityisesti kohdissa, joissa kartalla on tien reuna, jonkinlainen istutusalue ja sen jälkeen pyörätie, tulokset näyttävät olevan huonoja. Ohjelma tuntuu tällaisissa kohdissa luovan bufferin istutusalueen sisäpuolelle ja epäonnistuvan sen jälkeen muiden viivojen hyödyntämisessä buffereiden luonnissa.



Kuva 9. GeoScripts: Tiebufferit vaaleanpunaisella. Liikenneympyrän eteläpuolella puutteelliset bufferit.



Kuva 10. Google Street View -kuva samasta risteyksestä: kamerakulma etelään, Hagelstamintien ja Ylästöntien väliin [Google Maps 2009].

Ongelman johdosta päätettiin kirjoittaa MVBA:lla oma bufferointialgoritmi verkkomaisia kohteita, pääasiassa teitä varten. Algoritmista tehtiin mahdollisimman yksinkertainen. Siinä määritellään vain bufferileveys ja bufferoitavat elementit. Sen jälkeen ohjelma käy läpi kaikki kriteerit täyttäneet elementit ja laskee yksi kerrallaan bufferialueen jokaiselle käsiteltävän elementin segmentille. Tämän jälkeen kaikki saman elementin usein varsin pienet bufferialueet lisätään unionielementtiin, joka piirrettiin kuvatiedostolle. Näin saadaan yksinkertaiset ja toimivat bufferit liikenneverkostolle.

Suurin osa kantakartan bufferoitavista kohteista käsiteltiin kuitenkin onnistuneesti GeoScriptsillä. Muun muassa rakennukset, tietyt symbolit, luiskaviivoitukset ja monet harvakseltaan esiintyvät viivamaiset ja aluemaiset kohteet saatiin käsiteltyä hyvin tällä ohjelmalla.

Bufferiaineisto myös tarkastettiin jälkikäteen ohjelmallisesti ja siitä etsittiin alueet, jotka ovat pinta-alaltaan yli 6 000 neliömetrin suuruisia. Näistä osan epäiltiin olevan virheellisesti sulkeutuvia alueita, joissa bufferin tosiasiasa haluttaisiin kulkevan vain alueen reunoilla. Tämä pitikin paikkansa ja aineistosta päädyttiin korjaamaan käsin noin 10 pinta-alaltaan 10 000–50 000 neliömetrin suuruista aluetta, jotka olisivat käyttöön päätyessään poistaneet turhaan paljon käyriä kartalta. Nämä alueet olivat lähinnä suurten teiden ramppien sisäosia, jotka on kuvattu kartalle luiskaviivoituksena.

### 7.2.3 Korkeuskäyrien käsittelyn testialueet

Kuten rakennusbuffereiden luonnista havaittiin, on buffereiden luonti laskennallisesti melko raskasta ja vie oman aikansa suurille aineistoille. Tämän johdosta päätettiin testata erilaisia vaihtoehtoja buffereiden leveyksille kahdella koealueella. Toiseksi koealueeksi valittiin Tikkurilan keskusta ja toiseksi hieman vähemmän rakennettu alue Koivukylän ja Ilolan välimaastosta. Nämä alueet olivat neljän kantakartan karttalehden kokoisia 2 x 2 km:n alueita.

Näille koealueille generoitiin ensiksi leikkausalueet päätetyillä alkuparametreilla. Lopputuloksesta havaittiin pian, että tiealueille jää aivan liikaa käyriä ja että 5 metrin minimipituus käyrälle on liian pieni. Käyrät usein mutkittelevat rajusti ja vievät yllättävän vähän tilaa kartalta 5 metrin pituisina. Minimipituus päätettiin nostaa 10 metriin. Lisäksi havaittiin, että mikään järkevä minimipituus ei ratkaise sellaisten käyrien ongelmia, jotka kulkevat tien suuntaisesti suunnilleen sen keskellä. Todettiin, että ilman keskilinja-

aineistoja tiestöä ei saada siivottua riittävästi. Päätettiin hyödyntää koko digiroad-aineistoa, jota täydennettiin kevyen liikenteen keskilinja-aineistolla asuntokatuojen osalta (tiet ilman erillistä kevyen liikenteen väylää).

Tämän jälkeen erilaisten leikkausalueiden leveydet täytyi hienosäätää sopiviksi, kuten myös käyrien minimipituus. Lisäksi havaittiin, että perinteisesti käyristä täysin siivotut uudet asuntoalueet tulivat nyt sisältämään melko paljon käyriä rakennusten välissä. Tämän tarkoituksenmukaisuudesta ei oltu täysin yksimielisiä, ja rakennusbuffereiden kasvattamista vielä suuremmiksi harkittiin. Toinen seikka, mikä rakennusten välissä kulkeviin käyriin vaikutti melko paljon, etenkin pientaloalueella, oli se, katkaistaanko käyriä puu- tai pensasaidoilla.

Erilaisia vaihtoehtoja päätettiin testata koealueilla kolmilla erilaisilla parametreilla. Näistä valittiin paras yhdistelmä. Eri parametrit on esitetty liitteessä 3.

#### 7.2.4 Korkeuskäyrien käsittelyyn käytettävät parametrit

Todettiin, että rakennusten välissä kulkevat uudet käyrät ovat validia korkeusdataa, eikä niitä ole sinänsä järkevää poistaa vain sen takia, että ne sijaitsevat rakennetulla alueella. Päätettiin, ettei aitojen tarvitse pääsääntöisesti leikata käyriä eikä rakennusbuffereita lähdetä kasvattamaan. Jyrkänteet generoitiin melko suurella bufferilla, jotta ne leikkaavat pois jyrkkään kohtaan mallista muodostuneet tiheet käyrät. Tällaiset käyrät ovat turhia, koska jyrkänteen viiva kuvaa samaa asiaa kuin erittäin tiheä käyrästä.

Tiealueiden bufferoinnista tuli melko hyvä, mutta etenkin Tikkurilan keskustassa oli vielä häiritsevästi käyriä jalkakäytävillä. Lisäksi ulkoilureiteillä oli käyrän pätkiä, jotka kulkivat näiden reittien suuntaisesti. Nämä ongelmat korjattiin lisäämällä kevyen liikenteen keskilinjastosta aineistoon ulkoilureittien keskilinjat ja jalkakäytävät miedolla bufferrileveydellä, ja suojatiet hieman suuremmalla. Taulukossa 2 on esitelty lopulliset parametrit.

Taulukko 2. Käyrien käsittelyyn valitut parametrit.

Kategoria	Aineisto	Bufferin leveys (m)	Kuvaus
<i>Liikenneverkko</i>	Tien keskilinjat	4	Digiroad valta-, kanta- ja seututiet, kokoojakadut, liityntäkadut
<i>Liikenneverkko</i>	Tien keskilinjat	2	Digiroad kevyen liikenteen väylät
<i>Liikenneverkko</i>	Tien keskilinjat	1	Digiroad muu yksityistie
<i>Liikenneverkko</i>	KL-keskilinjat	4	Tiet ilman kl-väylää (askadut)
<i>Liikenneverkko</i>	KL-keskilinjat	4	Suojatiet
<i>Liikenneverkko</i>	KL-keskilinjat	2	Jalkakäytävät
<i>Liikenneverkko</i>	Tien reunat	2	Kantakartta: TieAlue_ajorata
<i>Liikenneverkko</i>	Junaradat	2	Kantakartta: junaradat
<i>Liikenneverkko</i>	Kiitotiet	2	Kantakartta: kiitotiet
<i>Rakennukset</i>	Rakennukset	1	EUREF-projektin sulautetut rakennusbufferit
<i>Muut</i>	Muut viivat	1	Piha-alueet, luiskat, ulkoilureitit, puistotiet, vesialueiden viivat, muut viivat, tukimuurit, kiviaidat
<i>Muut</i>	Pienet solut	1.5	Kantakartta ~ 1 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Suuret solut	2	Kantakartta ~2 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Jyrkanne	3	
<i>Muut</i>	Muut alueet	1	Kantakartta: kivet, vesialueet, laiturit, muuntamot, pylväitten perustukset
<i>Vesialueet</i>	Virastokartta vesialueet	1	Kesätyöntekijöiden digitoimat alue- maiset vesistöt
Käyrien minimipituus 10 metriä			

Ongelmakohtiksi havaittiin kaikki alueet, jotka olivat laserkeilauksen aikana rakenteilla, sekä erittäin leveät tiealueet, esimerkiksi raskaan liikenteen kääntöpaikat tai parkkipaikat. Käyrien tuottamiseen käytetty ohjelmisto tuotti lisäksi erittäin tasaisille alueille, kuten joillekin pelloille tai soille, visuaalisesti melko heikkoa käyrästä, joka oli erittäin harvaa mutta todella syheröistä. Tällaiset alueet tulee käsitellä manuaalisesti stereomit-taamalla automaattisesti luodun käyrän tilalle uusi käyrä ja lisäämällä muutama apu-käyrä. Lisäksi havaittiin, että käytettävissä ollut digiroad-aineisto päättyy noin 10–20 m ennen kaupungin rajaa, minkä takia etenkin suurille teille kuten Tuusulan- ja Lahden-väylille kaupungin rajan läheisyyteen jää paljon käyriä. Tällaiset ongelmakohdat täytyy korjata sitä mukaa, kun ne tulevat vastaan ylläpitotyössä. Myös kesätyöntekijöiden hyödyntäminen korkeuskäyrien viimeistelyssä tulee harkintaan.

### 7.3 Karttasymbolien siirto

Abstraktien karttasymbolien, esimerkiksi havupuumetsän symbolin takia on turhaa leikata käyrää poikki, sillä symbolin sijainti on epämääräinen ja suuntaa antava. Tällaisia symboleita varten päätettiin kirjoittaa MVBA-ohjelma, joka käy läpi kaikki kartat ja siirtää symboleita parempaan kohtaan.

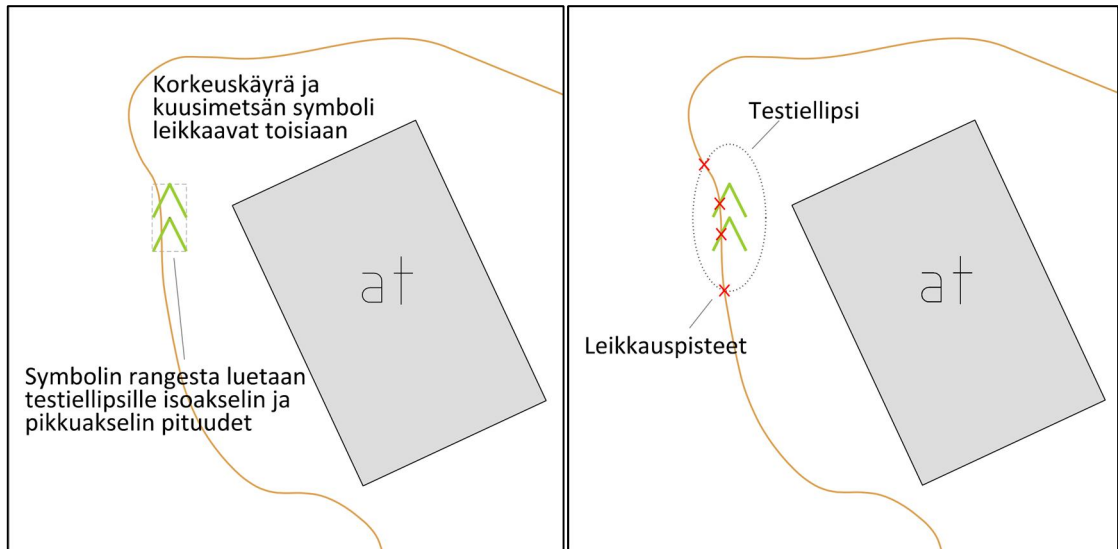
Ensin käytiin läpi kaikki kantakartoilla esiintyvät solut ja listattiin tällaisten siirrettävien solujen tasot. Todettiin, että pääsääntöisesti tällaiset symbolit saavat liikkua melko paljonkin ja lähtökohdaksi symbolin uudelle sijainnille asetettiin kolmen metrin maksimietäisyys lähtösijainnista. Tähän havaittiin kuitenkin poikkeuksia etenkin rakennetulla alueella, jossa kolmen metrin liikkumavaralla symboli saattaisi hypätä ajoradan puolelle tai rakennuksen sisälle.

Ohjelma toimii siten, että se käy läpi jokaisen solun, joka on etukäteen listatulla tasolla DGN-tiedostossa. Solut ovat MicroStationin elementtityyppi, joka koostuu viivoista tai alueista ja tallennetusta sisäisestä origopisteestä. Solut tallennetaan yleensä solukirjastoon toistuvaa käyttöä varten. Elementtejä, joista solu koostuu, kutsutaan solun komponenteiksi. Solua voi sen luonnin jälkeen käyttää valitsemalla se solukirjastosta ja sijoittamalla se kuvatiedostoon. [MicroStation käyttöohje 2012.]

Kirjoitettu ohjelma etsii jokaisen löytämänsä solun läheisyydestä korkeuskäyriä ja tarkistaa, leikkaako yksikään käyrä mitä tahansa solun komponenttia. Leikkauspistetarastelut tehdään tasossa, siten että käsiteltävien elementtien virtuaaliset kopiot skaalataan x-, y- ja z-akseleiden suhteen arvoilla 1,1,0 vastaavasti, jolloin ne siirtyvät Z-akselin 0-tasoon, mutta säilyvät muuten liikkumatta.

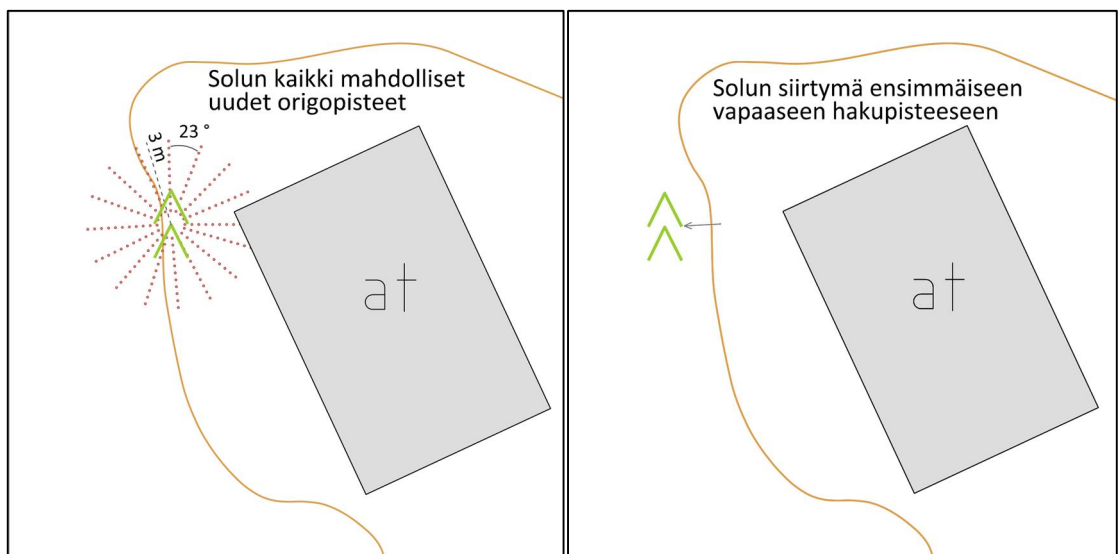
Jos leikkauspisteitä löytyy, ohjelma kokeilee uusia sijoituspaikkoja 0,5 metrin pituisella siirtovektorilla, joka kiertyy noin 23 astetta vastapäivään jokaisella askeleella. Jos täydellä kierroksella ei löydy sopivaa sijoituspaikkaa, kasvaa siirtovektorin pituus 0,5 metrillä ja kierros alkaa alusta. Tässä vaiheessa ei tutkita solun komponenttien leikkauksia käyrien kanssa, vaan solun rangesta generoidun ellipsin, jonka akselien pituudet ovat rangen x- ja y-pituuksien suuruiset. Tätä ellipsiä skaalataan vielä 1,1-kertaiseksi, jolloin saadaan haluttua tilaa solun sijoituspaikan ja mahdollisesti leikkaavien elementtien väliin. Lisäksi nyt tutkitaan solun leikkauksia kaikkien tiedoston elementtien kanssa, eikä pelkästään käyrien. Kun tiedostosta löytyy paikka, jossa leikkaamisia muiden ele-

menttien kanssa ei tapahdu, siirretään elementti siihen. Kuvat 11–14 havainnollistavat ohjelman toimintaa.



Kuva 11 (vasemmalla). Ongelman lähtötilanne

Kuva 12. Testiellipsin ja solukomponenttien leikkauspisteet käyrän kanssa



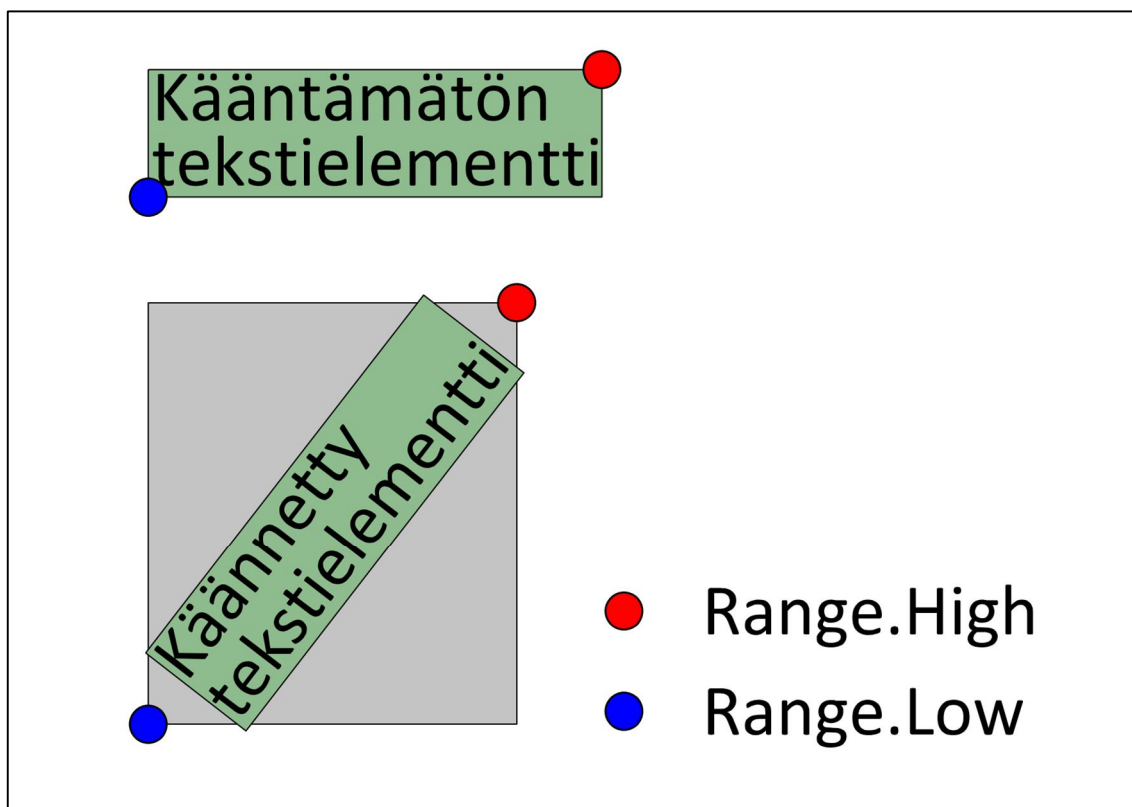
Kuva 13 (vasemmalla). Hakupisteet solun vapaalle paikalle

Kuva 14. Symbolin lopullinen siirtymä

MicroStationissa tällaisen ohjelman kirjoittamisessa pitää ottaa huomioon muutamia erilaisten elementtityyppien asettamia vaatimuksia. Karttatuotannossa tavallisesti käy-

tettävät elementtityypit ovat viivat, monikulmiot, käyrät, kaaret, solut, tekstit ja näiden yhdistelmät eli yhdistelmämonikulmiot ja yhdistelmäviivat. Näistä leikkauspisteitä muiden elementtien kanssa ei voida suoraan tutkia soluista eikä teksteistä. Solut, kuten edellä on mainittu, koostuvat solun komponenteista, jotka puolestaan ovat muita elementtityyppejä. Jokainen solu täytyy siis avata komponenteiksi ja tutkia jokainen komponentti erikseen. Periaatteessa on mahdollista, että solun sisällä on toinen solu, joka taas vastaavasti täytyisi avata komponenteikseen, mutta tällaisia ei yleensä käytetä. [MicroStation käyttöohje 2012.]

Koska tekstielementin ja muiden elementtien välisiä leikkauspisteitä ei voida suoraan tutkia, täytyy tekstien käsittelemiseksi tekstielementistä lukea sen bounding box eli MicroStation terminologiassa range. Tekstielementin rangea voi käyttää yksiselitteisesti leikkauspisteiden hakemiseen, mikäli tekstielementti on sijoitettu vaakatasoon. Jos taas tekstielementti on sijoitettu kierrettynä johonkin kulmaan, esimerkiksi katujen nimet ovat katujen suuntaisia, täytyy tämä ottaa huomioon. Hyvä keino ongelman ratkaisemiseksi on lukea tekstielementin kääntökulma suhteessa kuvatiedoston z-akseliin ja laskea sellaisen vastaavan tekstielementin range, joka on sijoitettu tiedostoon x-akselin suuntaisesti eli vaakatasoon. Saatua rangea kuvaavan suorakulmion voi sitten kääntää taas alkuperäisen tekstielementin suuntaiseksi käyttämällä tiedettyä kääntökulmaa z-akselin ympäri. Saatu suorakulmio kuvaa hyvin tekstielementin viemää tilaa kuvalta. Kuva 15 havainnollistaa tätä menetelmää.



Kuva 15. Tekstelementin spatiaalisten ulottuvuuksien selvittäminen MicroStationissa. Range.High ja Low kuvaavat koordinaattipareja, jotka määrittelevät elementin rangen ylä- ja alarajat.

Ohjelmaa testattaessa havaittiin, että jo ennakoitu solujen siirtyminen talojen sisään tai ajoradalle piti paikkansa. Tämän estämiseksi päätettiin kaikkien sellaisten solujen siirto estää, jotka jossain vaiheessa paikanhakua leikkasivat tien reunan tai rakennuksen kanssa. Kaikki elementit, joita ei voida tämän tai muutoin liian ahtaan paikkansa vuoksi siirtää mihinkään, listataan tekstitiedostoon tiedosto- ja koordinaattitietoineen, jolloin niiden korjaus käsin onnistuu melko nopeasti.

Lisäksi havaittiin, että leikkausellipsin käyttäminen paikan haussa löysi paikan vain noin 85 %:lle soluista, kun taas pelkkä solun komponenttien leikkaamisen vertailu löysi yli 95 %:lle soluista sopivan paikan. Tämän johdosta päätettiin suorittaa operaatio siten, että ensiksi etsitään leikkaaville soluille uutta paikkaa käyttäen tällaista apuellipsiä ja sen jälkeen lopuille soluille haetaan paikka pelkkiä solun komponentteja käyttäen. Tämän menetelmän ongelmana on se, että osalle soluista löytyy sinänsä vapaa paikka, mutta se saattaa olla esimerkiksi yhden millimetrin päässä toisesta elementistä, joten lopputulos ei ole yhtä hyvä kuin käyttämällä solua ympäröivää apuellipsiä. Vasta tästä jälkimmäisestä ajosta kirjoitetaan listaustiedosto käsin korjattavista elementeistä.

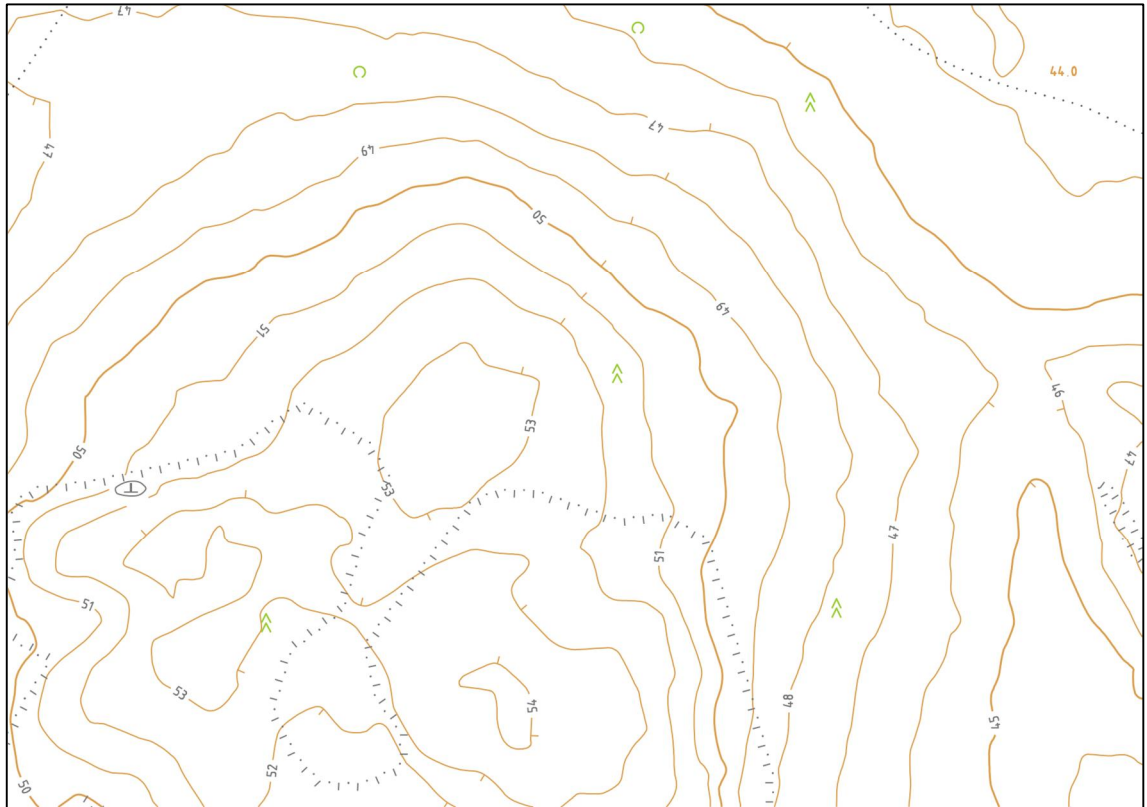
Käytetyn menetelmän etuna on, että lähes kaikille (yli 95 %) käyrien kanssa leikkaavista soluista löydetään vapaat paikat. Lisäksi suurimmalle osalle soluista (85 %) löydetään paikat, joissa ne sijaitsevat hyvin irrallaan muista elementeistä visuaalisesti hyvillä paikoilla. Haittana puolestaan on se, että osalle soluista löytyy paikka, jossa ne ovat erittäin lähellä toista elementtiä. Pienelle osalle siirrettävistä soluista puolestaan saattaa löytyä paikka, jossa korkeuskäyrä esimerkiksi kiemurtelee niityn symbolin kahden pystyviivan välistä – leikkausta solukomponenttien kanssa ei tapahdu tässäkään tapauksessa. Menetelmä kuitenkin tavoittaa hyvin alkuperäisen suunnittelufilosofian, eli kartasta saadaan sekä visuaalisesti että dataltaan hyvin toimiva mahdollisimman vähällä käsin tehtävällä ylläpitotyöllä.

Ohjelmaa testattaessa havaittiin vapaan kohdan hakemiseen kuluvan usein yli sekunti per elementti, mikä aiheuttaisi massiivisemmilla aineistoilla tai jatkuvassa käytössä ongelmia. Tässä projektissa käsitellyt elementtimäärät olivat kuitenkin tarpeeksi pieniä, jottei ylimääräisiin toimenpiteisiin ollut tarvetta ryhtyä. Algoritmia olisi kuitenkin mahdollista kehittää esimerkiksi siten, että se kävisi mahdollisia siirtokohtiaan läpi satunnaisessa järjestyksessä tai priorisoisi sellaisia suuntia, joissa leikkauspisteitä esiintyy vähemmän.

Ohjelma täytti hyvin sille asetetut tavoitteet käytännössä. Kartoilla täytyi siirtää yhteensä 16 630 solua. Näistä 87 % saatiin siirrettyä ensimmäisellä, testiellipsiin perustuvalla menetelmällä. Lopuista 1 349 solusta 97 % saatiin siirrettyä sopivampaan kohtaan solukomponentteihin perustuvalla menetelmällä. Ainoastaan 46 solua jouduttiin jättämään kohtiin, joissa ne leikkaavat käyrän kanssa. Onnistumisprosentti oli siis 99,7 %.

#### 7.4 Korkeusluvut ja rinneviivat

Olennainen osa korkeuden esittämistä korkeuskäyrillä ovat korkeusluvut ja rinneviivat. Korkeusluvut kertovat nimensä mukaisesti käyrän korkeuden, ja ne ovat tekstielementtejä. Rinneviivat puolestaan auttavat hahmottamaan maan pinnan muodon osoittamalla alamäkeä kohti [Asemakaavan pohjakartan laatiminen 2013]. Rinneviivat ovat Vantaan kartoilla soluelementtejä, jotka sisältävät yhden metrin pituisen viivan. Kuvassa 16 on esitetty metsäistä aluetta, jossa näkyy korkeuskäyriä, rinneviivoja ja korkeuslukuja.



Kuva 16. Korkeuskäyrät, rinneviivat ja korkeusluvut [Vantaan kantakartta 2013].

Korkeusluvut ja rinneviivat on mahdollista tuottaa automaattisesti samalla kun itse käyrätkin luodaan Terra Modeler -ohjelmassa. Ohjelma lisää niitä tasaisesti joka paikkaan automaattisesti. Keskusteluissa Helsingin kaupunkimittausosaston asiantuntijoiden kanssa kävi ilmi, että he olivat tyytymättömiä automaattisen sijoittelun lopputulokseen kantakartan kartografisen toimivuuden kannalta. He aikoivat sen sijaan kirjoittaa MVBA-ohjelman, joka etsii hyviä sijoituspaikkoja rinneviivoille ja korkeusluville perustuen niiden aikaisempaan sijoituspaikkaan vanhoilla N43-korkeuskäyrillä [Hårdh 2012]. Tämä idea vaikutti toimivalta, ja sitä päätettiin kokeilla myös Vantaalla. Menetelmän etuna on se, että kartanpiirtäjän käsin kartografisesti hyvään paikkaan sijoittamat rinneviivat ja korkeusluvut saadaan hyödynnettyä vaikka käyrät uusittaisiinkin. Helsingin kaupunkimittausosasto lähetti avuliaasti oman koodinsa, mutta aineistojen eroavaisuuksista ja erityispiirteistä johtuen päädyttiin siihen, että uuden koodin kirjoittaminen on vähemmän työläämpi ratkaisu kuin saadun muokkaaminen sopivaksi.

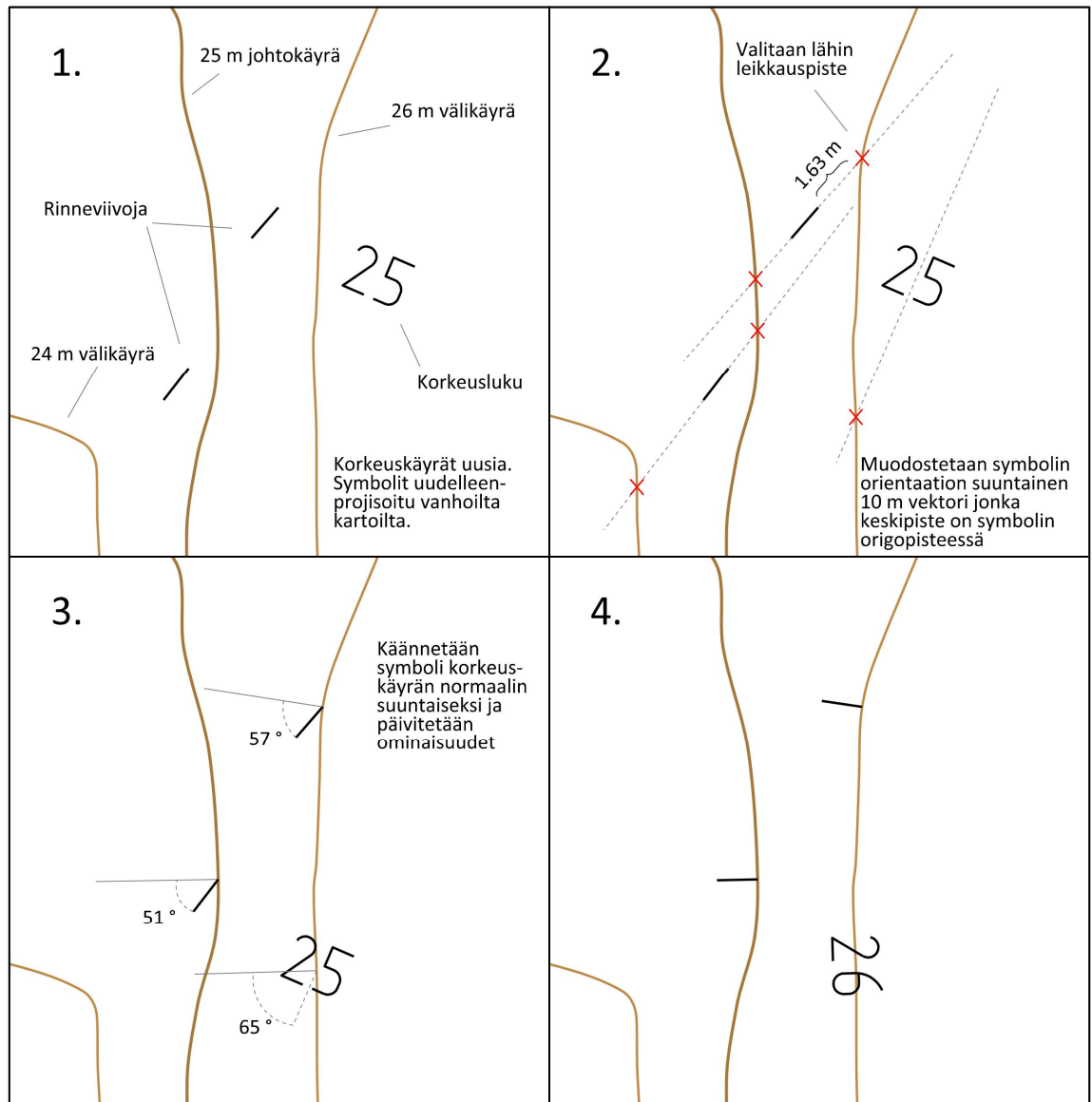
Algoritmia suunniteltaessa sen toiminta hahmoteltiin pääpiirteissään sellaiseksi, että jokaisen rinneviivan ja korkeusluvun keskipisteestä lähdettäisiin projisoimaan vektoria elementin suuntaisesti tietyn etäisyyden verran ja etsittäisiin leikkauspisteitä käyrien

kanssa. Tähän liittyen pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja muun muassa sen osalta, pitäisikö symbolien projektioiden leikata käyrien kanssa kolmi- vai kaksiulotteisesti. Toisin sanoen: pitäisikö käyrälle osuvan symbolin olla samassa korkeudessa itse käyrän kanssa. Testattaessa tätä vaihtoehtoa todettiin kuitenkin, että silloin moni visuaalisesti kelpo symboli jäisi hyödyntämättä. Tämän johdosta leikkausten tarkastelu tapahtuu siis aina kaksiulotteisesti, Z-akselin 0-tasossa.

Lisäksi pohdittiin, pitäisikö symbolille hakea paikka aina lähimmältä käyrältä vai ainoastaan alamäen suunnasta. Tämä on merkittävä seikka sen kannalta, mihin suuntaan valmiit rinneviivat ja luvut osoittavat kartalla. Säännön mukaan rinneviiva osoittaa aina alamäkeen, ja samoin korkeusluku on sijoitettu siten, että se on luettavissa suoraan silloin kun katsojan rintamasuunta on alamäestä ylämäkeen [Asemakaavan pohjakartan laatiminen 2013].

Jos symboleita siirretään lähimmälle käyrälle siirtosuunnasta riippumatta, saatetaan hypätä toiselle puolelle mäkeä tai notkoa. Tällöin symboli olisi sijoitettu väärin päin, mikä on merkittävä virhe etenkin rinneviivan suhteen, mutta aiheuttaa sekaannusta myös lukujen kanssa. Toisaalta vastaavia ongelmia syntyy muutenkin käyrien erilaisista muodoista johtuen, vaikka symboleita siirrettäisiin aina vanhan alamäen suuntaan. Lisäksi huomattiin taas, että moni hyvä symboli jäi hyödyntämättä, jos käytettiin viiden tai kymmenenkin metrin maksimietäisyyttä symbolin liikkumiselle, kun taas ylämäestä symbolille löytyisi helposti sopiva käyrä.

Näiden seikkojen johdosta symboleille päätettiin etsiä sopivia käyriä kymmenen metrin janalta, joka on samansuuntainen alkuperäisen symbolin kanssa. Symboli sijaitsee itse tämän hakuajan keskipisteessä. Kaikista löydetyistä kandidaattikäyristä valitaan lähimmäinen vaihtoehto. Sen jälkeen uusi symboli sijoitetaan janan ja käyrän leikkauspisteeseen ja symboli käännetään käyrän normaalin suuntaiseksi leikkauspisteessä. Terra Modeler piirtää korkeuskäyrät aina samansuuntaisesti, kukkulat myötäpäivään ja notkelmat vastapäivään, joten käyrän tangentin tai normaalin perusteella voi päätellä kumpaan suuntaan rinneviivan tai korkeusluvun pitäisi käyrällä osoittaa. Käännön jälkeen symboli nostetaan käyrälle eli asetetaan oikeaan korkeuteen, ja sen ominaisuustiedot päivitetään korkeuden ja tyypin (väli- tai johtokäyrä) osalta oikeiksi. Korkeusluku-kohteiden ulkoasu päivitetään, jotta visuaalinen teksti vastaisi oikeaa korkeutta. Kuvassa 17 on havainnollistettu tätä operaatiota.



Kuva 17. Korkeuslukujen ja rinneviivojen siirto N2000-korkeuskäyriin.

Tällä menetelmällä lähekkäisille symboleille löytyy toisinaan sama käyrä, jonka johdosta saattaa syntyä kohtia jossa on esimerkiksi kaksi rinneviivaa vierekkäin samalla käyrällä. Aineisto siistitään jälkikäteen etsimällä hyvin lähekkäiset rinneviivat ja korkeusluvut ja poistamalla ylimääräiset. Liitteessä 4 havainnollistetaan koko korkeuskäyrien käsittelyn prosessia.

## 7.5 Tulokset ja jälkikäsitely

Kantakartan myöhempää laadun parantamista varten suoritettiin valmiille kartoille ajo, jossa verrattiin korkeuslukujen ja rinneviivojen lukumäärää suhteessa karttalehden korkeuskäyrien lukumäärään. Tämä suhdeluku paljasti sellaisia karttalehtiä, joilla syystä tai toisesta on puutteellinen määrä korkeuslukuja tai rinneviivoja. Tämän aineiston avulla pystytään koordinoimaan kartan ylläpitäjien työtä korkeuskäyrien viimeistelyn parissa ja saamaan kantakartta nopeasti laadukkaammaksi.

Osa rinneviivoista sijaitsi myös kartografisesti hieman kummallisessa kohdassa, jos käyrän muoto oli muuttunut radikaalisti vanhaan käyrään verrattuna. Tällaiset poikkeukset korjataan sitä mukaa, kun ne tulevat vastaan kantakartan tavanomaisessa ylläpidossa.

Jälkikäteen selvitettiin, kuinka paljon lähtöaineistossa oli rinneviivoja ja korkeuslukuja ja kuinka paljon niitä saatiin käyttöön uusille käyrille. Tulokset olivat melko hyviä: lähtöaineistossa oli yhteensä noin 140 000 rinneviivaa ja noin 90 000 korkeuslukua. Rinneviivoista uusille käyrille saatiin siirrettyä 70 % ja korkeusluvuista 83 %.

## 8 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä toteutettiin Vantaan kantakartta-aineistoille tasokoordinaattimuunnos VVJ-tasokoordinaatistosta ETRS-GK25-tasokoordinaatistoon ja pääkaupunkiseudun yhteiseen ETRS-GK25-karttalehtijakoon. Aineistolle tehtiin myös korkeusmuunnos N43-korkeusjärjestelmästä N2000-korkeusjärjestelmään. Osana korkeusmuunnosprojektia vanhat korkeuskäyrät poistettiin kartoilta ja laserkeilauksesta tuotetut korkeuskäyrät otettiin käyttöön.

Tasomuunnos toteutettiin jakamalla kantakarttojen aineistot neljään eri osaan ja muuntamalla sekä leikkaamalla osat uuteen lehtijakoon hieman eri asetuksin. Jokainen osio siivottiin erilaisilla MVBA-ohjelmilla. Näin toimimalla varmistettiin, että jokainen karttakohde siirtyy varmasti uudelle kartalle, on oikealla karttalehdellä ja löytyy kartalta vain kertaalleen. Muunnosten jälkeen aineisto koottiin taas yhteen yhdistämällä nämä neljä tiedostoa kokonaiseksi kantakartan tiedostoksi.

Tasomuunnos onnistui hyvin. Kartassa ei havaittu mitään puutteita, ja erityisesti rakennusten säilyttäminen yhtenäisinä komplekseina yhdellä karttalehdellä onnistui hyvin työssä kuvatulla sulautettuihin buffereihin perustuvalla jälkikäsitteilymenetelmällä. Karttaelementtien monistumista ei pystytty täysin estämään ja tuplaelementtien määrä kartoilla kasvoikin noin 1–2 %. Tarkastusten aikana havaittiin, että kartoilla on paikoitellen hyvin runsaasti tuplaelementtejä ja niiden siivoaminen koordinoitusti voisi olla suositeltavaa.

Tasomuunnoksen jälkeen aineistolle suoritettiin eri vakiomuunnosparametrein korkeusmuunnos, joka perustui vaaitustuloksiin ja N43- ja N2000-korkeusjärjestelmien väliin eroihin. Muunnos todennettiin laskemalla korkeusdataa sisältävien elementtien keskimääräinen korkeus ennen ja jälkeen muunnoksen. Tällaisen todennusmenetelmän käyttö todettiin hyväksi, ja se antoi varmuuden muunnoksen onnistumisesta koko aineistolla.

Laserkeilausaineistosta muodostetusta korkeuskäyrästä poistettiin ne kohdat, jotka peittivät esimerkiksi tiestöä, rakennuksia tai vesistöjä. Tämä onnistui bufferoimalla pääasiassa viivamaista lähtöaineistoa ja erilaisia aineistoja yhdistelemällä. Korkeuskäyrät liitettiin kartoille ja niille siirrettiin vanhojen korkeuskäyrien korkeusluvut ja rinneviivat. Näistä vanhoista käyräsymboleista saatiin uudelleen käyttöön vastaavasti 83 % ja 70 %. Osaa karttasymboleista siirrettiin siten, että ne asettuivat käyrästä väleihin, jotta leikkausta käyrien kanssa ei tapahdu. Käyrien automaattinen prosessointi toimi hyvin, ja lopputuloksena oli kartografisesti toimivaa karttaa. Tästä huolimatta käsityönä suoritettavaa viimeistelyä jää kartan ylläpitäjien tehtäväksi pitkäksi aikaa, jotta kartan visuaalinen ja kartografinen toimivuus olisi mahdollisimman hyvä.

Eri operaatiot ja prosessit testattiin erilaisilla testialueilla, jotka vastasivat aina noin 4–10 %:a kaupungin kokonaispinta-alasta. Näin menetelmällä pystyttiin testaamaan nopeasti erilaisia vaihtoehtoja operaatioiden toteuttamiseksi, kuitenkin riittäväällä kattavuudella. Tällaisen menettelytavan käyttö onkin ehdotonta tämän kokoluokan aineistojen kanssa toimittaessa.

## Lähteet

About PostGIS. 2013. Verkkodokumentti. <<http://postgis.net/>> . Luettu 4.3.2013.

Asemakaavan pohjakartan laatiminen. 2013. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon suositukset (Luonnos). <[http://www.jhs-suositukset.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=8dd63dda-a210-4fa0-885b-16ba672f6036&groupId=14](http://www.jhs-suositukset.fi/c/document_library/get_file?uuid=8dd63dda-a210-4fa0-885b-16ba672f6036&groupId=14)>. Luettu 26.2.2013.

Bentley Map käyttöohje. 2012. Verkkodokumentti. Bentley. <<http://www.bentley.com/en-US/Products/Bentley+Map/XML-FM.htm>> Luettu 25.11.2012.

Caldwell, Douglas R. 2005. Unlocking the Mysteries of the Bounding Box. Verkkodokumentti. <<http://purl.oclc.org/coordinates/a2.htm>>. Luettu 4.1.2013.

Coordinate Conversions and Transformations. 2012. Verkkodokumentti. OGP. <<http://www.epsg.org/guides/docs/g7-2.pdf>>. Luettu 19.1.2013.

Direktiivi, laki ja asetus. 2013. Verkkodokumentti. Paikkatietoikkuna. <<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/direktiivi-laki-ja-asetus>>. Luettu 26.2.2013.

EUREF-FIN käyttöönottoraportti. 2012. Vantaan kaupunki, mittausosasto.

EUREF-FIN/N2000 PKS-projektin päätöskokous. 2013. Pöytäkirja 15.1.2013. Vantaan kaupunki, mittausosasto.

GIS Dictionary. 2013. Verkkodokumentti. ESRI. <<http://support.esri.com/es/knowledgebase/GISDictionary/term/false%20easting>>. Luettu 27.2.2013.

Grönroos, Matti. 2009. Gauss-Krüger- ja UTM-projektoiden konstruktio. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/UTM-projektio>>. Luettu 18.3.2013.

Hårdh, Jarkko. 2012. Paikkatietoasiantuntija, Helsingin kaupunki. Sähköpostikeskustelu 9.11.2012.

Häkli, Pasi ym. 2009. Suomen geodeettiset koordinaatit ja niiden väliset muunnokset. Verkkodokumentti. Geodeettinen laitos. <<http://www.fgi.fi/fgi/sites/default/files/publications/gltiedote/GLtiedote30.pdf>>. Luettu 27.2.2013.

JHS 153. 2008. ETRS89-järjestelmän mukaiset koordinaatit Suomessa. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon suositukset. <<http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs153>>. Luettu 16.2.2013.

JHS 154. 2008. ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon suositukset. <<http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs154>>. Luettu 16.2.2013.

Junttila, Kimmo. 2012. Kaupunkimittausinsinööri, Vantaan Kaupunki. Keskustelut 18.9.2012 ja 28.11.2012.

Junttila, Kimmo. 2012. Uuden koordinaatti- ja korkeusjärjestelmän käyttöönotto Vantaalla. 21.8.2012.

Kalso, Markus. 2013. Paikkatietoinsinööri, Vantaan Kaupunki. Keskustelu 29.1.2013.

Karttaprojektiot. 2013. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/karttaprojektiot>>. Luettu 28.2.2013.

Lukkari, Mikko. 2006. Vantaan kaupungin EUREF-FIN-liitos. Insinööryö. Metropolia ammattikorkeakoulu, Espoo.

Mandagere, Nagapramod. 2013. Buffer Operations in GIS. Verkkodokumentti. University of Minnesota. <[http://www-users.cs.umn.edu/~npramod/enc\\_pdf.pdf](http://www-users.cs.umn.edu/~npramod/enc_pdf.pdf)>. Luettu 12.1.2013.

MicroStation käyttöohje. 2013. Verkkodokumentti. Bentley. <<http://docs.bentley.com/en/MicroStation/index.php>>. Luettu 25.11.2012.

Mittausosaston esittely. 2012. Verkkodokumentti. Vantaa.fi. <[http://www.vantaa.fi/fi/asuminen\\_ja\\_rakentaminen/maanmittauspalvelut/mika\\_ihmeen\\_mittausosasto\\_](http://www.vantaa.fi/fi/asuminen_ja_rakentaminen/maanmittauspalvelut/mika_ihmeen_mittausosasto_)>. Luettu 1.11.2012.

Mittausosaston laatujärjestelmä. 2013. Vantaan kaupunki, mittausosasto.

Myllymäki, Sari. 2013. Paikkatietosuunnittelija, Vantaan kaupunki. Keskustelu 27.2.2013.

Mähönen, Timo. 2011. N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönotto Vantaan kaupungissa. Insinööryö. Metropolia ammattikorkeakoulu, Espoo.

Ojala, Gunilla. 2013. Paikkatietosuunnittelija, Vantaan kaupunki. Keskustelu 27.2.2013.

Piirainen, Tero. 2013. Apulaispiiriteknikko, Vantaan kaupunki. Keskustelu 17.10.2012.

Rainio, Antti. 2012. Yhteentoimivaa paikkatietoa. EUREF II teemapäivä 4.9.2012.

Saarikoski, Antti. 2007. N2000 – korkeusjärjestelmän käyttöönotto Maanmittauslaitoksessa. Verkkodokumentti. Maanmittaustieteiden seura. <[http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Antti\\_Saarikoski.pdf](http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Antti_Saarikoski.pdf)>. Luettu 26.2.2013.

Tolkki, Timo. 2012. ETRS-GK25FIN lehtijako pääkaupunkiseudulla. Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto.

Tolkki, Timo. 2012. EUREF-FIN/N2000 KÄYTTÖÖNOTTO - EPSG-KOODIT. Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto.

Tolkki, Timo. 2012. EUREF-FIN/N2000 käyttöönotto Helsingissä. Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto.

Using the EPSG Geodetic Parameter Dataset. 2012. Verkkodokumentti. OGP. <<http://www.epsg.org/guides/docs/G7-1.pdf>>. Luettu 27.2.2013.

Vantaan karttakoordinaatisto. 2013. Verkkodokumentti. Vantaa.fi. <[http://www.vantaa.fi/fi/asuminen\\_ja\\_rakentaminen/maanmittauspalvelut/kartat\\_ja\\_ilma\\_kuvat/karttakoordinaatisto](http://www.vantaa.fi/fi/asuminen_ja_rakentaminen/maanmittauspalvelut/kartat_ja_ilma_kuvat/karttakoordinaatisto)>. Luettu 12.2.2013.

Wesa, Klaus. 2012. Kartastot-työpiste. Vantaan kaupunki, mittausosasto.

## Suomessa käytettävien EUREF-FIN-koordinaatistojen EPSG-koodit

Lähde: Maanmittauslaitos

### Suomalaisten koordinaatistojen EPSG -koodit

#### ETRS89 - koordinaattijärjestelmä

##### Maantieteelliset (geodeettiset) ja karteesiset koordinaatistot

Koodi	Nimi	Alias	Selite
4258	ETRS89	ETRS89-GRS80	geographic 2D; $\varphi$ , $\lambda$
4937	ETRS89	ETRS89-GRS80h	geodetic 3D; $\varphi$ , $\lambda$ , $h$
4936	ETRS89	ETRS89-XYZ	geocentric; X, Y, Z

##### ETRS -TMzn-koordinaatistot

Koodi	Nimi	Alias	Selite
5048	ETRS89-TM35FIN(N,E)		N,E country wide
3067	ETRS89-TM35FIN(E,N)		E,N country wide
3046	ETRS89-TM34		N,E 6 degrees
3047	ETRS89-TM35		N,E 6 degrees
3048	ETRS89-TM36		N,E 6 degrees

##### ETRS-GKn - koordinaatistot (JHS154:n mukaiset, itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla $n \cdot 500\,000$ m, $n$ = keskimeridiaanin asteluku)

Koodi	Nimi	Alias	Selite
3873	ETRS89-GK19FIN		False Easting=19500000
3874	ETRS89-GK20FIN		False Easting=20500000
3875	ETRS89-GK21FIN		False Easting=21500000
3876	ETRS89-GK22FIN		False Easting=22500000
3877	ETRS89-GK23FIN		False Easting=23500000
3878	ETRS89-GK24FIN		False Easting=24500000
3879	ETRS89-GK25FIN		False Easting=25500000
3880	ETRS89-GK26FIN		False Easting=26500000
3881	ETRS89-GK27FIN		False Easting=27500000
3882	ETRS89-GK28FIN		False Easting=28500000
3883	ETRS89-GK29FIN		False Easting=29500000
3884	ETRS89-GK30FIN		False Easting=30500000
3885	ETRS89-GK31FIN		False Easting=31500000

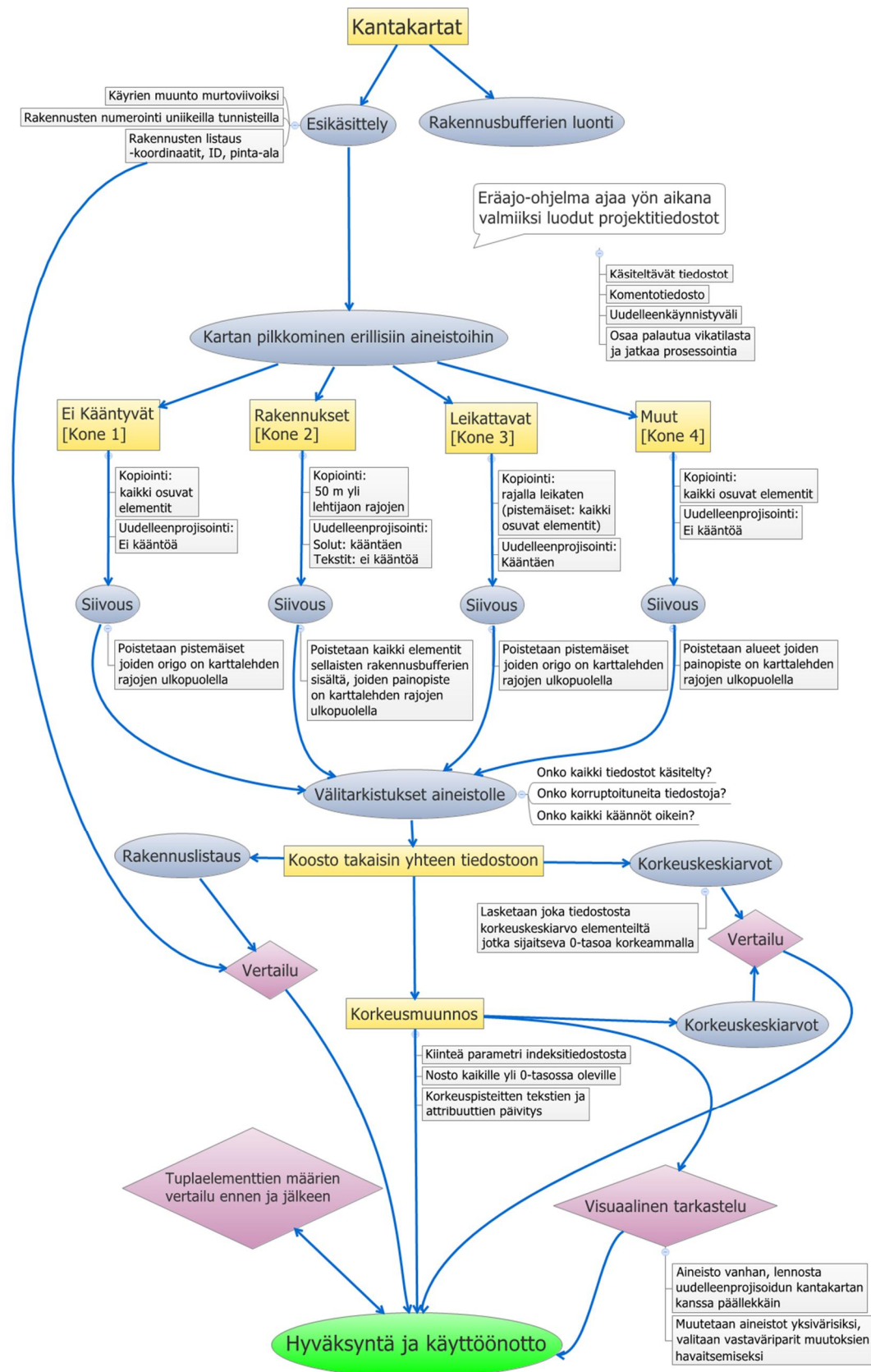
##### ETRS89, Lambertin karttaprojektiot

Koodi	Nimi	Alias	Selite
3034	ETRS89-LCC		Lambert Conformal
3035	ETRS89-LAEA		Lambert Equal Area

##### ETRS-GKn - koordinaatistot (itäkoordinaatin arvo keskimeridiaanilla $500\,000$ m)

Koodi	Nimi	Alias	Selite
3126	ETRS89-GK19FIN		False Easting=500000
3127	ETRS89-GK20FIN		False Easting=500000
3128	ETRS89-GK21FIN		False Easting=500000
3129	ETRS89-GK22FIN		False Easting=500000
3130	ETRS89-GK23FIN		False Easting=500000
3131	ETRS89-GK24FIN		False Easting=500000
3132	ETRS89-GK25FIN		False Easting=500000
3133	ETRS89-GK26FIN		False Easting=500000
3134	ETRS89-GK27FIN		False Easting=500000
3135	ETRS89-GK28FIN		False Easting=500000
3136	ETRS89-GK29FIN		False Easting=500000
3137	ETRS89-GK30FIN		False Easting=500000
3138	ETRS89-GK31FIN		False Easting=500000

## Kantakartan muunnosprosessi



### Vaihtoehtoiset parametrit korkeuskäyrien käsittelyyn

Parametrit 1			
Kategoria	Aineisto	Bufferin leveys (m)	Kuvaus
<i>Liikenneverkko</i>	Tien keskilinjat	4	Digiroad valta-, kanta- ja seututiet, kokoojakadut
<i>Liikenneverkko</i>	KL-keskilinjat	4	Tiet ilman pyörätietä = pääasiassa as. kadut
<i>Liikenneverkko</i>	Tien reunat	0,5	Kantakartta: TieAlue_ajorata
<i>Liikenneverkko</i>	Junaradat	2	Kantakartta: junaradat
<i>Liikenneverkko</i>	Kiitotiet	2	Kantakartta: kiitotiet
<i>Rakennukset</i>	Rakennukset	1	EUREF-projektin sulautetut rakennusbufferit
<i>Muut</i>	Muut viivat	1	piha-alueet, luiskat, ulkoilureitit, puistotiet, vesialueiden viivat, muut viivat. Ei aitoja.
<i>Muut</i>	Pienet solut	1,5	Kantakartta ~ 1 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Suuret solut	2	Kantakartta ~2 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Jyrkanne	3	
<i>Muut</i>	Muut alueet	1	Kantakartta: kivet, vesialueet, laiturit, muuntamot, pylväitten perustukset
Käyrien minimipituus 5 metriä			

Parametrit 2			
Kategoria	Aineisto	Bufferin leveys (m)	Kuvaus
<i>Liikenneverkko</i>	Tien keskilinjat	2,5	Digiroad valta-, kanta- ja seututiet, kokoojakadut
<i>Liikenneverkko</i>	KL-keskilinjat	2,5	Tiet ilman pyörätietä = pääasiassa as. kadut
<i>Liikenneverkko</i>	Tien reunat	2,5	Kantakartta: TieAlue_ajorata
<i>Liikenneverkko</i>	Junaradat	2	Kantakartta: junaradat
<i>Liikenneverkko</i>	Kiitotiet	2	Kantakartta: kiitotiet
<i>Rakennukset</i>	Rakennukset	1	EUREF-projektin sulautetut rakennusbufferit
<i>Muut</i>	Muut viivat	1	Aidat, piha-alueet, luiskat, tukimuurit, ulkoilureitit, puistotiet, vesialueiden viivat, muut viivat
<i>Muut</i>	Pienet solut	1	Kantakartta ~ 1 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Suuret solut	2	Kantakartta ~2 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Jyrkanne	3	
<i>Muut</i>	Muut alueet	1	Kantakartta: kivet, vesialueet, laiturit, muuntamot, pylväitten perustukset
Käyrien minimipituus 10 metriä			

Parametrit 3			
Kategoria	Aineisto	Bufferin leveys (m)	Kuvaus
<i>Liikenneverkko</i>	Tien keskilinjat	4	Digiroad valta-, kanta- ja seututiet, kokoojakadut
<i>Liikenneverkko</i>	KL-keskilinjat	4	Tiet ilman pyörätietä = pääasiassa as. kadut
<i>Liikenneverkko</i>	Tien reunat	4	Kantakartta: TieAlue_ajorata
<i>Liikenneverkko</i>	Junaradat	2	Kantakartta: junaradat
<i>Liikenneverkko</i>	Kiitotiet	2	Kantakartta: kiitotiet
<i>Rakennukset</i>	Rakennukset	4	EUREF-projektin sulautetut rakennusbufferit
<i>Muut</i>	Muut viivat	1	Aidat, piha-alueet, luiskat, tukimuurit, ulkoilureitit, puistotiet, vesialueiden viivat, muut viivat
<i>Muut</i>	Pienet solut	1	Kantakartta ~ 1 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Suuret solut	2	Kantakartta ~2 m halkaisijan solut
<i>Muut</i>	Jyrkanne	3	
<i>Muut</i>	Muut alueet	1	Kantakartta: kivet, vesialueet, laiturit, muuntamot, pylväitten perustukset
Käyrien minimipituus 12 metriä			

## N2000-korkeuskäyrien käyttöönoton prosessi

