

Jenni Hallisto

# Paimion korkeudella

Selvitys kaupungille N2000-korkeuskäyriin siirtymisestä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

14.2.2014

Tekijä Otsikko	Jenni Hallisto Paimion korkeudella – selvitys kaupungille N2000- korkeuskäyriin siirtymisestä
Sivumäärä Aika	42 sivua + 3 liitettä 14.2.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Reijo Aalto mittausteknikko Virpi Lindvall, Paimion kaupunki
<p>Paimion kaupungin maankäyttö- ja rakennuslautakunta on päättänyt siirtyä uuteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään 1.5.2010 alkaen, mutta korkeusjärjestelmän suhteen muutoksia ei ole tehty. Ongelmia on tuottanut muun muassa asemakaavan pohjakartan N60-korkeuskäyräaineiston jälleenmyynti. Ehdotettiin, että selvitetäisiin, miten korkeuskäyrien uudistaminen sujuisi kustannustehokkaimmin.</p> <p>Ennen päätöstä Paimion kaupungilla on ollut käytössä kartastokoordinaattijärjestelmä KkJ ja korkeusjärjestelmä N60. Päätöksen myötä siirryttiin käyttämään yleiseurooppalaista koordinaattijärjestelmää EUREF-FIN ja korkeusjärjestelmää N2000.</p> <p>Tiedon hankintaa tässä insinööriyössä on tehty lähikunnille ja konsulteille suunnatuin kyselyin sekä tutkien aiheesta aiemmin tehtyjä insinööritöitä ja Internet-aineistoa.</p> <p>N2000-korkeusjärjestelmässä on otettu huomioon muun muassa viime jääkaudesta johtuva maannousu. N2000 asetettiin Suomen viralliseksi korkeusjärjestelmäksi JHS 163:lla. Asemakaavan pohjakartan laatimiseksi on valmistettu pian voimaan astuva JHS 185, jolla asetetaan tarkkuusvaatimukset ja esitystapa myös korkeuskäyrille.</p> <p>Nopeimmat kunnat ovat jo korkeusjärjestelmän muutoksensa tehneet, mutta valtaosa ei. Muutoksia on suoritettu niin vakikorjauksin kuin tehden käyrät täysin uudestaan laserkeilausaineistosta. Maanmittauslaitoksen keilausaineisto on ilmaista, ja siten sen käyttö on kustannustehokasta. Käyrien tuottamisessa kalleinta on käyrästäön muokkaaminen pohjakarttaan sopivaksi. Paimion kaupungille suositellaan, että käyrästäön tuotettaisiin koko kunnan alueelle ja pohjakarttaa varten trimmattaisiin vain sitä vastaava osa.</p> <p>Työstä on hyötyä Paimion lisäksi muillekin kunnille, jotka ovat korkeusjärjestelmän vaihdon äärellä. Työn kautta he ymmärtävät tarkemmin, mistä korkeusjärjestelmissä on kyse ja mitä vaihtoehtoja siirtymiseen on. Asioita ja kokemuksia on koottu kattavasti ja teksti kirjoitettu ymmärrettäväksi, jotta työstä on hyötyä mahdollisimman monelle.</p>	
Avainsanat	korkeus, korkeuskäyrä, N2000, kaavan pohjakartta

Author Title	Jenni Hallisto At the Elevation of Paimio – Report to the Municipality on Transitioning to N2000 Contour lines
Number of Pages Date	42 pages + 3 appendices 14 February 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Reijo Aalto, Principal Lecturer Virpi Lindvall, Land Survey Technician, Municipality of Paimio
<p>Although the board of land use and construction of the municipality of Paimio decided to change over from the old KJK and N60 systems to the new EUREF-FIN and N2000 systems as from May 2010, the changes to the elevation system have not been done by 2013 even though N2000 is now the official system of Finland and must be implemented soon. Therefore, it was proposed that a report on the most cost efficient way to progress with the reconstruction of the contour lines should be done.</p> <p>The data for this final year project was collected from neighbouring municipalities, consultants, and by studying literature, both hard copy and online.</p> <p>The majority of Finnish municipalities had not changed the elevation systems when this project was carried out. Those who had completed the transition had used both standard correction and recreation of contour lines from laser scanning material. Since the laser scanning data of National Land Survey of Finland is free, it is cost efficient to use it. It was established that the most expensive part of reconstructing the contour lines was to shape them to fit the base map. Therefore, it was recommended that the contour lines would be produced to for the whole town, but the base map trimming would be only done to the part equivalent to it.</p> <p>This project is useful not only for Paimio but also to other municipalities about to change the elevation system. They will understand the essence of the elevation systems and recognise their options in the changeover. The issues and experiences were included extensively, and the text was written understandably to be of benefit to all readers.</p>	
Keywords	base map of land use plan, contour lines, elevation, N2000

Pää terävä kuin partaveitsi  
Iloinen kuin peipponen

Fiksulle ja Taitavalle Tyttärelleni

Ronjalle

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hänen Monimuotoinen Korkeutensa	3
2.1	Yleistä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmistä	3
2.2	Ellipsoidi	5
2.3	Geoidi	6
2.4	Maannousu	9
2.5	Korkeusjärjestelmiä	12
2.5.1	N2000-korkeusjärjestelmä	15
2.5.2	Julkisen hallinnon suositus 163	18
2.6	Korkeuskäyristä	19
2.7	Kaavan pohjakartta	20
3	Selvitystyö Juurta Jaksain	24
3.1	Tilanne Paimiossa	24
3.2	Kysely lähikunnille	25
3.3	Aiempia insinööritöitä aiheesta	27
3.3.1	Rauma	27
3.3.2	Kirkkonummi	29
3.3.3	Helsinki	29
3.3.4	Vantaa	30
3.3.5	Virrat	32
3.3.6	Laserkeilaus	33
3.4	Kysely konsulteille	36
4	Yhteenveto	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Maankäyttö- ja rakennuslautakunnan päätös, 18.2.2010	
	Liite 2. Kysely lähikunnille	
	Liite 3. Kysely konsulteille	

## Lyhenteet

AQL	(Acceptance Quality Limit) hyväksyttävä laatutaso, AQL-luku tarkoittaa virheiden määrää sataa yksikköä kohden
BLR2000	(Baltic Levelling Ring 2000) Itämeren ympäri tehdyn vaaitusverkon yhteispohjoismainen tasoitus, määritetty 2000
CRF	(Coordinate Reference Frame) koordinaatisto
CRS	(Coordinate Reference System) 3D-koordinaattijärjestelmä
ESA	(European Space Agency) Euroopan avaruusjärjestö
ETRS89	(European Terrestrial Reference System 1989) yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä, määritetty 1989
ETRS-GK <i>n</i>	(European Terrestrial Reference System Gauss Krüger) yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä Gauss-Krügerin maapallon pintaa sivuavalla projektiolla, esim. ETRS-GK23 kaistalla 23
EVRF	(European Vertical Reference Frame) eurooppalainen korkeusrealisaatio, esim. EVRF2000 vuodelta 2000
EVRS	(European Vertical Reference System) eurooppalainen korkeusjärjestelmä, esim. EVRS2000 vuodelta 2000
EUREF-FIN	(European Reference Frame for Finland) yleiseurooppalainen koordinaattirealisaatio Suomessa
FIN2005	suomalainen N2000-korkeusjärjestelmään sovitettu geoidimalli, määritetty 2005

GIA	(Glacial Isostatic Adjustment) globaalin jäätiköitymisen aiheuttama muodonpalautumisilmiö
GL	Geodeettinen laitos
GLONASS	(Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema, venäjä) nykyisen Venäjän puolustusministeriön satelliittipaikannusjärjestelmä
GNSS	(Global Navigation Satellite System) maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
GOCE	(Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) Maan painovoimaa ja valtamerien merivirtauksia mittaava satelliitti
GPS	(Global Positioning System) Yhdysvaltain puolustusministeriön satelliittipaikannusjärjestelmä
gpu	(Geopotential Unit) geopotentiaaliyksikkö
GRS80	(Global Reference System 1980) kansainvälinen vertausellipsoidi, määritetty 1980
IAG	(International Association of Geodesy) kansainvälinen Geodeettinen Assosiaatio
INSPIRE	(Infrastructure for Spatial Information in Europe) Euroopan parlamentin ja neuvoston paikkatietodirektiivi 2007/2/EY
JHS	julkisen hallinnon suositus, esimerkiksi JHS 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000
JUHTA	Julkisen hallinnon tietohallinnon toimikunta
KKJ	kartastokoordinaattijärjestelmä
LN	Lapin Nolla, tilapäinen Lapin kattava korkeusjärjestelmä

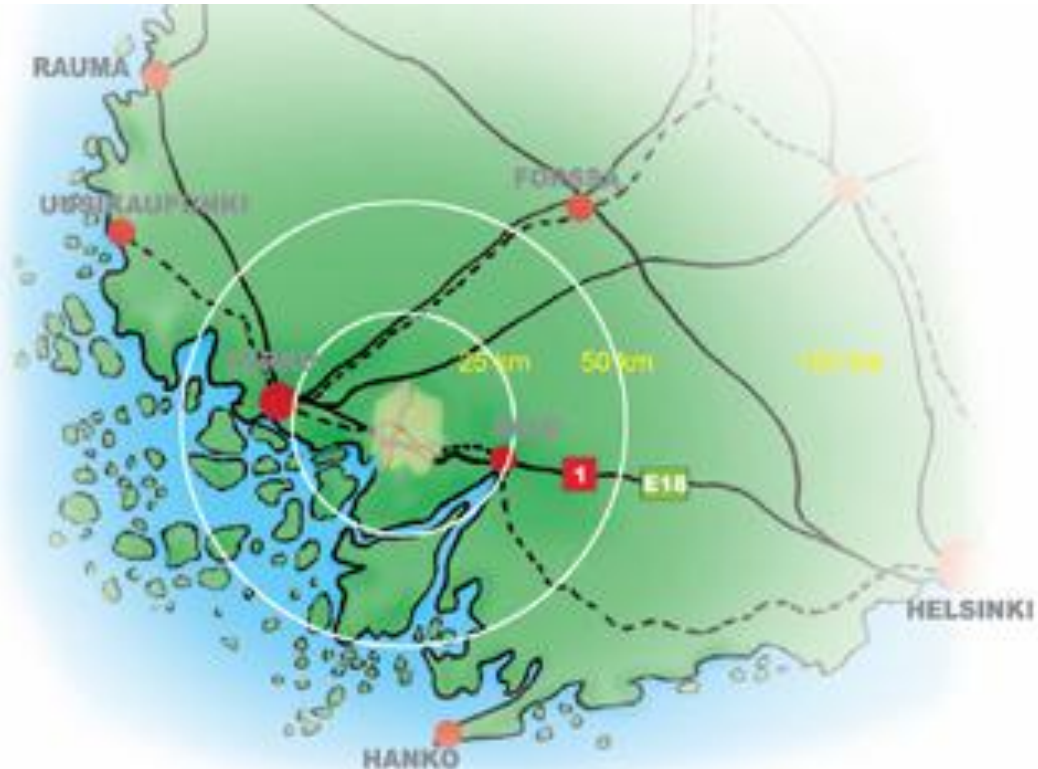
MML	Maanmittauslaitos
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
MW	(theoretical Mean Water) teoreettinen keskivesi
N43	Normaali 1943, tilapäinen Suomen etelä- ja keskiosat kattava korkeusjärjestelmä
N60	Normaali 1960, ensimmäinen koko Suomen kattava korkeusjärjestelmä
N2000	Normaali 2000, koko Suomen kattava korkeusjärjestelmä
NAP	(Normaal Amsterdams Peil, hollanti) länsieurooppalaisten korkeusjärjestelmien lähtötaso
NKG2004	(Nordic Geodetic Commission model 2004) pohjoismaisen geodeettisen komission geoidimalli, määritetty 2004
NKG2005LU	(Nordic Geodetic Commission Land Uplift model 2005) pohjoismaisen geodeettisen komission maannousumalli, määritetty 2005
NN	Normaali Nolla, ensimmäinen valtakunnallinen Suomen etelä- ja keskiosat kattava korkeusjärjestelmä
PP2000	Peruspiste 2000, Suomen 3. tarkkavaaituksen ja N2000- korkeusjärjestelmän pääkiintopiste
SI	(Système International d'unités, ranska) kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä
SLD	(Styled Layer Descriptor) karttatasojen esitystyylin määrittely



SVG	(Scalable Vector Graphics) kaksiulotteinen vektorikuvien kuvauskieli
TIN	(Triangular Irregular Network) epäsäännöllinen kolmiomalli
WGS84	(World Geodetic System 1984) maailmanlaajuinen koordinaattijärjestelmä ja siihen liittyvä geoidimalli, määritetty 1984

## 1 Johdanto

Paimion kaupunki sijaitsee Varsinais-Suomessa Turku–Helsinki-valtatien varrella Turun ja Salon puolivälissä (kuva 1). Tämä jokilaaksostaan ylpeä maaseutukaupunki on perustettu 1325, eli 689 vuotta sitten, ja on ollut kaupunki vuodesta 1997 lähtien. Asukkaita Paimiossa on 10 566 (30.9.2013) ja 242,3 km<sup>2</sup>:n laajuisessa kaupungissa on 165 maatilaa. [1.]



Kuva 1. Paimion kaupungin sijainti [1].

Olen työskennellyt Paimion kaupungilla viisi kuukautta kausityöntekijänä kesällä 2012 ja seitsemän kuukautta projektityöntekijänä kesällä 2013. Ensimmäinen pesti oli lähettämäni avoimen hakemuksen seurauksena ja jälkimmäiseen kaupunki haki julkisesti tekijää.

Kysyin jo kesällä 2012, olisiko Paimion kaupungilla antaa minulle aihe insinöörityöksiä. Kaavoitusinsinööri kertoi, että Paimion kaupungin maankäyttö- ja rakennuslautakunta oli 18.2.2010 päättänyt siirtyä uuteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään 1.5.2010 alkaen (Liite 1), mutta korkeusjärjestelmän suhteen muutoksia ei ole tehty. Ongelmia on tuottanut muun muassa N60-korkeuskäyräaineiston jälleenmyynti. Ehdotettiin, että selvitetään, miten korkeuskäyrien uudistaminen sujuisi kustannustehokkaimmin.

Ennen maankäyttö- ja rakennuslautakunnan päätöstä Paimion kaupungilla on ollut käytössä kartastokoordinaattijärjestelmä KKJ ja ensimmäinen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä N60. Päätöksen myötä siirryttiin käyttämään yleiseurooppalaista koordinaattijärjestelmää EUREF-FIN(ETRS-GK23) ja korkeusjärjestelmää N2000.

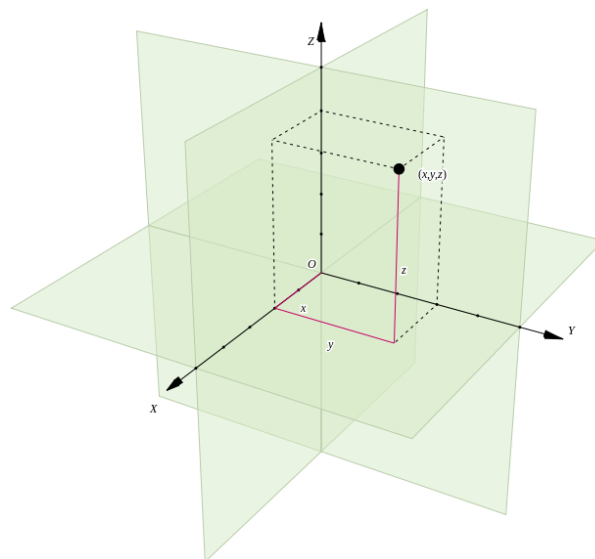
Jaan työn kahteen osaan – teoriaan ja käytäntöön. Perehdyn ensin korkeusjärjestelmiin luvussa 2 Hänen Monimuotoinen Korkeutensa mainiten tasokoordinaatistoista vain välttämättömimmän. Sitten selvitän Paimion kaupungin tilannetta ja kyselyin, millainen tilanne Paimion naapurikunnilla on (liite 2) sekä mikä on konsulttien mielestä paras tapa uudistaa korkeuskäyrät uuteen järjestelmään (liite 3). Aiemmista insinööritöistä pyrin kaivamaan tietoa ensisijaisesti korkeuskäyrien muutoksesta. Lopuksi yhteenvedossa pyrin suosittelemaan Paimion kaupungille parhaaksi katsomaani tapaa käyräaineiston uudistuksen tekemiseen.

## 2 Hänen Monimuotoinen Korkeutensa

### 2.1 Yleistä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmistä

Maapallon kolmiulotteisen todellisuuden kuvaamiseen tarvitaan koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä. Näillä järjestelmillä voidaan pisteiden ja kohteiden sijainti määrittää mahdollisimman tarkasti. Kansainvälisiä 3D-koordinaattijärjestelmiä tarvitaan monien luonnonilmiöiden, kuten mannerten liikkeen seurantaan tai satelliittien sijainnin, määrittämiseen. [2.]

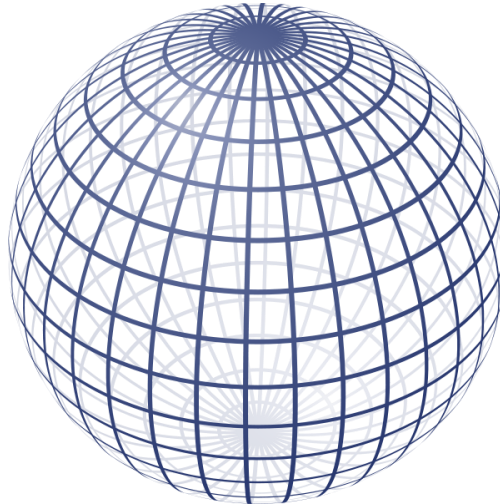
Kolmiulotteinen koordinaattijärjestelmä saadaan aikaan, kun valitaan sille origo eli nolapiste, käytännössä Maan massakeskipiste, ja suuntaamalla koordinaattiakselit Maan suhteen. Tällaista koordinaattijärjestelmää kutsutaan maakeskeiseksi karteesiseksi eli suorakulmaiseksi järjestelmäksi, esimerkiksi vuonna 1989 määritetty yleiseurooppalainen koordinaattijärjestelmä ETRS89 on tällä tavoin määritetty koordinaattijärjestelmä. Kuvassa 2 on havainnollistettuna tällainen järjestelmä. Maakeskeisen koordinaattijärjestelmän mukaisten XYZ-koordinaattien käyttäminen käytännön toimissa ei välttämättä ole havainnollista. [2.]



Kuva 2. Karteesinen 3D-koordinaattijärjestelmä [3].

Maa on vähän litistetyn pallon eli ellipsoidin muotoinen. Jotta koordinaattijärjestelmät sopisivat Maan muotoon mahdollisimman hyvin, liitetään niihin ulottuvuuksiltaan ja orientoinniltaan sopivin ellipsoidi. Tällöin käytetään maantieteellisiä koordinaatteja, eli

leveys- ja pituusasteita. Geodeettisista koordinaateista puhutaan, kun maantieteellisiin koordinaatteihin lisätään korkeus ellipsoidin pinnasta. Kuvassa 3 on esitetty leveys- ja pituuspiirejä ellipsoidilla. ETRS89-koordinaattijärjestelmän kanssa käytetään vuonna 1980 määritettyä kansainvälistä GRS80-vertausellipsoidia. [2.] Ellipsoidia käsitellään luvussa 2.2 Ellipsoidi.



Kuva 3. Leveys- ja pituuspiirit rautalankamallissa [4].

Koordinaattijärjestelmä on kuitenkin vain teoreettinen määritelmä, ja käytännön toimia varten se on realisoitava, eli toteutettava maastossa. Koordinaatistoksi kutsutaan koordinaattijärjestelmän realisaatiota, jolla tarkoitetaan todellisia maastossa olevia mitattuja kiintopisteitä, joille on laskettu koordinaatit. Realisointi tapahtuu nykyisin pääasiassa mittauksin maailmanlaajuisella GNSS-satelliittipaikannusjärjestelmällä, joka hyödyntää sekä Yhdysvaltain puolustusministeriön GPS- että nykyisen Venäjän puolustusministeriön GLONASS-satelliitteja, ja lisäksi muita satelliitteja. ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalaisen realisaation nimi on EUREF-FIN. [2.]

Koordinaatit puolestaan ovat lukuarvoja, jotka määrittelevät pisteen sijainnin kyseisessä koordinaatistossa. Lukuarvoja on yhtä monta kuin koordinaatistossa on akseleita. 3D-koordinaatistoissa käytetään geodeettisia leveys- ja pituuskoordinaatteja ja korkeutta ellipsoidista ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) sekä avaruuskoordinaatteja ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Tasokoordinaatteja, ilman korkeutta, taas ovat myös  $x$  ja  $y$  sekä  $N$  ja  $E$ . [2.]

Geodeettisen koordinaattijärjestelmän määrittelemiseen tarvitaan joukko suureita, joita ovat vertausellipsoidin isoakselin puolikas, Maan geosentrinen vetovoimavakio, dy-

naaminen muotokerroin, pyörähdysliikkeen kulmanopeus, koordinaatiston origon sijainti ja koordinaattiakselien suunnat. Koordinaattijärjestelmän, koordinaatiston, koordinaattien ja datumin suhdetta toisiinsa voidaan esittää kuvan 4 osoittamalla tavalla. [2.]



Kuva 4. Termien suhde [2.]

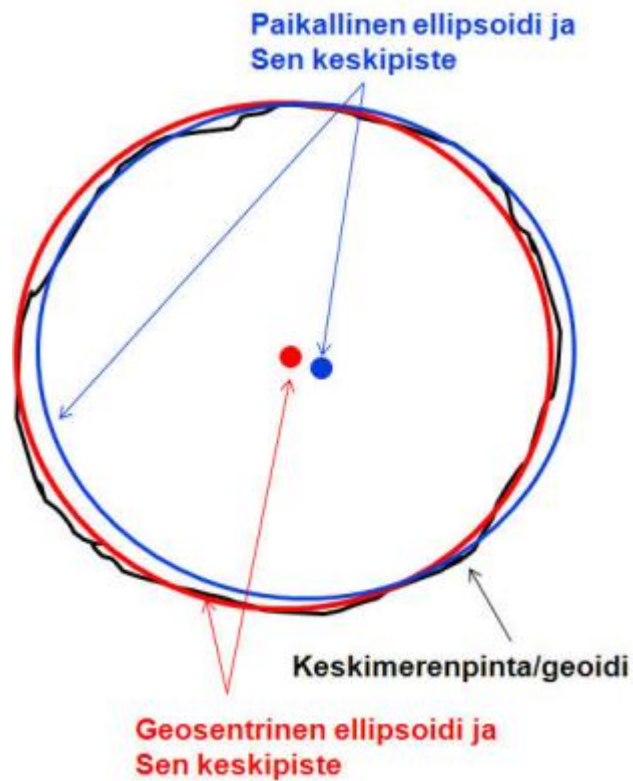
Datumilla tarkoitetaan parametreja, jotka kiinnittävät koordinaatiston tarkastelun kohteena olevaan kokonaisuuteen eli koordinaattijärjestelmään. Geodeettinen datumi määrittelee valitun vertausellipsoidin tai kolmiulotteisen suorakulmaisen koordinaatiston sijainnin ja suunnan suhteessa Maahan. [2.]

Englannin kielen sanaa *datum* tai *geodetic datum* käytetään myös tarkoittamaan koordinaattijärjestelmää. Kun esimerkiksi GPS-vastaanotimissa mainitaan, että datum on WGS84, tarkoittaa se siinä yhteydessä suomeksi koordinaattijärjestelmää. [2.]

## 2.2 Ellipsoidi

Maa on siis hieman navoiltaan litistynyt pallo, jonka muotoa voidaan matemaattisesti kuvata pyörähdysellipsoidilla. Koordinaattijärjestelmässä vertausellipsoidia käytetään kuvaamaan matemaattisesti mahdollisimman tarkasti Maan pintaa. Maantieteelliset koordinaatit (leveys ja pituus) määritetään ellipsoidilla. [2.]

Aiemmin ellipsoidit sovitettiin niin, että ne kuvasivat Maata parhaiten sillä alueella, jolla niitä käytettiin. Nykyisissä kansainvälisissä koordinaattijärjestelmissä käytetään geosentristä eli maakeskeistä ellipsoidia, jonka keskipiste on maan massakeskipisteessä eli painovoiman keskipisteessä. Kuvassa 5 on esimerkki paikallisesti käytetyn ellipsoidin ja globaalin ellipsoidin orientointien erosta Maan suhteen. [2.]



Kuva 5. Paikallisesti käytetyn ellipsoidin ja globaalien ellipsoidin orientointi Maan suhteen [2].

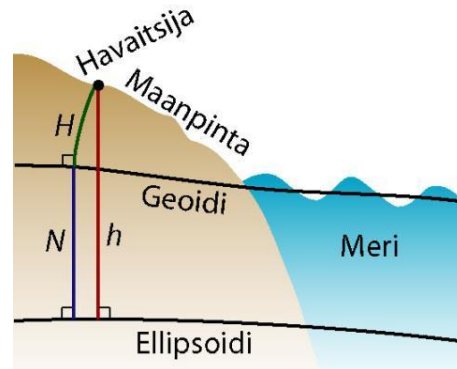
Geometrisesti ellipsoidi on ellipsin eli litistyneen ympyrän pyörähdyskappale. Vertausellipsoidi voidaan täten määrittellä kahdella vakiolla: yleensä määrittelyyn käytetään iso-akselin puolikkaan pituutta  $a$ , joka on maapallon säde metreinä päiväntasaajan kohdalla, ja litistyssuhdetta  $f$  tai litistyneisyyttä  $1/f$ . Globaalina vertausellipsoidina käytetään tällä hetkellä yleisesti GRS80:tä, muun muassa ETRS89-koordinaattijärjestelmässä. GRS80 perustuu tarkempiin ja uudempiin satelliittimittauksiin, ja sen parametrit ovat  $a = 6\,378\,137,0$  ja  $f = 1 / 298,3$ . [2.]

Aiemmin Suomessa laajalti käytössä ollut kartastokoordinaattijärjestelmä KKJ käyttää eri ellipsoidia, joka on nimeltään Kansainvälinen ellipsoidi 1924, mutta tunnetaan myös nimellä Hayfordin ellipsoidi. Sen parametrit ovat  $a = 6\,378\,388,0$  ja  $f = 1 / 297,0$ . [2.]

### 2.3 Geoidi

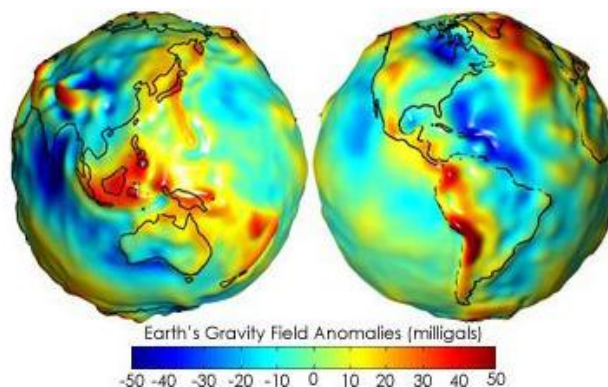
Yleisesti korkeuksista puhuttaessa tarkoitetaan korkeuksia merenpinnasta (kuva 6,  $H$ ). Vertausellipsoidin pinnasta mitattua korkeutta kutsutaan ellipsoidiseksi korkeudeksi ( $h$ ). Korkeus merenpinnasta on käytännöllisempi kuin korkeus vertausellipsoidin pinnasta,

koska se kertoo veden virtaussuunnan. Keskimääräistä merenpintaa, korkeuksien nolatasoa kuvataan geoidilla. Geoidin ja ellipsoidin välistä korkeutta kutsutaan geoidin korkeudeksi (N). [2.]



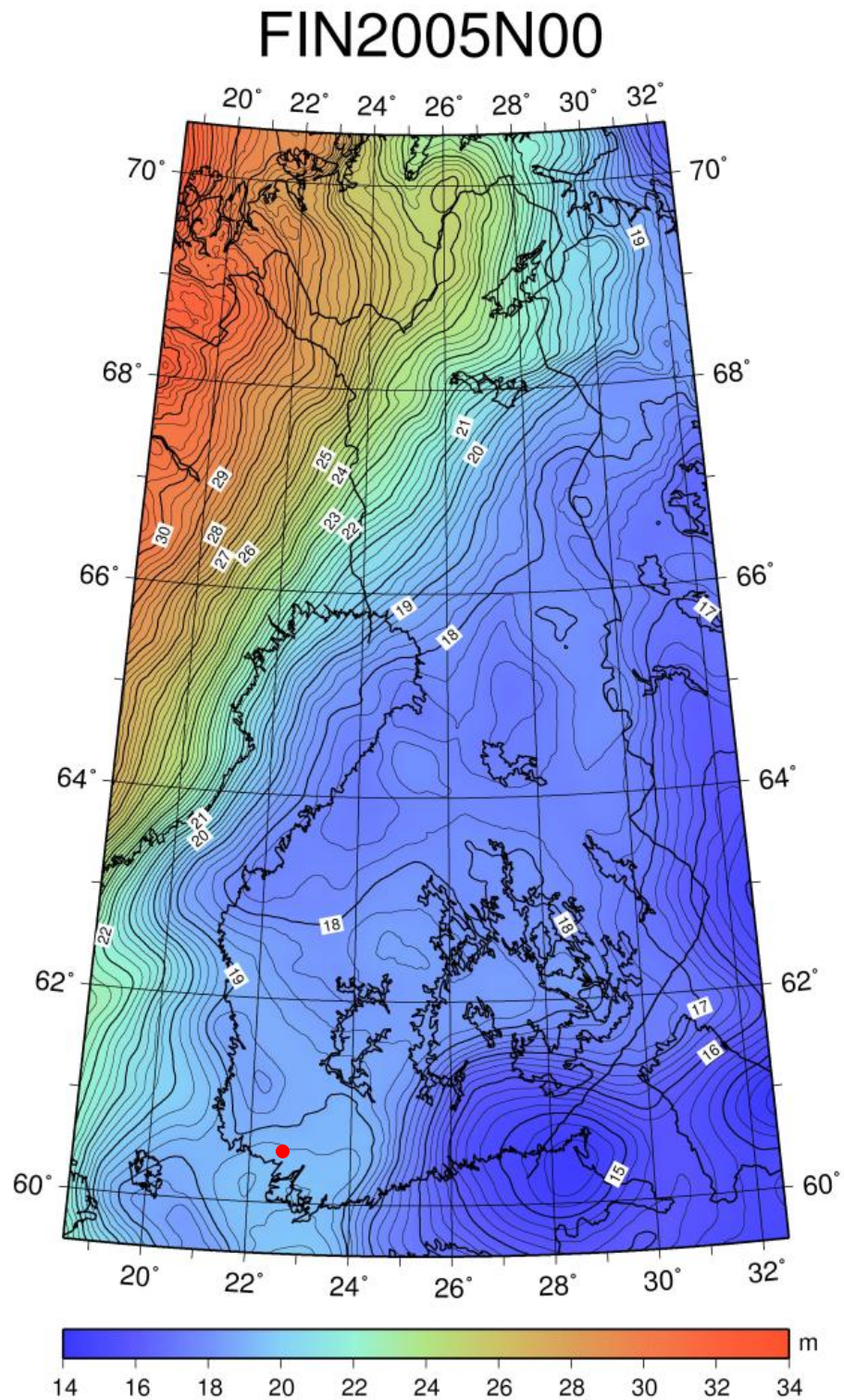
Kuva 6. Geoidikorkeuden (N), ellipsoidikorkeuden (h) ja mitatun korkeuden (H) välinen yhteys on  $h = H + N$  [5].

Maan painovoiman tasa-arvopintaa, johon levossa oleva keskimerenpinta asettuisi, kutsutaan geoidiksi. Mantereilla se on keskimerenpinnan kuvitteellinen jatke. Todellisuudessa – muun muassa veden lämpötila- ja suolaisuusvaihteluiden, ilmanpainevaihteluiden sekä vallitsevien tuulien ja merivirtojen vuoksi – keskimerenpinta eroaa geoidista. Painovoima eli gravitaatio taas on sidoksissa massaan, joten geoidin pintakin on aaltoileva, sillä Maan massa on epätasaisesti jakautunut sen sisäosissa. Toisilla alueilla geoidin pinta on siis kauempana maapallon massakeskipisteestä kuin toisilla. Maan säteeseen suhteutettuna nämä vaihtelut ovat kuitenkin hyvin pieniä – korkeintaan noin 100 metriä. Maa on siis painovoimaltaan "kuhmuinen", kuten kuvasta 7 voi huomata. Kuva 8 taas esittää geoidin poikkeamat Suomen kohdalla – Paimion sijainti on merkitty punaisella pisteellä. [2.]



Kuva 7. Geoidin poikkeamat ellipsoidista [6].





Kuva 8. Geoidin korkeuksia ellipsoidista GRS80 Suomessa [5].

Koska geoidi on fysikaalinen, Maan massojen ja tiheysvaihteluiden määräämä pinta, on geoidin tarkka muoto ja paikka kolmiulotteisessa avaruudessa vaikea määrittää matemaattisesti. Geoidin aaltoilua eli undulaatiota tutkitaan kansainvälisesti satelliiteilla,

joista saatavaa painovoima-aineistoa tarkennetaan Maan pinnalla tehtävillä painovoimamittauksilla. Esimerkiksi Euroopan avaruusjärjestön (ESA) GOCE-painovoimasatelliitti tutkii Maan gravitaatiota ja siten myös geoidia. [5.]

Geoidimallit lasketaan painovoimamittauksien avulla. Kun paikalliset geoidimallit sovitaan kansallisiin referenssijärjestelmiin, saadaan kansallinen geoidimalli. Suomessa käytettävä malli on FIN2005N00 (kuva 8), jonka avulla voidaan muuntaa satelliittipaikkannuksen tuottamat, EUREF-FIN-ellipsoidiset korkeudet, N2000-korkeuuksiksi. [5.]

## 2.4 Maannousu

Fennoskandian (Ruotsi, Norja, Suomi, Karjala ja Kuolan niemimaa) maannousu on tunnettu jo vuosisatojen ajan. Yli 500 vuotta sitten, vuonna 1491 ruotsalaisen Östhammarin kaupungin asukkaat valitsivat rantaviivan etääntyneen niin kauas kaupungista, että vanhaan satamapaikkaan ei enää pääsyt meritse. Ilmiö tunnettiin kaikkialla Pohjanlahden rannikolla, jossa uutta maata nousi jatkuvasti merestä mataloittaen vanhat satamat käyttökelvottomiksi. Varhaisista maannousun tutkijoista tunnetuin oli ruotsalainen tähtitieteilijä Anders Celsius. 1740-luvun alussa hän määrittäi ruotsalaisen kaupungin Gävlen edustalla muutoksen suuruudeksi kolmetoista millimetriä vuodessa. Celsiusin saama arvo oli varsin lähellä nykyisin tiedettyä, vaikkei hänellä ollut käsitystä maannousun syystä. Ilmiön ajateltiin tuolloin johtuvan pikemminkin merenpinnan laskusta kuin maan noususta. [7.]

Viimeisin jääkausi oli voimakkaimmillaan pohjoisen pallonpuoliskon alueella, Fennoskandiassa, Luoteis-Venäjällä ja Pohjois-Amerikassa. Näillä alueilla maannousu kertoo jäätiköitymisen historiasta. Grönlannissa ja Etelämantereella jääkausi jatkuu. [7.]

Noin kaksi kilometriä paksujen jäiden vetäytyessä Fennoskandian päältä runsaat 10 000 vuotta sitten, maankuori oli painunut jäämassan painosta puoli kilometriä syvälle kuopalle. Painon hellitettyä maankuori alkoi kohota alkuperäisiin uomiinsa ja palautuminen jatkuu edelleen. Pohjanlahden rannikolla maa voi nousta vielä sata metriä, sillä siellä jäät olivat paksuimmillaan ja siten painauma syvimmillään. [7.]

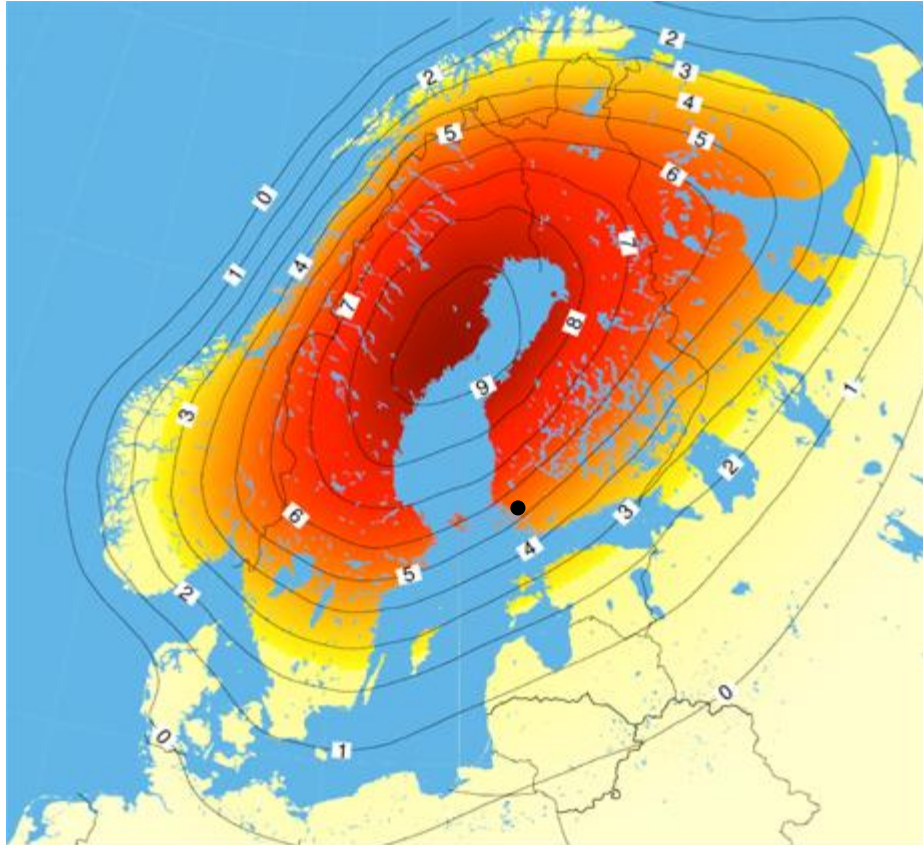
Maannousu on vain yksi seuraus globaalista jäätiköitymisten aiheuttamasta muodonpalautumisilmiöstä (GIA), sillä se vaikuttaa niin Maan kuoreen kuin vaipan yläosiin, mutta myös merenpinnan korkeusmuutoksiin, jäätiköitymisiin ja painovoimamuutoksiin. Maan

muoto ja massajakautuma muuttuu, ja samalla myös Maan vaipassa tapahtuu massa-virtauksia, jotka ovat valtavia jopa koko Maan mittakaavassa. Merenpinta nousee ja laskee toista sataa metriä toistuvien jäätiköitymisten synnyttämässä noin 100 000 vuoden jaksoissa. Maan massoja siirtyy 50 triljoonan kilogramman ( $5 \cdot 10^{19}$  kg, lähes 1/10 000 koko maapallon massasta) verran paikasta toiseen. Valtavat jäätiköt kasvavat painaen maankuorta lommolle ja sulavat päästäen sen taas vapautumaan. Tätä sykliä on jatkunut säännöllisesti ainakin viimeiset kaksi miljoonaa vuotta. [7.]

Vedenkorkeuden muutosta rantaviivaan nähden voidaan seurata merenkorkeusmittareiden eli mareografien ja yksinkertaisempien vesiasteikkojen avulla. Tukholman merenkorkeushavainnot ulottuvat aina 1770-luvulle saakka. Havainnot tehtiin aluksi vesiasteikolta, kun taas jatkuvasti rekisteröivä mareografi aloitti toimintansa Tukholmassa vuonna 1889 eli kaksi vuotta Suomen vanhimman mareografian, Hangon, jälkeen. 1800-luvun lopulla ruotsalainen geologi Gerard de Geer julkaisi Fennoskandian maannousukartan. Maannousun mekanismi ja vaikutukset alkoivat selvitä, kun alettiin ymmärtää jääkauden aiheuttamia ilmiöitä. [7.]

Sisämaassa taas korkeudenmuutoksia seurataan toistettujen tarkkavaaitusten avulla. Suomen ensimmäinen valtakunnallinen tarkkavaaitus tehtiin vuosina 1892–1910, toinen 1935–1975 ja kolmas 1978–2006. Suomen ja koko muun Fennoskandian alueen maannousu tunnetaan tarkasti Pohjoismaissa tehtyjen tarkkavaaitusten perusteella. Nykyisin maankuoren liikkeitä seurataan jatkuvasti havaitsevien GPS-asemien avulla, joilla havaitaan myös maannousun aiheuttama pieni vaakaliike. [7.]

Maa kohoaa Suomessa nopeimmin Merenkurkun lähistöllä – lähes senttimetrin vuodessa. Kun taas pienintä maannousu on Kaakkois-Suomessa, jossa se on alle kolme millimetriä vuodessa. Maannousu ei ole havaittavissa enää Pietarissa. Paimiossa maannousu on Suomen keskiarvoluokkaa eli alle kuusi millimetriä (kuva 9, musta piste). [7.]



Kuva 9. Fennoskandian maannousu Maan keskipisteen suhteen (millimetriä vuodessa) [7].

Jäätiköiden sulaminen toisaalta taas nostaa merenpintaa, mikä pienentää rannikoilla havaittavaa maannousua. Nykyinen globaali merenpinnan nousu on runsaat 1,5 millimetriä vuodessa, mutta nousunopeus on likimain kaksinkertaistunut viime vuosina. Uutta maata tulee edelleenkin näkyviin merestä, sillä Suomen rannikolla merennousu on toistaiseksi pienempää kuin maannousu. [7.]

Vaikka maannousu tunnetaan meillä hyvin, on vielä tutkittavaa maannousun mekaniismissa, sen aiheuttamassa painovoiman muutoksessa ja maannousun yksityiskohdissa. Maannousua ja merenpinnan muutosten vaikutusta tutkii rannikoillamme Geodeettinen laitos (GL). [7.]

Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmiä on ylläpidettävä tai uudistettava tietyin väliajoin, jotta ne saadaan pysymään sisäisesti tarkkoina ja ajantasaisina. Maapallon muutokset ja liikkeet on pystyttävä huomioimaan entistä tarkemmin globaalistumisen ja parantuneiden mittaustarkkuuksien myötä. Ilman jatkuvaa ylläpitoa satelliittimittauksin saavutettava tarkkuus heikkenee nopeasti suhteessa kiintopisteisiin, kun kiintopisteiden paik-

koja muuttavat muun muassa mannerlaattojen liikkeit. Pohjoismaissa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien tarkkuuteen vaikuttaa maannousu, joka muuttaa kiintopisteiden koordinaatteja ja pisteiden välisiä suhteita korkeus- ja vaakasuunnassa, mutta myös Euraasian mannerlaatan jäykkä liike. Olennainen osa GL:n geodesian ja geodynamiikan osaston töitä on näiden liikkeiden tutkiminen ja monitorointi. [8.]

## 2.5 Korkeusjärjestelmiä

Vuosina 1892–1910 tehtiin Tie- ja vesirakennuslaitoksen toimesta Suomen ensimmäinen tarkkavaaitus [9], jonka linjasto kattoi eteläisen osan maattamme Oulu–Kajaani-linjan tasalle [10]. Sen tuloksena määritettiin ensimmäinen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä **NN** eli normaalinolla. Helsingin Katajanokan laiturissa sijainneen vedenkorkeusasteikon nollakohta otettiin NN-järjestelmän nollakohdaksi. Se oli 30,465 metriä alempana kuin Suomen pääkiintopiste, joka sijaitsee Tähtitieteellisen observatorion pihalla Helsingissä. [9.]

Vuosina 1935–1975 tehtiin Suomen toinen tarkkavaaitus, jonka tuloksista vuosilta 1935–1955 [9] määriteltiin tilapäinen korkeusjärjestelmä **N43** maan etelä- ja keskiosiin [10]. Tämän korkeusjärjestelmän määrittelyssä ei käytetty koko vaaitusverkkoa eikä myöskään otettu huomioon maankohoamisen vaikutusta mittausajalta [9]. Toisen tarkkavaaituksen aikana luotiin myös Lapin alueen tilapäinen korkeusjärjestelmä **LN** [10].

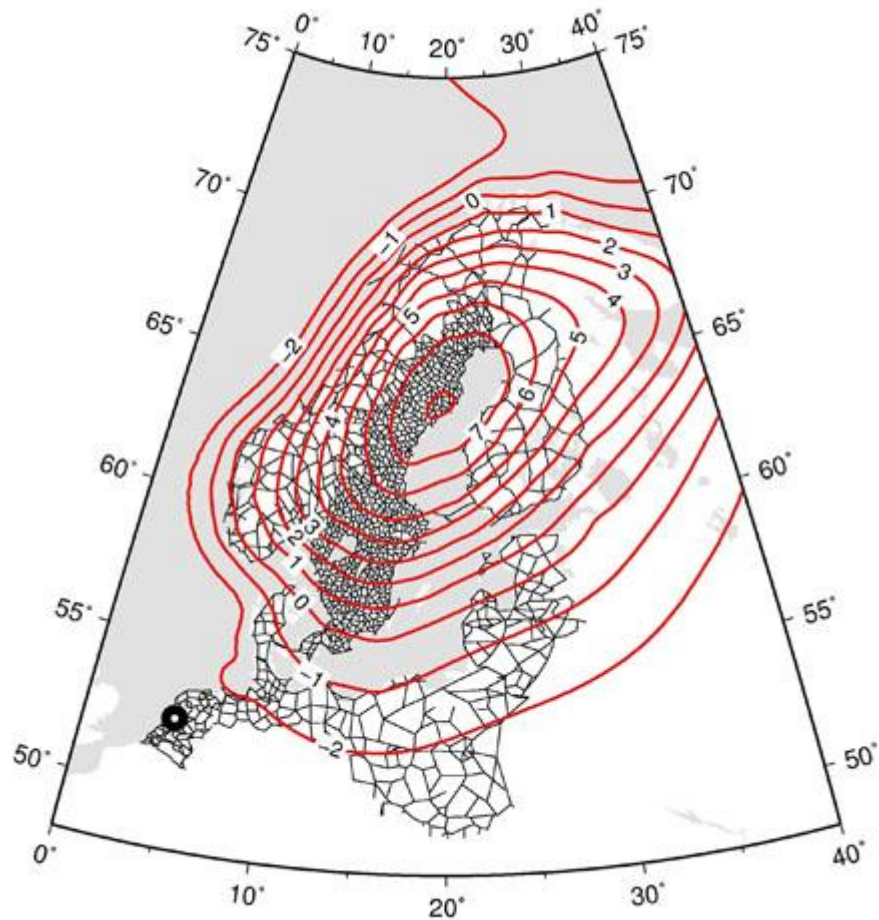
Kahden ensimmäisen tarkkavaaituksen perusteella, toisenkin viimein valmistuttua, ja ottaen huomioon maankohoaminen laskettiin ensimmäinen koko maan kattava korkeusjärjestelmä **N60**, jonka katsotaan noudattavan geoidia paremmin kuin aiemmat järjestelmät NN tai N43 [9; 2].

Suomessa vuosina 1978–2006 tehtyyn kolmanteen tarkkavaaitukseen perustuu uusiin korkeusjärjestelmä **N2000**, joka on yhteisen eurooppalaisen korkeusjärjestelmän suomalainen realisaatio [9]. N2000:n lähtötasona on länsieurooppalaisten korkeusjärjestelmien lähtötaso NAP, joka on Amsterdamissa vuonna 1684 vallinneen keskimääräisen tulvavuoksen huippu [10]. N2000-järjestelmän korkeudet poikkeavat aiemmasta korkeusjärjestelmästä N60 13–43 senttiä. Vaikka järjestelmien laskennassa on eroa, johtuu suurin osa erosta 40 vuoden aikana tapahtuneesta maannoususta – N2000-korkeudet on laskettu vuoden 2000 maannousun mukaisina ja N60-korkeudet vuoden 1960 mukaisina. [9.] Luvussa 2.5.1 on käsitelty syvemmin korkeusjärjestelmää N2000.

Meriveden keskimääräinen korkeus on laskenut näiden järjestelmien suhteen, minkä vuoksi on otettu käyttöön niin kutsuttu teoreettinen keskivesi (MW). Se on käytännön tarpeita varten tehty ennuste vedenkorkeuden pitkäaikaisesta keskiarvosta – täsmällisemmin odotusarvosta. Maan kohoaminen sekä vedenkorkeuden hidaskasvu on otettu teoreettisessa keskivedessä huomioon, minkä vuoksi keskivesi ei ole vakio. Ilmatieteen laitos vahvistaa vuosittain teoreettisen keskiveden korkeuden, viideksi vuodeksi eteenpäin. Kun yleisölle ilmoitetaan vedenkorkeustietoja (esimerkiksi Internetissä, radiossa ja sanomalehdissä), käytetään teoreettista keskivettä. [9.]

Aiemmin koordinaatti- ja korkeusjärjestelmien käyttö oli usein paikallista. Nykyisin muun muassa satelliittipaikannuksen kehittymisen ja kansainvälisten yhteyksien lisääntymisen myötä myös kansalliset koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät on sidottava globaaleihin järjestelmiin. Esimerkiksi euroopanlaajuisen ETRS89-järjestelmän suomalainen realisaatio EUREF-FIN luotiin satelliittihavaintojen avulla ja on niiden kautta sidottu globaaleihin järjestelmiin. Vastaavasti Suomen uusi N2000-korkeusjärjestelmä on sidottu eurooppalaisen EVRS-korkeusjärjestelmän lähtöpisteeseen. [8.]

GL:n Korkeusjärjestelmät-projektin, jonka tehtävänä on kansallisen korkeusjärjestelmän ylläpito, merkittävin tulos on modernit eurooppalaiset vaatimukset täyttävä korkeusjärjestelmä N2000. Sen laskennassa on Suomen kolmannen tarkkavaaituksen havaintojen lisäksi käytetty Pohjoismaiden ja Itämeren ympäristön vaaitushavaintoja (kuva 10). N2000-järjestelmän korkeudet ovat normaalikorkeuksia, ja maankuoren pysyvän vuoksen (vuoroveden korkein vaihe) suhteen on käytetty nollavuoksikorjausta. [9.]



Kuva 10. Itämeren ympäri tasoitettu vaaitusverkko vaaituslinjasto ja sen kiinteä piste NAP. Punainen käyrästä on maannousumalli. [8; 10.]

Kansainvälisen geodeettisen assosiaation (IAG) suosituksen mukaisessa **nollavuok-sikorjauksessa** kuun ja auringon koko vetovoimavaikutus on poistettu, mutta sen aiheuttama maan muodonmuutos säilytetty. Myös painovoimahavainnot suositetaan redusoitaviksi samalla tavalla. Korkeusjärjestelmässä N60 vuoksikorjaukseen käytettiin keskimääräistä vuoksea, jossa kuun ja auringon vaikutuksen aikakeskiarvoa ei poisteta. Kaikkein suurin vaikutus järjestelmien välillä on maannousukorjauksella, sillä vuoksesta aiheutuvien, eri tavoin tehtävien korjausten väliset erot Suomen valtakunnan alueella etelästä pohjoiseen ovat 3 cm. [11.]

Eurooppalaisessa korkeusrealisaatiossa EVRF, ja siten myös N2000:ssa, käytetään niin sanottuja **normaalikorkeuksia**, mitä puoltaa niiden teoreettisesti tarkka laskeminen. Monissa Euroopan maissa käytössä oleva normaalikorkeus lasketaan jakamalla geopotentialiluku matemaattisesti määritetyllä normaalipainovoimalla, kun taas esi-

merkiksi N60:ssa käytetty ortometrinen korkeus (kuva 6, H) lasketaan käyttäen todellista painovoimaa. Normaalikorkeuden, joka ei tarkasti edusta korkeutta merenpinnasta, ero ortometrisestä korkeudesta ei ole Suomessa merkittävä – yleensä alle 2 cm ja suurimmillaan 8 cm Haltilla. [10.]

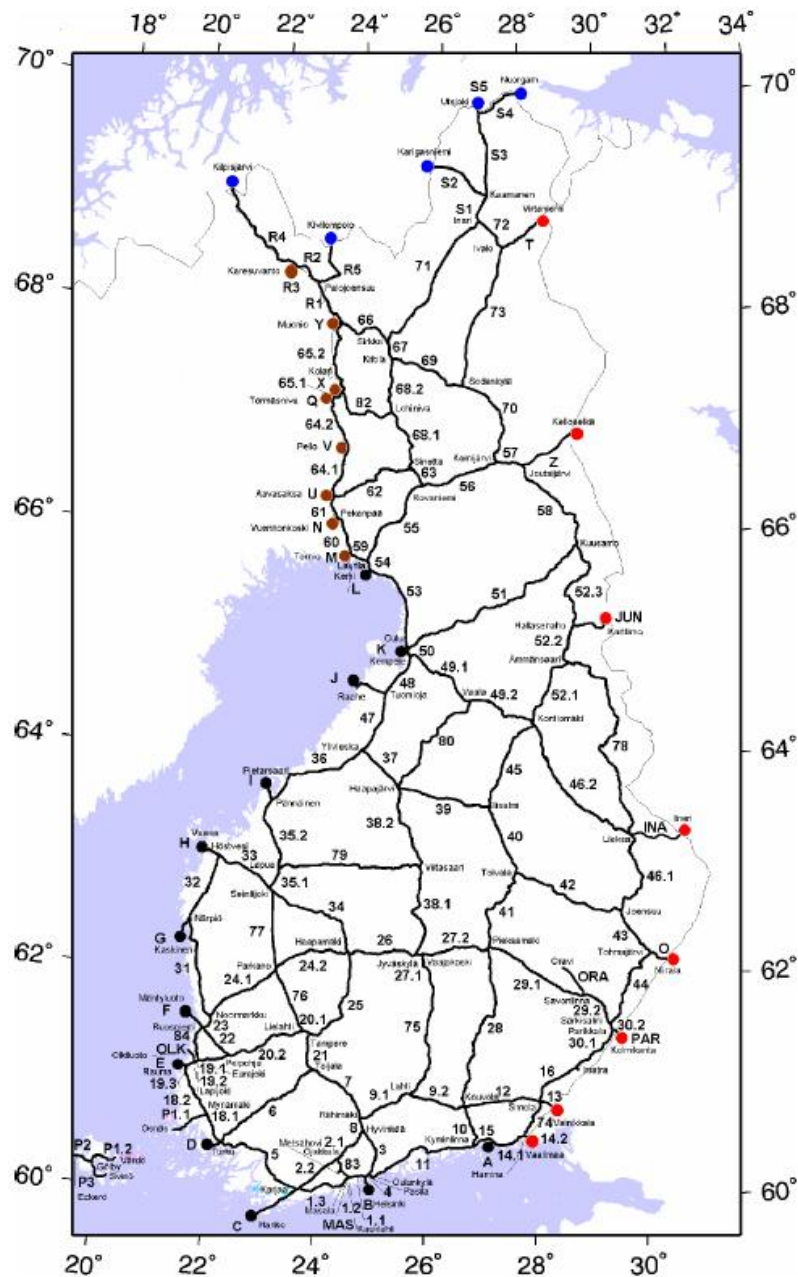
**Geopotentialiluku** on Maan painovoimakentän potentiaali jossakin pisteessä geoidin potentiaalin suhteen, ja se lasketaan positiivisena keskimerenpinnasta ylöspäin. Geopotentialilukujen kansainvälinen SI-mittayksikkö on  $\text{m}^2/\text{s}^2$ , tosin tavallisesti käytetään kuitenkin geopotentialiyksikköä (gpu), jossa  $1 \text{ gpu} = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2$  ja vastaa siten lähes metrin korkeuseroa, koska Maan painovoima on noin  $9,8 \text{ m/s}^2$ . N2000-järjestelmän määrittävän datumin arvot Kirkkonummella sijaitsevan Metsähovin observatorioalueen pääkiintopisteelle PP2000 ovat seuraavat: geopotentiali nollageoidin suhteen 53,439 gpu ja normaalikorkeus 54,423 m. [10.]

### 2.5.1 N2000-korkeusjärjestelmä

Uudella korkeusjärjestelmällä N2000 on seuraavia periaatteita:

- Korkeuksien lähtötaso on määritetty yhteispohjoismaisella tasoituksella BLR2000, joka on sidottu eurooppalaisen korkeusjärjestelmän lähtötasoon NAP ja koostui vaaitushavainnoista Pohjoismaiden lisäksi Baltian maista, Puolasta, Saksasta ja Hollannista (kuva 10).
- Suomen 3. tarkkavaaituksessa tehtiin liitokset Venäjän rajalle sekä vaaitussilmukoita Ruotsin ja Norjan puolelle (kuva 11), jolloin erot valtakunnan rajalla N2000:n ja BLR2000-tasoituksen välillä jäivät alle kahden millimetrin.
- Datumina toimii Metsähovin pääkiintopiste PP2000, jonka korkeus on sidottu NAP-lähtötasoon BLR2000-tasoituksen kautta.
- Järjestelmän korkeudet ovat normaalikorkeuksia, jotka on muutettu geopotentialiluvuista tasoituksen jälkeen.
- Käytettävä vuoksikorjaus on nollavuoksikorjaus.
- Maannoususta johtuvassa korjauksessa on käytetty pohjoismaisessa työryhmässä sovittua maannousumallia NKG2005LU, jolloin korkeuserohavainnot vastaavat tilannetta vuoden 2000 alussa. [10.]



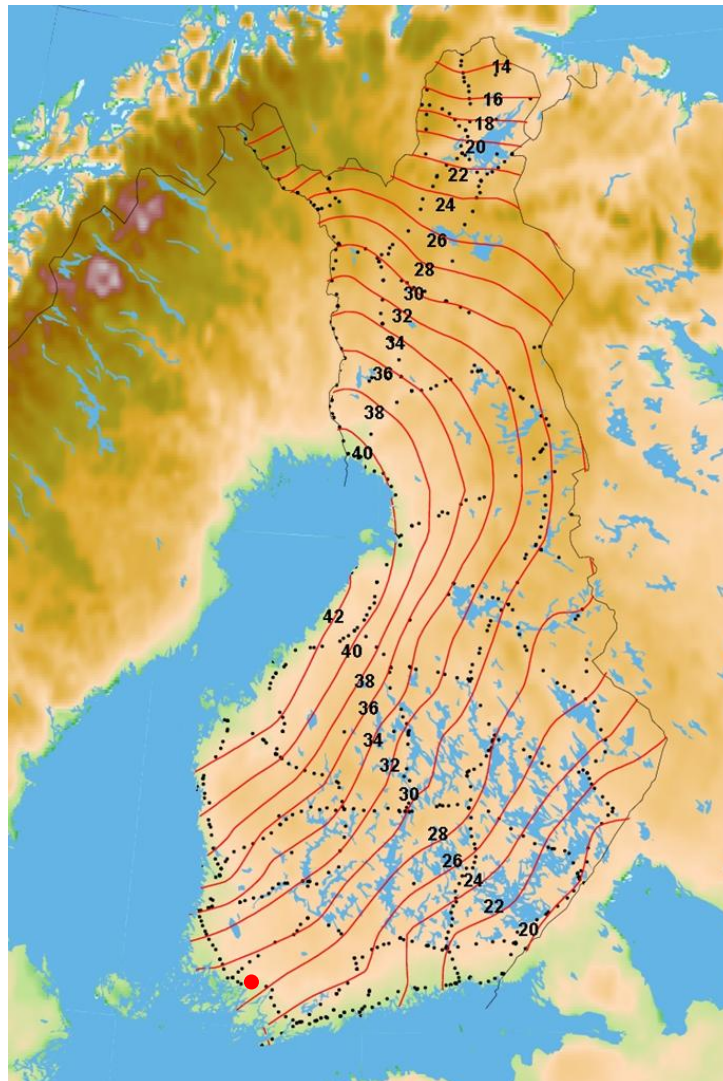


Kuva 11. Suomen kolmannen tarkkavaaituksen linjasto [10].

Järjestelmien perustamiseksi vaadittavat ylempään luokan valtakunnalliset mittaustyöt sekä havaintoverkkojen tasoituksen hoitaa GL, Maanmittauslaitos (MML) puolestaan hoitaa alemman luokan käyttöpisteistön (tehty käytännössä valtakunnallisten yleisten kartastotöiden tarvetta varten) mittaus- ja laskentatyöt. MML:n 1b- ja 2-luokan kiintopisteiden laskennasta syntyi uuden N2000-järjestelmän 2-luokka, jossa pisteitä yhteensä 12 700 kappaletta. Loput MML:n 28 000 3-luokan vaaituspistettä valtaosin muunnettiin. Ne laskettiin vanhoista havainnoista lähtien vain, jos lopputulos oli muuntamalla saatua selkeästi parempi. Kaikki pisteet vietiin kiintopisterekisteriin ja saatettiin tietopalvelun

piiriin. Muunnosta hyödynnetään kaikissa MML:n tietojärjestelmissä. Syntynyttä pisteistöä tarjotaan paikallisten mittausten lähtöpisteistöksi. [10.]

N2000-korkeusjärjestelmän yhteydessä suositellaan käytettäväksi suomalaista geoidimallia FIN2005, joka perustuu pohjoismaiseen geoidimalliin NKG2004, joka on sovitettu vaaituspisteiden kautta N2000-korkeusjärjestelmään. GNSS-mittauksin ei suoraan saada N2000-korkeuksia, mutta mitatut korkeudet (kuva 6, h) voidaan muuntaa FIN2005-geoidimallin avulla suoraan N2000-järjestelmän mukaisiksi korkeuksiksi (H), kun geoidinkorkeus (N) tunnetaan havaintopisteellä. Muunnos N2000-järjestelmään tapahtuu kaavalla  $H = h - N$ . FIN2005-geoidin korkeus (kuva 8) voidaan laskea numeerisesta geoidimallista, jonka tarkkuus on koko Suomen alueella parempi kuin 5 cm. [10.]



Kuva 12. N2000-korkeuksien ero N60-korkeuksiin (cm) [12].

Kuva 12, jossa Paimio sijaitsee punaisen pallukan kohdalla, esittää N60- ja N2000-järjestelmien eroa sentseissä. Vanhan ja uuden korkeusjärjestelmän ero siellä on noin 29 senttiä, josta osa johtuu eri tavoin tehdystä vuoksikorjauksesta, mutta suurin osa siis johtuu maannoususta. Tämän vuoksi erojen grafiikka imitoi maannousumallia (vrt. kuvaan 9 tai kuvaan 10). Sekaannusten vaara on suuri, kun hyvin monella eri taholla käsitellään korkeustietoja, eikä niihin ole totuttu liittämään merkintää korkeusdatumista [10].

Paikkatietomarkkinoilla 25.9.2007 järjestettiin N2000-järjestelmän julkistustilaisuus ja seminaari. Vuonna 2007 valmistui myös Julkisen hallinnon suositus 163 (JHS 163), jossa N2000-korkeusjärjestelmää suositellaan käytettäväksi niin valtakunnallisissa kuin alueellisissa ja paikallisissakin kartastotöissä ja paikkatietopalveluissa. MML tukee kuntien ynnä muiden korkeustietoa käyttävien organisaatioiden siirtymistä N2000-järjestelmään huolehtimalla, että käytävissä on riittävästi valtakunnallisia korkeuskiintopisteitä, joita voidaan käyttää lähtöpisteinä paikallisten korkeusrunkoverkkojen laskennassa. MML tarjoaa myös liitosmittauksiin ja laskentaan liittyvää neuvontaa, sillä korkeusjärjestelmän vaihtaminen on jopa tasokoordinaatistoakin haasteellisempaa. [10.]

### 2.5.2 Julkisen hallinnon suositus 163

Yhteisen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmän käyttöönotto on yksi Eurooppalaisen paikkatietodirektiivin (INSPIRE) tavoitteista. IAG:n alakomission Tromssan kokouksen päätöslauselma vuodelta 2000 määritteli korkeusjärjestelmän EVRS ja sen ensimmäisen realisaation EVRF2000. Näiden määrittelyjen kanssa yhdenmukaisesti on realisoitu korkeusjärjestelmä N2000, jonka perusteet laajapohjainen työryhmä on valmistellut. Julkisen hallinnon suosituksella 163 se määritellään Suomen korkeusjärjestelmäksi. [10.]

JHS 163 on tarkoitettu paikkatietoaineistojen ja järjestelmien tuottajille ja käyttäjille, ja se on luonteeltaan tekninen. Suosituksessa määritellään Suomen valtakunnallinen korkeusjärjestelmä N2000, jota näin ollen suositellaan yhtenäisyyden vuoksi käytettäväksi niin valtakunnallisissa kuin alueellisissa ja paikallisissa kartastotöissä, paikkatietopalveluissa sekä hankkeissa, joissa käsitellään korkeustietoja tai laaditaan korkeusasemaan sidottuja suunnitelmia tai päätöksiä. Satelliittipaikannuksella havaittuja korkeuksia

muunnettaessa N2000-korkeusjärjestelmään suositellaan GNSS-havaintojen yhteydessä käytettäväksi korkeusjärjestelmään liittyvää geoidimallia FIN2005. [12.]

N2000-järjestelmän käyttöönottoon syynä on ensisijaisesti Suomessa tapahtuva maannousu, mutta toisaalta myös Euroopan yhteisön tavoite yhtenäisestä korkeusjärjestelmästä. JHS 163:n tarkoituksena on yhtenäistää ja nopeuttaa uuden järjestelmän käyttöönottoa. Suosituksen avulla toimijat tulevat tietoisiksi järjestelmän perusteista, ja näin heidät saadaan mukaan muutokseen. Ajan myötä useimpien korkeustiedon käyttäjien on siirryttävä N2000-käyttäjiksi – siirtymisaikataulu vaihtelee tilanteen ja toimialan mukaan. Jo varhaisessa vaiheessa Merenkulkulaitos ja Merentutkimuslaitos sekä useat paikalliset toimijat sitoutuivat Geodeettisen laitoksen ja Maanmittauslaitoksen ohella uuden järjestelmän käyttöönottoon. [10.]

Suomen koordinaattijärjestelmiä ja niiden maastoon mitattujen kiintopisteiden avulla luotuja realisaatiota ylläpitää Geodeettinen laitos. Jotta pisteitä on riittävästi käytännön mittausten pohjaksi, on Maanmittauslaitoksen tehtävänä tihentää näitä perusverkkoja käyttöpisteillä. Suomen korkeusjärjestelmää koskevan suosituksen ylläpito kuuluu näille laitoksille osana järjestelmien ylläpitoa. [10.]

Uuden EUREF-FIN-tasokoordinaatiston käyttöönotto toteutettiin myös GL:n ja MML:n yhteistyönä laatimalla Julkisen hallinnon suositukset 153 ja 154. Kyseiset laitokset oli Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) tulosohjauksella velvoitettu siirtymään uuden koordinaattijärjestelmän käyttöön. [10.]

## 2.6 Korkeuskäyristä

Samanarvonkäyriä [13], jotka kuvaavat maaston korkeussuhteita ja muotoja valitseamalla kuvaavin käyrien korkeustaso sekä yleistämällä tarpeettomia ja korostamalla oleellisia muotoja, kutsutaan korkeuskäyriksi. Käyrävälän valinta riippuu maaston suhteellisista korkeuseroista, jyrkkyydestä ja pienimuotoisuudesta. Jouduttaessa käyttämään apukäyriä tietyn maaston kuvaamiseen lähes kauttaaltaan on parempi valita pienempi käyräväli. [14.]

Korkeuskäyrä on kartalla oleva yhtenäinen viiva, joka yhdistää samalla korkeudella (merenpinnasta) olevat pisteet. Peruskartassa korkeuskäyrien (välikäyrien) väli on viisi metriä. Korkeuserojen nopeaa arviointia helpottamaan joka viides käyrä kuvataan pak-

sumpana johtokäyränä – peruskartalla parilliset kymmenet. Johtokäyriin merkitään käyrän korkeusluku niin, etteivät ne häiritse muuta karttakuvausta. Maanpinnan muotojen kuvausta täydentämään käytetään puolta käyräväliä vastaavia katkoviivoitettuja apukäyriä – peruskartalla 2,5 metriä lähimmästä korkeuskäyrästä. Kun muotoja ei saada kuvatuiksi käyräväliä vastaavin korkeuskäyrin, voidaan apukäyrien avulla antaa lisätietoa maanpinnan muodosta. Vesialueilla käytetään vastaavasti syvyyskäyriä kuvaamaan pohjan muotoa. [14; 15.]

Valtakunnallinen erittäin tarkka korkeusmalli on tekeillä Maanmittauslaitoksessa. Tämä uusi korkeusmallituotanto perustuu laserkeilaukseen ja toteutetaan N2000-järjestelmässä. Korkeustiedon osalta N2000-korkeusmalli tulee toimimaan maastotietokannan primääriaineistona. Maastotietokannan uudelle karttatasolle tullaan tallentamaan korkeusmallista johdetut laskennalliset N2000-korkeuskäyrät. Tietotuotteissa uudet korkeuskäyrät otetaan käyttöön, kun on saavutettu riittävä alueellinen kattavuus. [10.]

## 2.7 Kaavan pohjakartta

Vuoden 2013 huhtikuussa on valmistunut Julkisen hallinnon suositus 185 (JHS 185) asemakaavan pohjakartan laatimisesta, mutta se julkaistaan kaavoitusmittauksia sääntelevän lainsäädännön muutosten voimaantulon kanssa vuoden 2014 alkupuolella [16]. Suositus ohjeistaa asemakaavan pohjakartan laatimista, määrittelee kartalle laatu- ja tarkkuusvaatimukset sekä antaa ohjeet pohjakartan tarkastamiseen. [13.]

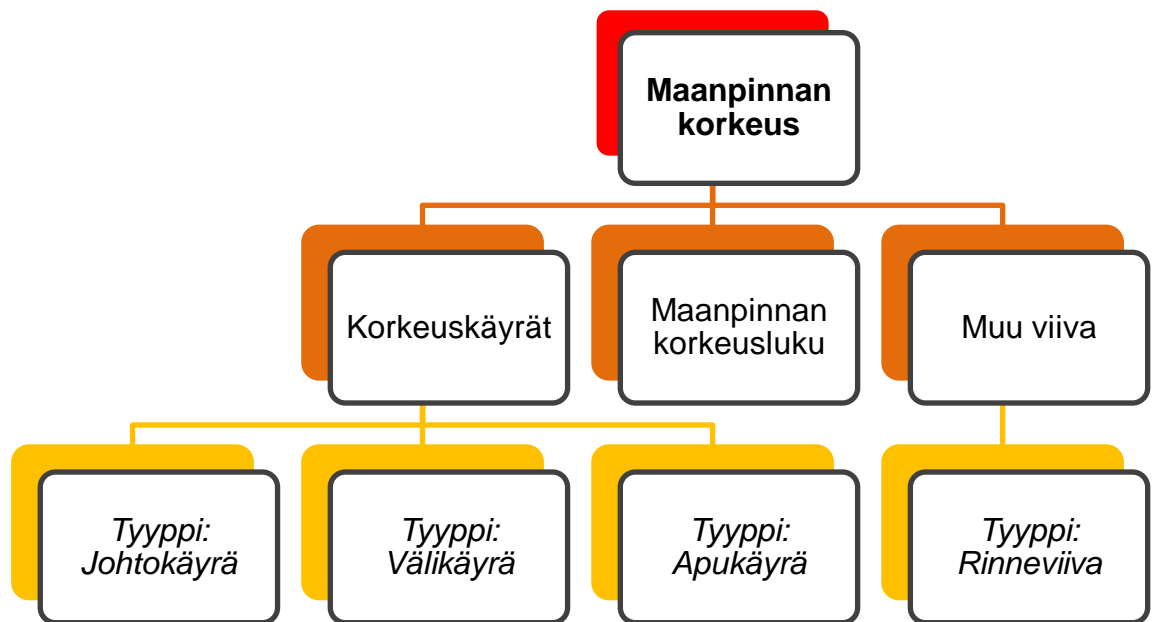
Kohteiden kuvaustekniikka on uudessa suosituksessa pääosin aiemman Kaavan pohjakartta 1997 -julkaisun mukainen. Kuvaustekniikat on toteutettu käyttäen karttatasojen esitystyylin SLD-määrittelyjä sekä kaksikulotteisia SVG-vektorikuvia. Nämä mahdollistavat kuvaustekniikkakirjaston, josta kohteiden kuvaustekniikka ja visualisointi saadaan suoraan piirtämisvaiheessa joko omalta tai verkossa olevalta palvelimelta ZIP-pakatusta tiedostosta, johon SLD-määrittelyt ja SVG-kuvat on koottu. [13.]

Maanmittauslaitoksella (MML) on ollut keskeinen rooli kaavoitusmittausohjeiden laatijana sekä asemakaavojen pohjakarttojen valvojana. Parhailaan ympäristöministeriössä valmistellaan lakimuutoksia, joiden seurauksena MML ei jatkossa ohjeista kaavoitusmittauksien tekoa vaan ohjeet julkaistaan JHS-suosituksina ja niitä ylläpidetään JHS-järjestelmässä. [13.]

Lainsäädännön muututtua kunnat vastaavat kokonaan kaavoitusmittausten valvonnasta ja hyväksynnästä. Kaavoitusmittauksensa tällä hetkellä Maanmittauslaitoksessa tarkastuttavat kunnat hakevat jatkossa yhteistyökumppanin lähikunnista. Tarkastusoikeuden saavat myös kelpoisuusehdot täyttävät oman kunnan viranhaltijat. [13.]

JHS 185 sisältää nykyisistä Kaavoitusmittausohjeista sen osan, joka käsittelee pohjakartan laatimista ja kaavoitusmittauksen tarkastamista. Asemakaavan pohjakartan kohdemalli ja kartalla esitettävät kohteet laatu- ja tarkkuusvaatimukseen esitellään uudessa suosituksessa, johon on kirjattu yleiset vaatimukset ja kokonaiskuva asemakaavan pohjakartan laatimisesta. [13.]

JHS 185:n liitteessä 3 Asemakaavan pohjakartan kohteet suositellaan, että maanpinnan korkeus -teema sisältää maanpinnan muotojen kuvauksen korkeuskäyräesityksenä ja sitä täydennetään rinneviivoilla sekä maanpinnan korkeusluvuilla. Maanpinnan korkeus -teeman kohdeluokkia ja tyypejä on havainnollistettu kuvassa 13. [13.]



Kuva 13. Maanpinnan korkeus-teeman kohdeluokat [sisältö: 13].

Korkeuskäyrän määritelmä JHS 185:ssä on maanpinnan korkeuden samanarvonkäyrä. Esitettävät samanarvonkäyrät valitaan mittausluokan mukaan niin, että Mittausluokkiin 1 ja 2 (taajama-alueet) valitaan yhden metrin käyräväli ja Mittausluokkaan 3 (haja-asutusalueet) kahden metrin käyräväli. [13.] Käyrien tyypit määräytyvät mittausluokittain kuvan 14 mukaisesti.

Tyyppi	Mittausluokat 1 ja 2	Mittausluokka 3
Johtokäyrä	5, 10, 15... metrin käyrät	10, 20, 30... metrin käyrät
Välikäyrä	1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9...	2, 4, 6, 8, 12, 14, 16, 18...
Apukäyrä	tarvittaessa välikäyrien väliin (0,5 m)	tarvittaessa välikäyrien väliin (1 m)

Kuva 14. korkeuskäyrätyypit mittaluokittain [13].

Korkeuskäyriä ei esitetä muun muassa seuraavien kohdeluokkien alla: rakennus, jyrkänne, oja tai puro, luiska, tie ja täytemaa. Korkeusarvolukuja sijoitetaan käyrälle rinteeseen noususuuntaan nähden oikein päin ja niin tiheästi, että kyseisen käyrän korkeusarvo voidaan helposti todeta. Lähinnä tasaisilla alueilla maanpinnan korkeussuhteiden esitystä täydennetään apukäyrillä. Korkeuskäyrien visualisoinnissa värisuositus on ruskea ja viivojen tyylit seuraavat: johtokäyrä esitetään leveällä 0,4 mm:n viivalla, välikäyrä kapealla 0,2 mm:n viivalla ja apukäyrä kapealla 0,2 mm:n katkoviivalla (2 + 2 mm). [13.]

Suosituksen liitteessä 5 Kaavoitusmittauksen ja pohjakartan laadunvalvonta ohjeistetaan asemakaavan pohjakartan korkeuksien tarkastamisesta näin:

Korkeusjärjestelmään sidotulla, riittävän tarkalla kolmiulotteisella kartoitusmittauksella saatujen tarkistuspisteiden korkeuksia verrataan korkeusmallista tai graafisesta kartasta saatuihin korkeusarvoihin. Mittauskohteiksi valitaan paitsi satunnaisia maanpinnan pisteitä, kartassa esitettyjä rakennettujen pintojen kuten siltojen ja teiden korkeuslukuja. Korkeuksien tarkkuusvaatimukset on esitetty liitteessä 4 kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset. Yli 2,5-kertaa pistekeskivirheen ylittäviä virheitä saa satunnaisotoksessa esiintyä korkeintaan 5 %. [13.]

Lainauksessa mainitussa JHS 185:n liitteessä 4 asetetaan korkeuskäyrällä olevan pisteen tai numeerisesta korkeusmallista interpoloidun pisteen korkeustarkkuusvaatimukseksi: mittausluokassa 1 pienemmäksi tai yhtä suureksi kuin 0,12 m, mittausluokassa 2  $\leq 0,20$  m ja mittausluokassa 3  $\leq 0,40$  m sekä kolmiulotteisessa kartoituksessa eli mittausluokassa 1e  $\leq 0,08$  m. Kaksinkertainen epätarkkuus sallitaan kuitenkin rikkonaisessa maastossa. [13.]

Suosituksessa on myös taulukko, jossa laatuvaatimus Maanpinnan korkeus-kohderyhmälle on esitetty hyväksyttävän laatutason AQL-lukuina, jotka kuvaavat sallittujen virheiden määrän sataa yksikköä kohden. Laatutaso on jaettu täydellisyyteen ja temaattiseen tarkkuuteen, jotka on kuvattu AQL-lukuna. Täydellisyydellä tarkoitetaan pohjakartan kohteiden tai niiden ominaisuuksien puuttumista tai virheellisesti merkittyjä

olemattomia kohteita. Temaattisella tarkkuudella kuvataan pohjakartan kohteiden luokittelun oikeellisuutta verrattuna todellisuuteen maastossa. Korkeuskäyrien täydellisyyden AQL-luku kuten myös eri käyrätyyppien temaattisen tarkkuuden AQL-luku on kaikissa mittausluokissa 2, kun taas maanpinnan korkeuslukujen täydellisyyden AQL-luku on kaikissa mittausluokissa 5. [13.]



### 3 Selvitystyö Juurta Jaksain

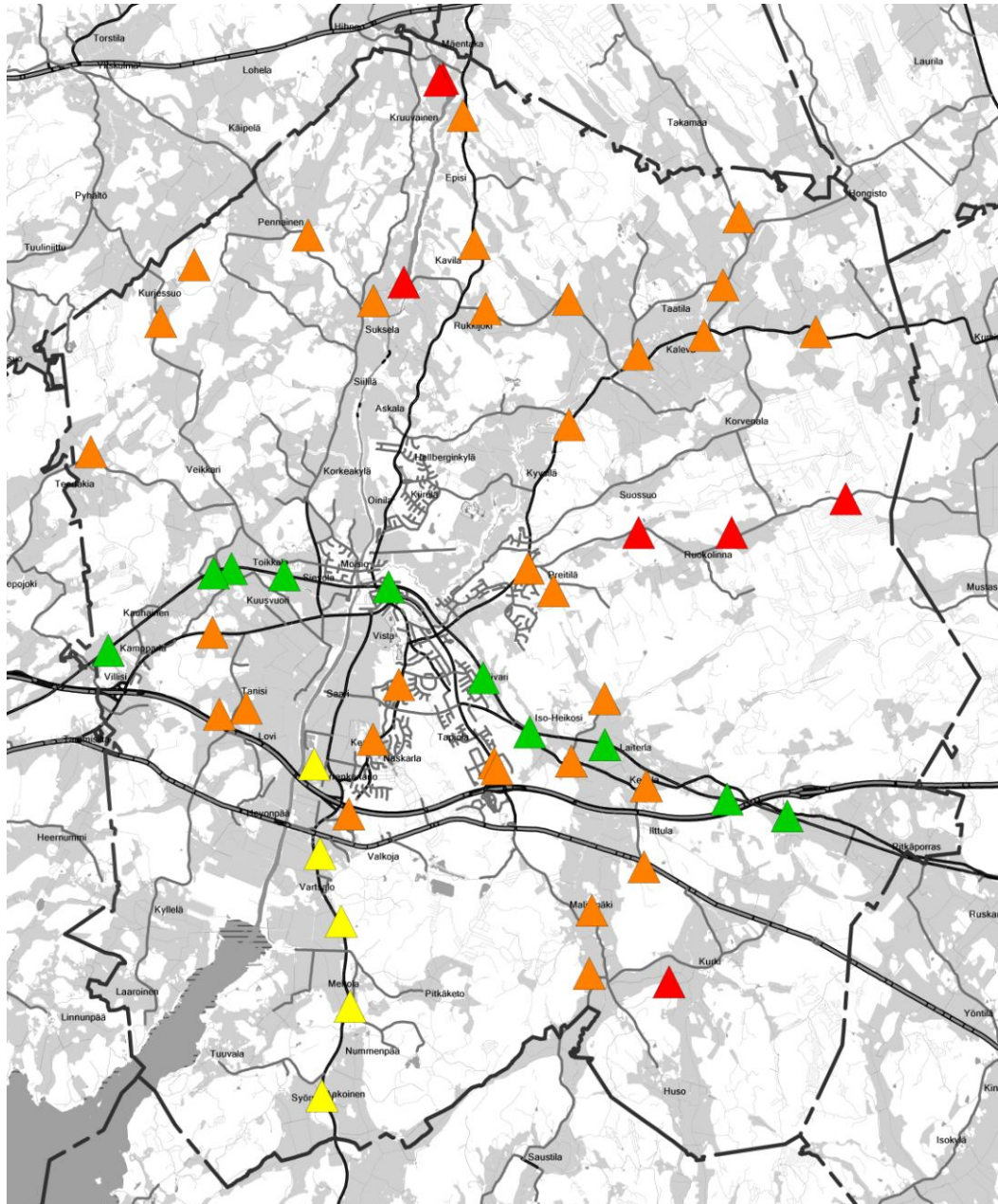
#### 3.1 Tilanne Paimiossa

Paimion kaupungin maankäyttö- ja rakennuslautakunta päätti 2010 siirtyä uuteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään (liite 1). Ennen maankäyttö- ja rakennuslautakunnan päätöstä Paimion kaupungilla on ollut käytössä koordinaattijärjestelmä KKJ ja korkeusjärjestelmä N60. Päätöksessä siirryttiin käyttämään koordinaattijärjestelmää EUREF-FIN(ETRS-GK23) ja korkeusjärjestelmää N2000. Päätöksen jälkeen Paimiossa aloitettiin työ koordinaattijärjestelmän muuttamiseksi, mutta korkeusjärjestelmä on edelleen ennallaan N60-järjestelmässä [17].

Paimion kaupungin kokonaispinta-ala on noin 242,3 km<sup>2</sup>, josta asemakaavoitettu ala on 11,1 km<sup>2</sup> eli noin 4,6 %. Korkeuskäyrät halutaan ainakin asemakaavoitetulle alueelle ja sen läheisyyteen, mutta jos kustannuksissa ei ole suurta eroa, tilataan käyrät koko kunnan alueelle. Paimion N60-korkeuskäyrät on tehty samaan aikaan kaavan pohjakartan kanssa vuonna 1989, jolloin Erikoiskartta Oy tuotti käyrästön stereokartoituksena. Vanha käyrästö on pinta-alaltaan noin 34,0 km<sup>2</sup>, josta kaksi uutta kaava-alueetta (yhteensä noin 0,7 km<sup>2</sup> eli noin 2,1 %) on jo konsultin (Maanmittauspalvelu Pelto-Timperi Oy) tekemissä N2000-käyrissä. [Osin: 17.]

Geodeettisen laitoksen 1. luokan korkeuskiintopisteitä on Paimion kaupungin alueella 10 kappaletta, sekä Maanmittauslaitoksen 2. luokan pisteitä on 5 kappaletta, 3. luokan pisteitä 31 ja muunnettuja pisteitä on 7. Vain 1. luokan kaikki korkeusvälit on vaaittu. Alempien luokkien linjastot on pääosin laskettu vanhoista havainnoista, vaikka tarpeelliseksi katsottuja uusinta- ja liitosvaaituksia on tehty. 2. ja 3. luokan pisteet on siis laskettu N2000-järjestelmään vanhoista havainnoista. Muunnettuihin taas on vain käytetty muunnosparametrejä. [18.]

Ensimmäisen luokan vaaitusjono (kuva 15, vihreät kolmiot) sijaitsee Paimion kaupungin itä-länsisuunnassa läpi kulkevalla rautatiealueella. Toisen luokan vaaitusjono (keltaiset kolmiot) sijaitsee kaupungin eteläosassa Sauvontien varrella. Kolmannen luokan (oranssit kolmiot) ja muunnetut (punaiset kolmiot) korkeuskiintopisteet täydentävät kattavuuden koko kunnan alueelle sijaiten pääosin väyliä seuraten.



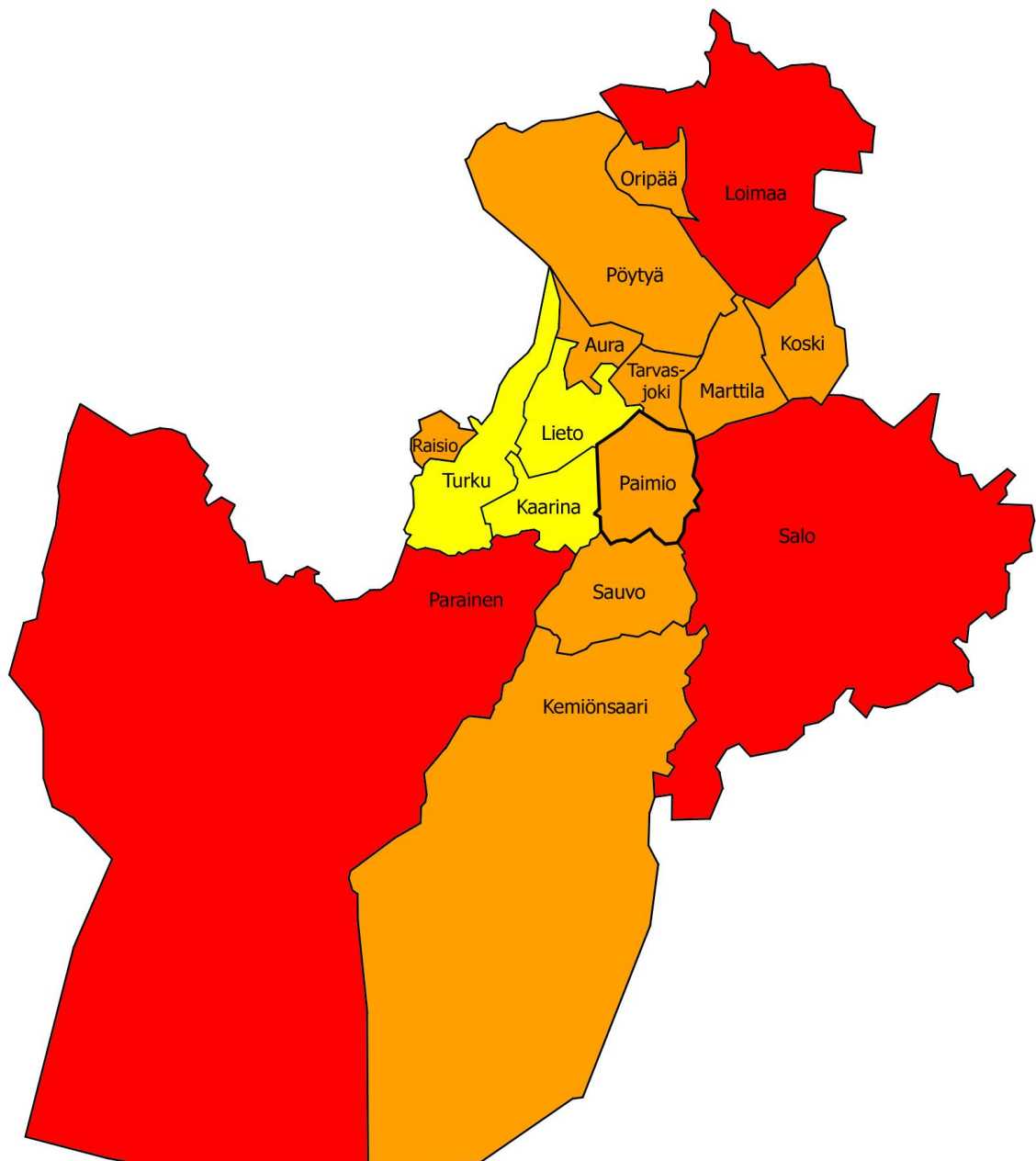
Kuva 15. Korkeuskiintopisteet Paimion kaupungin alueella [pisteaineisto: 18; teemakartta: 17].

### 3.2 Kysely lähikunnille

Tiedossa oli jo etukäteen, että korkeusjärjestelmän muutoksia on tehty joissain kunnissa, mutta suurimmassa osassa ei. Halusin kartoittaa tilannetta Paimion lähikunnissa, myös mahdollisten yhteistyökumppaneiden kartoittamiseksi. Valmistin kyselylomakkeen (liite 2), jossa pääkysymyksenä oli, onko N2000-järjestelmään siirrytty. Vastaus pääkysymykseen antoi lisäkysymyksiä. Lähetin kyselyn sähköpostitse maanantaina 12.8.2013 seuraaville neljälletoista kunnalle: Aura, Kaarina, Kemiönsaari, Koski, Lieto,

Loimaa, Marttila, Parainen, Pöytyä, Raisio, Salo, Sauvo, Tarvasjoki ja Turku. Myöhemmin mukaan kyselyyn sain vielä Oripäänkin.

Näistä kunnista kolme on jo siirtynyt kokonaan käyttämään korkeusjärjestelmää N2000 (kuva 16, keltaiset kunnat). Paimion lisäksi yhdeksällä kunnalla on käytössään N60-järjestelmä (oranssi), muuta uudet kaavat tehdään jo N2000-järjestelmään. Kolmella punaisella kunnalla on muuten samanlainen tilanne kuin oransseilla, mutta käytössään heillä N60-järjestelmän lisäksi myös oma paikallinen korkeusjärjestelmä.



Kuva 16. Lähikuntien N2000-kyselyn tulokset.

N2000-järjestelmään siirtyneistä kunnista Turku ja Kaarina tekivät yhteistyötä niin toisensa kuin MML:nkin kanssa niin, että laitos laserkeilasi alueen tiheämmin kuin normaalisti. Kunnat hoitivat korkeuskäyrät keilausaineistosta omin konsultein, Turussa työn teki Blom Kartta Oy ja Kaarinassa Destia Oy. Molemmat kunnat olivat pääosin tyytyväisiä tuloksiin, tarkkuuden olisi kuitenkin sopinut olla täsmällisempikin. Lieto taas teki siirtymisen omana työnään suorittamalla omia tarkistusvaaituksia ja tukeutumalla GL:n mittauksiin. Projektiin oltiin hyvin tyytyväisiä.

Raisiokin on jo tuottanut käyräaineiston MML:n keilausaineistosta, mutta lopullista korkeusjärjestelmän vaihtoa ei vielä ole tehty, mutta siihen ollaan valmiita. Paimion N60-järjestelmää käyttävistä naapurikunnista muutama oli kiinnostunut yhteistyöstä, hinnasta riippuen. Suurimmalle osalle muutos ei kuitenkaan ollut vielä ajankohtainen, esimerkiksi taloudellisen tilanteen vuoksi.

### 3.3 Aiempia insinööritöitä aiheesta

Käsittämäni insinööritöitä järjestin alalukuihin pääasiassa kaupunkeihin niin, että Paimiota lähin kaupunki on ensin.

#### 3.3.1 Rauma

Ari-Pekka Asikainen teki insinööritönsä Rauman kaupungin siirtymisestä EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin (2012). Rauman tapauksessa N2000-järjestelmään siirtymiseksi oli paikkatietoaineistoille mahdollista käyttää korkeuden vakiokorjausta koko kunnan alueella. Vakiokorjaus on nimensä mukaisesti koko kunnan tai sen osa-alueella keskimääräisen maannousun vakio, esimerkiksi +0,339 m, jonka avulla voidaan N60-korkeuksista siirtyä N2000-korkeuksiin. Verrattuna moniin erilaisiin korkeuskorjauksiin kunnan sisällä vakiokorjauksen etuja ovat muun muassa selkeys ja yksinkertaisuus. [19.]

Raumalla korjaus pyrittiin määrittämään käyttäen painopisteenä kaupungin keskustaa, joka on korkeustarkkuuden suhteen kunnan kriittisin ja arvokkain alue. Menetelmä koskee vain paikkatietoaineistojen korkeustietoa, sillä vakiokorjauksella ei tulisi ilman tarkistusvaaituksia muuttaa vaaittujen kiintopisteiden korkeuksia, jolloin mahdolliset run-

koverkon vääristymät ja yksittäiset huonot pisteet jäävät ilman kontrollia. Laadunvalvonnan ja luotettavuuden kannalta riittävät lisävaatukset ovat välttämättömiä. [19.]

GL:n 1. luokan N2000-vaaitusjono kulkee Rauman läpi valtatie 8:n varrella kunnan eteläräjältä keskustaan ja edelleen satamasta junarataa pitkin kohti Kokemäkeä. Kaiken kaikkiaan Raumalla oli N2000-pisteitä MML:n Ammattilaisen karttapaikan perusteella 44 kpl. Nämä muodostivat vakiokorjauksen pohjaksi käyttökelpoisen rungon kunnan keskustaan, jossa tarkkuusvaatimuksetkin ovat suurempia. [19.]

Rauman kaupungin korkeusrunkoverkon vaaitusjonot on sidottu valtakunnallisen korkeuspisteisiin. Kaikki vuosien saatossa tehdyt vaaitukset on dokumentoitu ja arkistoitu, joten periaatteessa kaikki tehty työ on hyödynnettävissä. Eri asia on käytännössä, kuinka suuren työn arkistotutkimukset aiheuttavat. Myös osa pisteistä on todennäköisesti liikkunut tai tuhoutunut. Tässä tapauksessa voi olla osittain kustannustehokkaampaa ja luotettavampaa ryhtyä suorittamaan uusintavaaituksia. [19.]

Lisävaaituksia on aina syytä suorittaa, jotta voidaan varmistua kokonaisuudessaan runkoverkon tilasta ja varmentaa vakiokorjauksen paikkansapitävyys. Suurin osa Rauman muunnettavasta paikkatietoaineistosta sijoittuu arvokkaalle asemakaava-alueelle. Korkeuden muunnosten tarkkuuteen on kiinnitettävä siis erityishuomiota. [19.]

Resurssien säästämiseksi on mahdollista käyttää valtakunnallisia korkeuskiintopisteitä (GL:n 1. sekä MML:n 2. ja 3. luokan), joiden korkeuksien avulla voidaan johtaa riittäväällä tarkkuudella muunnoskaava. Pisteillä tulee olla laskettu korkeudet sekä N60- että N2000-järjestelmissä. Kaava ei kasva monimutkaisen pitkäksi, sillä pienellä alueella korkeuserot muuttuvat vain vähän. Korjauspinnan avulla voidaan laskea korkeusjärjestelmien välinen korkeusero ja muuntaa minkä tahansa kohdealueen pisteen korkeus. Muita vaihtoehtoja ovat muun muassa N60- ja N2000-korkeusjärjestelmien välisten muunnoskolmioiden käyttö GL:n muunnospalvelusta (<http://coordtrans.fgi.fi>). [19.]

Korkeuskäyrästä on mahdollista piirtää uudelleen MML:n laserkeilausaineistolla tuotettavan N2000-maastomallin pohjalta. MML:n kanssa yhteistyössä toteutettuna tämä tapa on kustannustehokas. Tarkka maastomalli on etuna muun muassa kaavoituksessa ja muussa suunnittelutoiminnassa. [19.]

Myös Eero Ämmälä teki insinöörityönsä N2000-korkeusjärjestelmään siirtymisestä Rauman kaupungissa (2013), mutta siinä ei korkeuskäyriä käsitelty edeltäjäänsä enempää.

### 3.3.2 Kirkkonummi

Markku Korhonen teki opinnäytetyönsä Kirkkonummen kunnan taso- ja korkeusjärjestelmien muuntamisesta EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin (2013). Kirkkonummen koko kunnan alueelta on luotu maanpinnan korkeusmalli- ja korkeuskäyräaineisto N2000-järjestelmässä MML:n korkeuspisteaineistosta, joka on laserkeilattu vuonna 2008. Konsultti on luonut aineistosta maanpinnan korkeusmallin ja korkeuskäyräaineiston sekä muuntanut ne ETRS-GK25-järjestelmään. [20.]

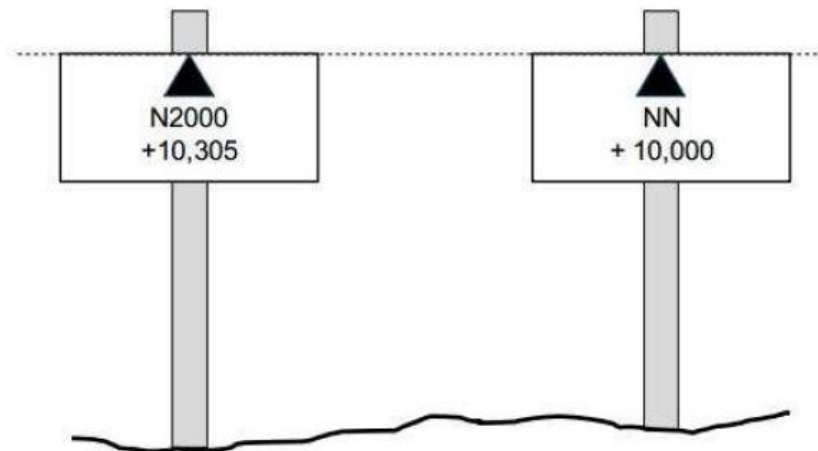
Koordinaatistojen muunnoksista on aiheutunut kustannuksia yhteen noin 40 000 euroa. Kustannukset ovat lähinnä syntyneet konsulttien käyttämisestä paikkatietojärjestelmän tietokannassa olevien aineistojen muuntamisesta, korkeuskäyräaineiston luomisesta uudessa korkeusjärjestelmässä ja kantakarttojen päivittämisestä uuteen järjestelmään, mittalaitteiden vuokraamisesta, ohjelmistojen ja koulutuksen hankkimisesta. Suurin kustannusten aiheuttaja oli konsulteille maksettavat palkkiot paikkatietoaineistojen ja tietokantojen muuntamisesta uuteen järjestelmään, eli noin 30 000 euroa. [20.]

Kirkkonummen alueella on 135 korkeuskiintopistettä (1.–3. luokissa), joilla on vaaitut korkeudet molemmissa N60- ja N2000-korkeusjärjestelmissä. GL:n ja MML:n lisäksi kunnassa on omana työnä vaaittu korkeuskiintopisteille korkeuksia molemmissa järjestelmissä. Korkeuskiintopistejonot sijaitsevat tasaisesti ympäri kuntaa. Pisteistä on pysytty määrittämään N60- ja N2000-korkeusjärjestelmien välinen ero ja tarkastelemaan korkeuseron alueellista vaihtelua. Korkeusero järjestelmien välillä havaittiin olevan suurimmillaan kaksi senttimetriä eri alueiden välillä, merkittävää poikkeamaa ei siis ole eikä alueellisiin korkeusmuunnoksiin ole tarvetta. Muunnos suoritettiin koko kunnan alueelle samalla vakiomuunnosarvolla, joksi saatiin laskettua +0,255 m. N60-korkeuksia nostettiin siis 0,255 metriä, jolloin saatiin N2000-korkeudet. MML:n määrittämät valtakunnalliset korkeusjärjestelmien väliset korkeuseroarvot tukevat laskettua vakiomuunnosarvoa Kirkkonummen alueella. [20.]

### 3.3.3 Helsinki

Eero Jalkanen teki insinöörityönsä Helsingin kaupungin siirtymisestä EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin ja muutosten vaikutuksista Staran mittaustoimintaan (2013, Star on Helsingin kaupungin oma rakentamispalvelu). Helsingin kaupungin alueella korkeusjärjestelmän muunnos NN-järjestelmästä N2000-korkeusjärjestelmään on toteutettu vakiokorjauksella:  $N2000 = NN + 0,305$  m. Muilla pääkaupunkiseudun kunnilla on

oma korkeuden muunnoksensa. Kuva 17 havainnollistaa Helsingin korkeusjärjestelmä-uudistuksen toimintaperiaatteen. [21.]



Kuva 17. N2000-korkeusjärjestelmän vakiokorjaus + 305 mm Helsingissä [21].

Korkeusmuunnoksen määrittelyyn Helsinki käytti alueellaan sijainnutta 23 GL:n ja MML:n 1. ja 2. luokan N2000-korkeuspistettä. Korkeusmuunnos saatiin laskemalla erotus N2000- ja NN-järjestelmien välille, joka oli keskiarvoltaan +0,305 m. Korkeusrunkoverkon todettiin olevan yhtenäinen käytettyjen pisteiden kohdalla tehtyjen havaintojen perusteella, lisämittauksia ei katsottu tarpeellisiksi. [21.]

Suurimmat huomioitavat eroavaisuudet uudistusten myötä liittyvät käytännössä kartoilla näkyviin eroavaisuuksiin korkeuskäyräaineistossa ja korkeuslukemissa, kun vanhan järjestelmän kartassa korkeuslukemat ovat 30 cm pienempiä kuin uuden järjestelmän kartassa. Vertailtaessa kuvia keskenään myös korkeuskäyrät kulkevat kartalla erilailla johtuen kahdesta erilaisesta korkeusmaailmasta. [21.]

### 3.3.4 Vantaa

Arsi Juote teki insinööriyönsä Vantaan kantakartta-aineistojen EUREF-FIN- ja N2000-muunnoksesta (2013). Korkeuskäyriä on perinteisesti piirretty käsin, mikä on ollut valtava työsaika Vantaan kartanpiirtäjille vielä 1990-luvulla. Visuaalisesti parhaat käyrät saadaan edelleenkin aikaiseksi mittaamalla ja piirtämällä stereokuvalta tai siistimällä käsin maastomallista luodut käyrät. Vantaan maapinta-alan huomioon ottaen tämä veisi vuosia. Nykyään on mahdollista luoda sekä visuaalisesti toimivia että tarkkuudeltaan hyviä käyriä automaattisesti laajoille alueille hyödyntämällä laserkeilauksesta saatavaa

maanpinnan dataa. Pistepilvien ja korkeusmallien käytön yleistymisen myötä korkeuskäyrien merkitys vähenee. Se on kuitenkin edelleen kysytty karttatuote ja hyvä tapa esittää korkeutta rasterikuvalla tai tulostetulla kartalla ilman muiden karttakohteiden näkyvyyden merkittävää heikentymistä. [22.]

Vanhojen korkeuskäyrien suora muuntaminen N2000-järjestelmään on huono ratkaisu johtuen niiden tasametrisestä esitystavasta. Käyrät olisivat korkeusmuunnoksen jälkeen sinänsä valideja, mutta esimerkiksi 25 metrin johtokäyrä olisikin sen jälkeen 25,313 metrin johtokäyrä. Tämä olisi erittäin heikko ratkaisu ongelmaan ja lisäksi vastoin JH-suositusta 185. Siirryttäessä uuteen korkeusjärjestelmään vanhoista korkeuskäyristä tulee käytännössä käyttökelvottomia. Vantaalla on tehty koko kaupungin kattava laserkeilaus helikopterista vuoden 2012 keväällä. Pistepilven tiheys on keskimäärin 10 pistettä neliometriä kohden, mikä riittää tarkan maanpinnan mallin tuottamiseen. Mallista tuotettiin sitten korkeuskäyrät kantakartalle metrin välein. [22.]

Käyrien tuottaminen ja oikeaan karttalehtijakoon saattaminen tiedettiin alusta alkaen yksinkertaiseksi ja nopeaksi toimenpiteeksi. Kantakartan ja koko maanpinnan kattavien korkeuskäyrien yhdistäminen visuaalisesti toimivalla tavalla sen sijaan oli haasteellista. Kantakartalla käyrät eivät saa kulkea esimerkiksi rakennusten, vesistöjen tai tealueiden yli, eivätkä ne saa häiritsevästi kulkea karttasymbolien läpi. Ongelman ratkaisuksi tarvittiin paljon erilaisia alue-elementtejä, joilla käyrästä pystyttiin leikkaamaan. Suunnittelun lähtökohdaksi otettiin se, ettei käyrien lisäämisen jälkeen olisi tarpeen käynnistää kantakartalle massiivista operaatiota, jossa koko kartta käydään läpi käsin. 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 paikkaansa pitävää käyrästä. [22.]

Käyrämäiset elementit, joissa oli hyvin harvakseltaan taitepisteitä, saattoivat testileikkauksissa siirtyä jopa noin kahden senttimetrin verran. Käyrän visuaalinen pyöristyminen riippuu sen muodostavista taitepisteistä. Käyrää leikattaessa leikatun osan taitepisteet poistetaan ja leikkauspisteisiin muodostetaan uudet taitepisteet, joiden mukaan pyöristymisen lasketaan uudelleen. Lisäksi käyräelementit siirtyivät taitepisteidensä välillä jonkin verran koordinaatistomuunnoksessa, mutta tämä ilmiö oli vähäistä noin millimetrin luokkaa. Aineistolle päätettiin näiden seikkojen johdosta suorittaa etukäteen korjausajo, jossa tiettyjä käyrämäisiä elementtejä muutettiin viivamaisiksi. Näitä elementtejä olivat muun muassa tien reunaviivat, joiden sijaintitiedolta edellytetään suurta



tarkkuutta. Käyräelementtejä ei tulisi käyttää sijaintitiedoltaan suurella tarkkuudella esitettävien kohteiden kuvaamiseen. Käyrien sijaan tulisi käyttää murtoviivoja. [22.]

### 3.3.5 Virrat

Antti Väätäinen teki opinnäytetyönsä Virtain kaupungin muunnosvaihtoehdoista EU-REF-FIN- ja N2000-järjestelmiin siirtymiseksi (2010). Virtojen aiempi N60-järjestelmän mukainen käyräaineisto on tuotettu ilmakuvaamenetelmällä. Ilmakuvatulkintaan perustuvilla menetelmillä tuotetun korkeusmallin tarkkuus on aina heikompi kuin keilainmenetelmään perustuvalla korkeusmallilla. Käyräaineisto on mahdollista muuntaa Virtain omilla paikallisilla muunnosparametreilla N2000-järjestelmään, jolloin N60-käyrästön korkealaatuisuus on ensiarvoisen tärkeää. [23.]

Vanhentuneen kaavakartan osalta on usein järkevää lähteä uusintakartoitukseen laserkeilaus- ja ilmakuvaamenetelmän yhdistelmällä. Yksityisten palveluntarjoajien lisäksi MML:lla on käynnissä laserkeilaukseen perustuvan korkeusmallin tuotantoprosessi, jonka lopputuotteena syntyy ruudukkomuotoinen korkeusmalli, jossa ruutukoko on 2 metriä. Virtojenkin tapauksessa MML on kiinnostunut yhteistyöstä. Yksityisillä palveluntarjoajilla keilauskartoituksen kustannustaso on noin 100 000 euroa. [23.]

Korkeuskäyrästön ratkaisuvaihtoehdot ovat Väätäisen mukaan seuraavat:

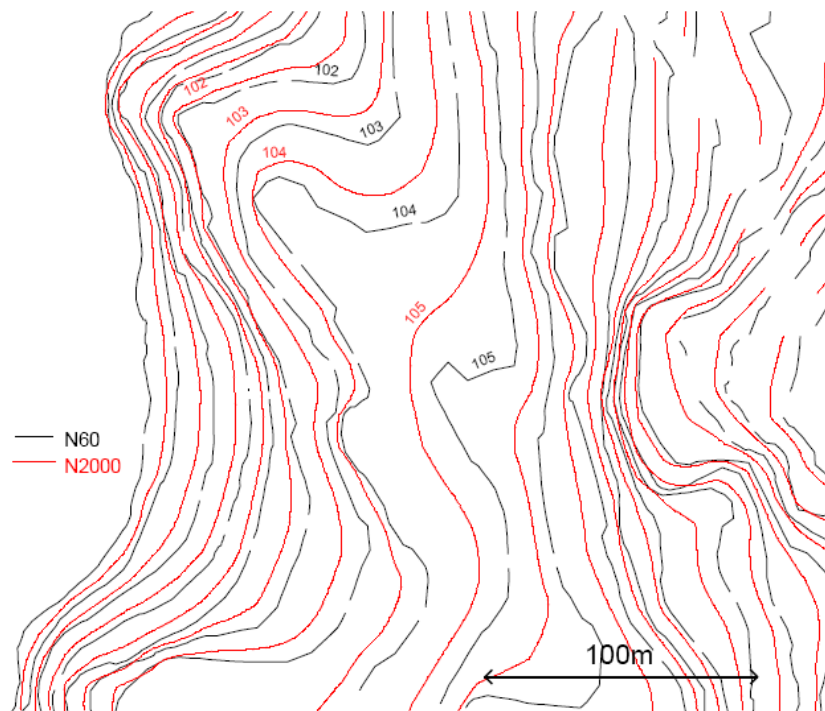
1. *Uuden N2000-järjestelmän mukaisen korkeusmallin hankkiminen keilaustekniikalla yhteistyössä MML:n kanssa.*  
Menettely tuottaa korkealaatuisen N2000-maastomallin, joka vastaa tulevaisuuden suunnittelutarpeita. Yhteistyö MML:n kanssa alentaa mallin tuottamisen toteutuskustannuksia merkittävästi. Suositeltava ratkaisu.
2. *Vanhan N60-käyrästön muunto toisen asteen polynomilla tai kaltevan tason mallilla.*  
Ilmakuvaperusteisen korkeuskäyrästön vaatimaton tarkkuus, muunnosvirheet ja interpolointimenetelmän virheet rasittavat tätä vaihtoehtoa. Vaikka muunnos on toteutettavissa kunnan omana työnä, ratkaisu ei vastaa todennäköisesti suunnittelutarpeita katsottaessa pitkälti tulevaisuuteen.
3. *N60- ja N2000-korkeusjärjestelmien välisten muunnoskolmioiden käyttö omassa sovelluksessa tai muunnoksen suorittaminen muunnoskolmioita käyttäen muussa sovelluksessa.* [23.]

Kaavan pohjakartan käyrästön muunto vakiokorjauksella MapInfo Vertical Mapper 3.0 -ohjelmalla, seuraavin työvaihein:

1. Yhden metrin välein oleva käyrästö muunnettiin pistetiedostoksi, jolloin jokainen käyrän solmupiste muodosti oman pisteen. Jokaisella pisteellä oli ominaisuustietona N60-korkeus.

2. Interpolointimenetelmänä käytettiin kolmiointia (Triangulation with smoothing). 10 x 10 m:n maastomallin pikseleiden korkeusarvot laskettiin kolmioiden kärkipisteiden avulla lineaarisella interpoloinnilla.
3. Pikseleiden korkeusarvoihin lisättiin Virtojen keskustan vakiokorjaus 0,353 m. Tuloksena oli N2000-järjestelmän mukainen maastomalli.
4. Maastomallista tuotettiin yhden metrin välein oleva käyrästö. Korkeusarvot ovat tasametrejä N2000-järjestelmässä. [23.]

Epävarmuutta uuden käyrästöän muodostamisessa aiheutti alkuperäisen käyrästöän katkonaisuus ja vesistöjen rajaviivaelementin puute. Tuloksen laadulle asettaa interpolointimenetelmät aina rajoituksia. Lisäksi runsaasti käsityötä aiheutti muun muassa uuden käyrästöän leikkaaminen tiealueilta. Kuvassa 18 on esimerkki alkuperäisestä N60-käyrästöstä (musta) ja tuotetusta N2000-käyrästöstä (punainen), käyräväli molemmissa on yksi metri. [23.]



Kuva 18. N60- ja N2000-käyrästöt rinta rinnan [23].

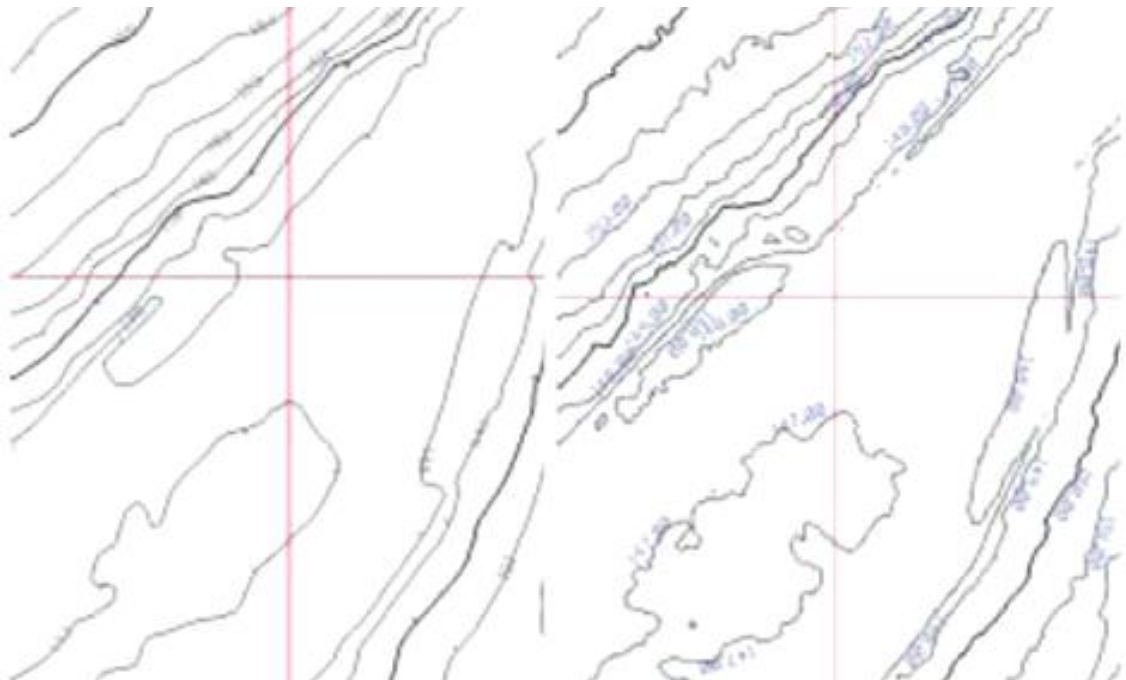
### 3.3.6 Laserkeilaus

Juho Lampinen teki opinnäytetyönsä laserkeilauksen hyödyntämisestä kunnan suunnittelu- ja mittaus toiminnassa (2011). Suomen alueella korkeusjärjestelmien muuttaminen on maannoususta johtuen tarpeen tietyin ajanjaksoin. Laserkeilaus on hyvä mittausmenetelmä uuteen N2000-korkeusjärjestelmään siirryttäessä, mikä edellyttää myös

kantakartan korkeuskäyrien uudelleen kuvaamista. Vaihdoista tehtäessä on syytä tuottaa riittävän laajalta alueelta maastomalli, joka laserkeilauksen jälkeen orientoidaan N2000-järjestelmään. Korkeuskäyrien uudelleen piirto tehdään maastomallin perusteella. Laserkeilauksella korkeuskäyrien tuotanto on helppoa myös peitteisillä ja runsaasti korkeuseroja sisältävillä alueilla. [24.]

MML:n aineistoa voidaan käyttää siirryttäessä uuteen korkeusjärjestelmään, kuten on tehty ainakin Turun ja Kaarinan alueella, tosin keilaukset tehtiin sopimuksesta alkupeiräistä suunnitelmaa tiheämmin, jotta aineisto soveltuu korkeuskäyrätuotantoon. Alunperin tavoite oli saada kantakartan maanpinnan korkeusluvuille 10 cm:n tarkkuus, mutta tihennyksestä huolimatta tarkkuus ei riittänyt kuin 15 cm:iin. Perinteiseen menetelmään verrattuna korkeustietojen uusiminen oli kuitenkin vaivatonta, eikä tavoitteestaakaan jääty kauas. [24.]

Kun korkeuskäyriä käytetään maastomallina, täytyy muistaa, että karttatuotannossa pääpaino on käyrien kartografisessa esityksessä. Korkeuskäyrien käyttöä maastomallina onkin syytä välttää, sillä niiden sijainnit mallin kannalta ovat likimääräisiä (kuva 19). [24.]



Kuva 19. Vasemmalla yleistettyjä korkeuskäyriä ja oikealla tarkasti mallin mukaan tehtyjä käyriä, jotka eivät kartografisesti ole toimivia [24].

Miikka Ketonen taas teki opinnäytetyönsä kantakartan korkeuskäyrien tuottamisesta pistepilviaineistosta (2013). Korkeuskäyrätuotannon lähtötilanteena on pistepilvi halutussa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä. Laserpisteiden sijainti- ja korkeustietoon perustuvasta pintamallista tuotetaan korkeuskäyrät. Pistepilven tiheydestä, käytettävistä ohjelmista ja menetelmistä sekä tuotettavien käyrien käyttötarkoituksesta riippuen on tarpeen suorittaa erilaisia työvaiheita. Ketonen keskittyi työssään Kokkolassa käytettyjen menetelmien dokumentointiin. [25.]

Korkeuskäyrätuotannon yleispiirteiset työvaiheet olivat seuraavat:

1. Etukäteen tehdyt työt
  - Pistepilviaineistoille on aiemmin tehty perusluokittelu. Käyrätuotannon kannalta oleellista on ollut maanpinnan pisteiden erottaminen omaksi luokakseen muista laserpisteistä.
  - Pistepilviaineistot muunnettiin uuteen koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään.
  - Sääntöalueet ja rakennukset piirrettiin erillisiin tiedostoihin.
  - Rantaviiva tulkittiin uudelleen.
2. Projektin luominen ja korkeuskäyrien avainpisteiden luokittelu
  - Muunnetusta pistepilvestä luotiin uusi projekti.
  - Maanpinnan pisteverkon harventamista varten tutkittiin erilaisia asetuksia.
  - Harvennus suoritettiin hyväksi havaituilla asetuksilla ja tuloksena saatiin korkeuskäyrien avainpisteiden luokka.
  - Avainpisteistä luotiin uusi projekti korkeuskäyrätuotantoa varten.
3. Korkeuskäyrien siistiminen erikseen jokaisessa blokissa
  - Siistimistä varten luotiin pintamalli ja malliin piirrettiin testikäyrät.
  - Siistimistä suoritettiin erilaisten luokittelutoimintojen avulla.
  - Siistimisellä parannettiin käyrien ulkoasua ja poistettiin virheitä.
4. Korkeuskäyrien laskeminen koko projektille
  - Siistimisen jälkeen lopulliset käyrät laskettiin koko aineiston alueelle.
  - Laskennassa käytettiin määritettyjä sääntöjä ja asetuksia.
  - Tuotettua käyräaineistoa siistittiin vielä jälkikäsittelemällä.
5. Valmiiden käyrien siirto Tekla GIS -järjestelmään
  - Valmiit käyrät siirrettiin paikkatietojärjestelmän tietokantaan viimeistelyä ja käyttöä varten. [25.]

Ennen tarkistusmittausta valittiin siihen sopivat alueet ja tehtiin näiden alueiden korkeuskäyrästä tiedosto, joka ladattiin maastotallentimeen ja avattiin mittaustyöhön aktiiviseksi kartaksi. Maastoon otettiin lisäksi mukaan paperikarttoja silmämääräistä maastotarkastelua varten. Mittauksia tehtiin alueilla, joissa maaston kaltevuus, maapohja ja erilaisten rakennettujen kohteiden määrä vaihtelivat. Mittausalueet olivat pääasiassa avoimia alueita, joilla satelliittipaikantimella mittaaminen onnistuu ja sen tarkkuus on mahdollisimman hyvä. Paikantimen helppo käytettävyys mahdollisti mittaamisen lyhyessä ajassa useista kohteista. Mittauskohteissa maastotallentimen aktiivisen kartan avulla haettiin korkeuskäyrän sijainti maastossa. Käyrältä kartoitettiin pisteitä valikoiduista paikoista käyrän korkeustarkkuuden selvittämiseksi. Suurimpien korkeuspoik-

keamien kohdalta maastosta haettiin myös paikka, jossa käyrän pitäisi oikeasti kulkea. Näin selvitettiin käyrän sijainnin poikkeavuudet erilaisilla maaston kaltevuuksilla. [25.]

Lauri Kopposela teki opinnäytetyönsä maastomallista (2012). Numeerinen korkeusmalli on alueen korkeustiedon sisältävä malli, jota voidaan visualisoida erilaisin keinoin. Korkeuskäyrät ovat perinteisin ja yleisin tapa korkeuden visualisointiin. 3D-mallinnuksessa mallia voidaan pyörittää, joten käyrien antama korkeusvaikutelma voi kadota. Epäsäännöllinen TIN-kolmiomalli koostuu kolmioista, joiden kärkipisteet sijaitsevat mitatulla korkeudella, näin päästään maaston yksityiskohtaiseen mallintamiseen. TIN-malli voidaan esittää rautalankamallina ja kolmiot voidaan täyttää värillä tai varjostaa valonlähteeseen nähden. [26.]

### 3.4 Kysely konsulteille

Halusin kartoittaa luonnollisesti myös konsultteja ja heidän tietotaitoaan. Valmistin kyselylomakkeen (liite 3), jossa oli kolme teemaa lisäkysymyksineen. Halusin selvittää, miten konsultit tuottavat korkeuskäyrät sekä miten pohjakartta tarkkuusvaatimukset ja esitystavat otetaan huomioon. Kartoitusteemanani olivat myös korkeuskäyrätyön kustannukset, jotka ovat loistaneet poissaolollaan kaikkialla. Harva puhuu rahasta julkisesti, mutta toivoin, että saisin kirjoitettua ylös edes yleistetyn arvion.

Kyselylomakkeen lähetin tiistaina 14.1.2014 kahdeksalle konsultille, seuraavilta seitsemältä sain vastauksen: Blom Kartta Oy, Destia Oy, Maanmittauslaitos, Maanmittauspalvelu Pelto-Timper Oy, PMT-Mittaus Oy, SKM Gisair Oy, Tripodi Finland Oy. Konsultit valikoituivat sillä, että ne olivat tuttuja, joko Paimiolle itselleen tai tulivat ilmi lähikuntakyselyssä. Tarvittaessa käytän konsulteista lyhennettyjä nimiä. Tuloksissa merkitseä sulkeisiin, montako konsulttia mainitsi kulloinkin kyseessä olevan toimintatavan.

MML:n vastaus kyselyyn oli luonnollisesti erilainen kuin muiden. Siellä korkeuskäyräaineisto tuotetaan muutaman vuoden kuluessa 2 metrin korkeusmallista, joka taas johdetaan koko maan kattavasta laserkeilausaineistosta. Aineistot ovat valmistuttuaan ilmaisia.

Muut vastanneet (6) tuottavat käyrästön MML:n tai muusta laserkeilausaineistosta interpoloimalla, eli laskemalla uusia väliarvoja olemassa olevien arvojen avulla niiden välille. Käyriä yksinkertaistetaan niin, että tulos on jouhea. Jos MML:n keilausaineisto

puuttuu, tehdään käyrät omalla laserkeilauslennolla (2), viimeisimmästä ilmakuvauksesta stereotyönä (3) tai etenkin helpoissa ja avoimissa maastoissa GPS- tai takymetrimittauksena (3). Destia mainitsi aineiston keruulaitteikseen myös maa- ja ajoneuvo-laserkeilaimet.

Konsulttien mainitsemien tietokoneohjelmien kirjo oli laaja. Listassa ohjelmat ovat suosituimmuusjärjestyksessä: MicroStation Terra (TerraScan ja TerraModeler) (4), 3D-Win (3), AutoCAD (2), AutoCAD Civil 3D (2), Microstation Stella Map (2), Espa Drive (1), FME (1), Summit Evolution (1) sekä omat sovellukset (1).

Miltei kaikki konsultit olivat yksimielisiä siinä, ettei vuoden 1989 stereokartoitettua N60-korkeuskäyrästä voi hyödyntää (2) tai sitä ei ainakaan suositella (4). Numeerinen stereokartoitettu aineisto korjattaisiin vakiokorjauksella, minkä jälkeen käyrät ajettaisiin uudelleen (1).

Ainakin puolet vastanneista (3) ovat todenneet MML-aineiston olevan tarkkuudeltaan yhteensopiva mittausluokan 1 ja 2 vaatimukseen, etenkin rakentamattomassa maastossa (1). Pelto-Timperin kertoi MML:n ilmoittaneen keilausaineiston tarkkuudeksi 0,15 m. Stereokartoituksessa ilmakuvauksen on tarvinnut suorittaa tarpeeksi suurella erotuskyvyllä (1). Tarkkuuden varmistamisen omin maastomittauksin mainitsi kaksi konsulttia, kolmas asiakkaan suorittamana.

Käyrästä trimmaustavat pohjakarttaan sopivaksi olivat konsulteilla hajanaiset. Käyrien leikkaus sekä käyrälukujen ja viettoviivojen tuottaminen on automaattisten (1–2), puoli-automattisten (2–1) ja käsin tehtyjen (0–1) toimintojen summia. Maanpinnan korkeusluvut interpoloidaan laserkeilausmallista (2) tai korjataan vakiokorjauksella (1).

Vaikka muutama ei antanutkaan korkeuskäyräaineiston tuottamisen kustannuksista arviota, sain sentään vastauksiakin. Haarukka hinnoissa on laaja, sillä pelkkä automatisoitu käyrien interpolointi on edukasta, kun MML-aineisto on olemassa, kuten Paimion tapauksessa. Käyrien muokkaaminen asemakaavan pohjakarttaan on kuitenkin enemmän tai vähemmän käsityötä, joka on kalliimpaa. Konsulteille oli varmasti vaikeaa antaa hintoja, kun kyselyssäni ei ollut tarjouspyynnön tarkkuutta muun muassa pinta-aloissa. Kuten eräs heistä sanoikin: Ensimmäinen neliökilometri on kovin kallis.

Konsulttikyselyni kokonaishintahaarukka N2000-korkeuskäyräaineistolle on 10–1 000 €/km<sup>2</sup>, halvimmat hinnat olisivat käyrien automatisoidusta tuottamisesta ja kalteimmat pohjakartan mukaiseksi muokkaamisesta. Kaksi konsulttia ehdotti, että käyrät tehtäisiin koko Paimion alueelle ja pohjakarttaa varten trimmattaisiin vain pohjakarttaa vastaava ala. Yksi konsulteista kuitenkin oli sitä mieltä, että järkevämpää olisi tehdä käyrästä vain pohjakartoitetulle alueelle. Lisäalueet voitaisiin myöhemmin tuottaa käyriin mahdollisen pohjakartan teon yhteydessä. Keskiarvo kaikista annetuista summista laskien on kuitenkin noin 27–395 €/km<sup>2</sup>.

## 4 Yhteenveto

N2000-korkeusjärjestelmä on yleiseurooppalaisen korkeusjärjestelmän suomalainen realisaatio. Siinä on otettu huomioon muun muassa viime jääkaudesta johtuva maan nousu, jota Suomessa on 40 vuoden aikana tullut yhteensä 13–43 cm, Paimiossa noin 29 cm. N2000 asetettiin Suomen viralliseksi korkeusjärjestelmäksi JHS 163:ssa. Asemakaavan pohjakartan laatimiseksi on valmistettu pian voimaan astuva JHS 185, jossa asetetaan tarkkuusvaatimukset ja esitystapa myös korkeuskäyrille.

Nopeimmat kunnat ovat jo korkeusjärjestelmän muutoksensa tehneet, mutta valtaosa ei. Muutoksia on suoritettu niin vakiokorjauksin kuin tehden käyrät täysin uudestaan laserkeilausaineistosta. Maanmittauslaitoksen keilausaineisto on ilmaista, ja siten sen käyttö on kustannustehokasta. Käyrien tuottamisessa kalleinta on käyrästäön muokkaaminen pohjakarttaan sopivaksi.

Suosittelisinkin Paimion kaupungille, että käyrästäön tuotettaisiin mahdollisuuksien mukaan koko kunnan alueelle ja pohjakarttaa varten trimmattaisiin vain sitä vastaava osa. Näin korkeuskäyrät olisivat koko kunnan alueelta yhteneväiset ja saman ajan hetken mukaiset. Erillisistä ja eriaikaisista paloista kasattu kokonaisuus saattaa peittää sisäänsä epätarkkuuksia. Lopullisesta konsultin valinnasta riippuu lopullinen kustannus ja se, miten se sopii budjetoinnin kanssa yksin, minkä jälkeen Paimion kaupunki päättää tilattavan käyrästäön laajuuden. Paimion kaupungille olen myös toimittanut kyselyiden vastaukset sellaisinaan.

Kaikenlaisia järjestelmiä ja ohjelmia uusitaan harva se vuosi. Tämä saa ihmiset varpailleen välittömästi. Heistä tuntuu, että juuri yhden opittuaan vaihdetaan se taas uudeksi. Lyhenteissä ja ammattitermeissäkin menee asiaan vihkiytymätön helposti sekaisin. Heidän kiinnostuksensa lakkaa ja korvat sulkeutuvat. Kaiken lisäksi uudistukset maksavat poikkeuksetta, eikä esimerkiksi kuntien talous taivu kaikkeen. Uudistusten yhteydessä olisi tärkeää saada ihmiset ymmärtämään, miksi uusi järjestelmä on parempi ja siten, miksi siihen kannattaa siirtyä.

Uskon, että työstäni on hyötyä Paimion lisäksi muillekin kunnille, jotka ovat korkeusjärjestelmän vaihdon äärellä. Työni kautta he oppivat ymmärtämään tarkemmin, mistä korkeusjärjestelmissä on kyse (luku 2) ja mitä vaihtoehtoja siirtymiseen on (luku 3). Olen pyrkinyt avaamaan ja kokoamaan eri asioita ja kokemuksia mahdollisimman kat-



tavasti ja kirjoittamaan tekstin mahdollisimman ymmärrettäväksi, jotta työstä on hyötyä mahdollisimman monelle.

Työtä voisi jatkaa tuottamalla Paimion kaupungille valmiin N2000-korkeuskäyrästäön. Ammattilaisia tuskin haittaisi, jos kehitettäisiin helppokäyttöinen systeemi korkeuskäyrien työstämiseen pohjakarttaan sopivaksi. Tämä taas toisi kustannuksia alemmas käsin tehdyn muokkaustyön vähetessä. Etenkin pienet kunnat taas kaivannevat helposti tilattavaa ja kustannustehokasta korkeuskäyrätuotetta.

Haluan nöyrästi kiittää jokaista,  
joka on auttanut minua tekemään tätä työtä.

Ihmisiä ja yrityksiä

Aiheen annosta

Ohjauksesta

Mielenkiinnosta

Lukemattomiin kysymyksiin vastaamisesta

Tuesta

Kiitos!

## Lähteet

- 1 Tietoa Paimiosta, ja sen alisivut. 2013. Verkkodokumentti. Paimion kaupunki. <[http://paimio.fi/tietoa\\_paimiosta](http://paimio.fi/tietoa_paimiosta)>. Luettu 22.11.2013.
- 2 3D-koordinaatistot, ja sen alisivut. 2013. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/3d-koordinaatistot>>. Luettu 7.11.2013.
- 3 Illustration of the Cartesian coordinate system for 3D. 2009. Kuvatiedosto. <[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Coord\\_system\\_CA\\_0.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Coord_system_CA_0.svg)>. 2.5.2009. Kopioitu 7.11.2013.
- 4 Sphere wireframe. 2009. Kuvatiedosto. <[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sphere\\_wireframe\\_10deg\\_6r.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sphere_wireframe_10deg_6r.svg)>. Lokakuu 2009. Kopioitu 7.11.2013.
- 5 Geoidi. 2013. Verkkodokumentti. Geodeettinen laitos. <<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/geoidi>>. Luettu 5.11.2013.
- 6 Earth gravity field anomalies. 2013. Kuvatiedosto. <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GRACE/page3.php>>. Kopioitu 7.11.2013.
- 7 Maannousu. 2013. Verkkodokumentti. Geodeettinen laitos. <<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/maannousu>>. Luettu 5.11.2013.
- 8 Koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. 2013. Verkkodokumentti. Geodeettinen laitos. <<http://www.fgi.fi/fgi/fi/tutkimus/koordinaatti-ja-korkeusj%C3%A4rjestelm%C3%A4t>>. Luettu 5.11.2013.
- 9 Teoreettinen keskivesi (MW) ja geodeettiset korkeusjärjestelmät Suomessa. 2013. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/keskivesitaulukot>>. Luettu 28.11.2013
- 10 Ruotsalainen, Reino. 2008. Suomen uuden korkeusjärjestelmän N2000 synty ja käyttöönotto. Diaesitys. Maanmittauslaitos. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=85351&lan=fi>>. 16.5.2008. Pdf-tiedosto tallennettu 15.5.2012. Luettu 6.11.2013, kun linkki ei enää toiminut ja yritin turhaan paikallistaa uuden sijainnin.
- 11 Poutanen, Markku ja Saaranen, Veikko. 2004. Suomen uusi Korkeusjärjestelmä. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 41. Geodeettinen laitos. <<http://www.pdfio.com/k-7482687.html>>. Luettu 3.12.2013.
- 12 JSH 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000. 2008. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon toimikunta (JUHTA). <<http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs163>>. 6.6.2008. Luettu 4.12.2013.
- 13 Kaavan pohjakartan laatiminen 2014, ja sen liitetiedostot. 2013. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/kartoitus/kaavan-pohjakarttojen-tarkastus/kaavan-pohjakartan-laatiminen-2014>>. Luettu 4.12.2013

- 14 Maanpinnan muodot. 2013. Verkkodokumentti. Suomen suunnistusliitto. <<http://www.ssl.fi/ssl/sslwww.nsf/sp2?open&cid=content75BC14>>. Luettu 4.12.2013.
- 15 Peruskartan merkkienselite. 2013. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <[http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/merkkienselite\\_pk.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/merkkienselite_pk.pdf)>. Luettu 4.12.2013.
- 16 JSH 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. 2013. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon toimikunta (JUHTA). <[http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/projects/base\\_map\\_of\\_city\\_plan](http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/projects/base_map_of_city_plan)>. 5.6.2013. Luettu 4.12.2013.
- 17 Lindvall, Virpi. 2014. Mittausteknikko, Paimion kaupunki. Sähköpostikeskustelu 7.-14.1.2014.
- 18 Puupponen, Jyrki. 2012. Maanmittausinsinööri (DI), Etelä-Suomen maanmittaus-toimisto. Sähköpostikeskustelu 15.5.2012.
- 19 Asikainen, Ari-Pekka. 2012. Rauman kaupungin siirtyminen EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin. Insinöörityö, Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/42753>>10.4.2012. Luettu 2.1.2014.
- 20 Korhonen, Markku. 2013. Kirkkonummen kunnan taso- ja korkeusjärjestelmien muuntaminen EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/64150>>. 16.9.2013.
- 21 Jalkanen, Eero. 2013. Helsingin kaupungin siirtyminen EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin ja muutosten vaikutukset Staran mittaustoimintaan. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/56092>>. 22.4.2013.
- 22 Juote, Arsi. 2013. Vantaan kantakartta-aineistojen EUREF-FIN- ja N2000-muunnos. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/55455>>.24.3.2013.
- 23 Väätäinen, Antti. 2010. Virtain kaupungin muunnosvaihtoehdot EUREF-FIN- ja N2000-järjestelmiin siirtymiseksi. Opinnäytetyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/23680>>. Luettu 3.1.2014.
- 24 Lampinen, Juho. 2011. Laserkeilauksen hyödyntäminen kunnan suunnittelu- ja mittaustoiminnassa. Opinnäytetyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/28492>>. Luettu 3.1.2014.
- 25 Ketonen, Miikka. 2013. Kantakartan korkeuskäyrien tuottaminen pistepilviaineis-tosta. Opinnäytetyö. Rovaniemen Ammattikorkeakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/55408>>.
- 26 Kopposela, Lauri. 2012. Maastomalli. Opinnäytetyö. Rovaniemen Ammattikor-keakoulu. <<http://www.theseus.fi/handle/10024/40484>>. Luettu 3.1.2014.

**Liite 1. Maankäyttö- ja rakennuslautakunnan päätös, 18.2.2010**

Koordinaatiston ja korkeusjärjestelmän muuttaminen

MKRAKLTk § 19 Maanmittauslaitos on muuttamassa koordinaatistonsa yleiseurooppalaiseen muotoon 15.02.2010. Turun kaupunki ja sen ympäristökunnat ovat samoin valmistelleet muutosta omalta osaltaan.

Vuonna 2009 suoritettiin Turun johdolla runkoverkon mittausta ja laskentaa muunnosparametrien määrittämistä varten siirryttäessä nykyisestä koordinaatistosta uuteen. Paimion kaupunki on ollut mukana valmistelutyössä yhdessä alueen kuntien kanssa. Työn tuloksena on toimitettu po. parametrit Paimion käyttöön syksyllä 2009.

Paimion koordinaatisto on nyt KKJ kaistassa 2. Korkeusjärjestelmä on N60.

Uusi koordinaatisto on EUREF-FINN ja korkeusjärjestelmä N2000. Koordinaatiston ja korkeusjärjestelmän muutos aiheuttaa korjauksen kaikissa kaupungin karttatiedoissa, rakennuslupa-, väestö- ja johtotietokannoissa. Samoin kaavoituksen pohjakartat, kaavat ja kunnallistekniset suunnitelmat muuttuvat näiden tietojen osalta.

Muutoslaskentaa ja -työtä voidaan tehdä osittain omana työnä, mutta laskentaohjelmat/parametrimuunnokset tulee osittain teettää ohjelmistotoimittajilla.

Turku on ilmoittanut uudeksi järjestelmäkseen EUREF-FINN, GK23. Paimion osalta vastaava muutos on (valtion kanssa yhteinen) EUREF-FINN, GK24.

Kaupungin GPS-mittausaseman (Rivonmäki) koordinaattitiedot ja korkeusasema on niin ikään muutettava maastomittausten oikeaa suorittamista varten.

Kaupungin tulee määrittää päivämäärä, josta uusi järjestelmä astuu voimaan kevään aikana.

Valmistelutyö on juuri nyt ajankohtainen ja työn suunnittelu yhdessä ohjelmistotoimittajien kanssa valmistuu kokoukseen mennessä, jolloin on valmius ajankohdan tarkempaan määrittämiseen.

Kaavoitusinsinöörin ehdotus:

Maankäyttö- ja rakennuslautakunta päättää, että Paimio siirtyy uuteen koordinaatistoon EUREF-FINN, GK24 ja korkeusjärjestelmään N2000 1.5.2010 alkaen.

Päätös: Mittausteknikko Rauno Berg oli läsnä kokouksessa asiantuntijana.

Rauno Berg selvitti koordinaatiston ja korkeusjärjestelmän muutosta.

Päätösehdotus hyväksyttiin.

## Liite 2. Kysely lähikunnille

Kyselylomakkeen lähetin sähköpostitse 12.8.2013. Viestissä kerroin luonnollisesti kuka olen ja millaista insinööriötä teen. Annoin vastausaikaa 2 viikkoa sekä kerroin millainen kyselylomake on ja miten se toimii. Viestiin liitin myös yhteystietoni Paimion kaupungille, jossa silloin työskentelin. Alla itse kyselylomake:

### *Kysely korkeusjärjestelmästä*

**Kuntanne nimi**

Täyttäjän nimi, titteli ja yhteystiedot

**Onko kuntanne siirtynyt N2000-korkeusjärjestelmään?**

EI

Käytössänne oleva korkeusjärjestelmä

Onko siirtymistä suunniteltu? Missä vaiheessa olette?

Haluaisitteko tehdä yhteistyötä Paimion kaupungin kanssa?

KYLLÄ

Milloin siirtyminen tapahtui?

Miten korkeuskäyrien muutos suoritettiin?

Kuka toimi mahdollisena konsulttina?

Paljonko muutos maksoi (esim. € / km<sup>2</sup>)?

Mikä muutoksessa onnistui?

Mitä olisi voinut tehdä toisin?

**Saanko käyttää yllä antamianne tietoja vapaasti insinööriössäni?**

*Kiitos ajastanne!*

### Liite 3. Kysely konsulteille

Kyselylomakkeen lähetin sähköpostitse 14.1.2014. Viestissä kerroin luonnollisesti kuka olen ja millaista insinööriyötä teen. Annoin vastausaikaa yhden viikon sekä kerroin millainen kyselylomake on ja miten se toimii. Viestiin liitin sekä omat että Paimion kaupungin Mittausteknikon yhteystiedot. Alla itse kyselylomake:

#### *Kysely korkeuskäyrätuotteestanne*

**Yrityksenne nimi**

Täyttäjän nimi, titteli ja yhteystiedot

**Miten tuotatte N2000-korkeuskäyräaineiston?**

Mitä ohjelmia käytätte?

Minkä aineiston pohjalta teette käyrästön?

Voiko vanhaa 1989 stereokartoitettua N60-käyrästöä hyödyntää?

**Miten teette käyrästön sopivaksi kaavan pohjakartan kanssa?**

Tarkkuusvaatimukset (JHS 185)?

Käyrien leikkaaminen ja korkeuslukujen lisääminen?

**Minkä hintainen N2000-käyrästö on (esim. € / km<sup>2</sup>)?**

34 km<sup>2</sup> (vanha N60-käyrästö) vs. 242 km<sup>2</sup> (koko kunta)?

Mitä hinta sisältää?

**Saanko käyttää yllä antamianne tietoja vapaasti insinööriyössäni?**

*Kiitos ajastanne!*