

Saara Patronen

Tuusulan kunnan N2000-projekti

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK)
Maanmittaustekniikka
Opinnäytetyö
5.4.2016

Tekijä Otsikko	Saara Patronen Tuusulan kunnan N2000-projekti
Sivumäärä Aika	39 sivua 5.4.2016
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma	Maanmittaustekniikka
Ohjaajat	kartastoinsinööri Jarmo Kyllönen lehtori Jussi Laari
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli koota yhteen tiedot ja kokemukset Tuusulan kunnassa vuosina 2014-2016 toteutetusta korkeusjärjestelmä uudistuksesta. Tavoitteena oli ottaa uusi korkeusjärjestelmä käyttöön hallitusti ja saada lisäksi aikaan kattava raportti siitä, miten ja miksi tämä projekti toteutettiin Tuusulassa.</p> <p>Opinnäytetyössä koottiin kirjallisuustutkimuksen keinoin perustiedot projektin taustalla vaikuttavista tekijöistä, sen vaiheet ja lopputulos. Työn lähdemateriaali koostui projektissa tuotetuista dokumenteista, valtakunnallisista ohjeistuksista ja julkaisuista.</p> <p>Projektin tuloksena Tuusulan kunta siirtyi 1.1.2016 käyttämään N2000-korkeusjärjestelmää aikaisemmin käytössä olleen N43-korkeusjärjestelmän sijasta. Projekti suunniteltiin tarkoin ja erityisesti viestintään kiinnitettiin paljon huomiota. Projektin toteuttaminen sujui aikataulun mukaisesti. Mahdollisia ongelmia voi tosin tulla ilmi vasta myöhemmin.</p> <p>Tuusulan kunta täyttää nyt Euroopan Unionin asettaman INSPIRE-direktiivin vaatimukset yleiseurooppalaisen korkeusjärjestelmän osalta. Paikkatietojen sujuva hyödyntäminen eri toimijoiden kesken valtakunnallisesti ja EU:n sisäisesti edellyttää, että aineistot ovat valtakunnallisissa tasokoordinaatti- ja korkeusjärjestelmissä. Tuusula pystyy nyt osaltaan vastaamaan näihin haasteisiin. Tulevaisuudessa tästä opinnäytetyöstä voidaan hyötyä vastaavanlaisten projektien toteuttamisessa.</p>	
Avainsanat	korkeusjärjestelmä, N2000, projektinhallinta

Author Title	Saara Patronen N2000-project in Tuusula municipality
Number of Pages Date	39 pages 4 April 2016
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Jarmo Kyllönen, Maps engineer Jussi Laari, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Master's thesis was to bring together the knowledge and the experiences of a project transforming the height system from N43 to N2000 in Tuusula, a municipality of southern Finland. The project was carried out 2013-2016. The goal of the thesis was to introduce the N2000 system and to provide a comprehensive report on the project background.</p> <p>This research was carried out as a literature review. The source material consisted of documents produced during the project, as well as of national guidelines and publications on the subject.</p> <p>As a result of the N2000 project, Tuusula complies with the requirements of the ISPIRE-directive of the European Union regarding the height system since the 1st of January 2016, which ensures the smooth utilization of spatial information nationally and within the EU since the data is presented with the national height system and plane coordinate system. In addition to the new height system, the thesis offers a broader report on how such projects can be carried out.</p>	
Keywords	height system, N2000, project management

Sisällys

Termit

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta ja tavoitteet	1
1.2	Työn sisältö ja tutkimusmenetelmät	2
1.3	Korkeudet ja korkeusjärjestelmien perusteet	2
1.3.1	Geoidi	2
1.3.2	Ortometrinen korkeus	3
1.3.3	Normaalikorkeus	3
1.3.4	Ellipsoidinen korkeus	4
1.4	N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönoton perusteet	5
1.4.1	Fennoskandian maannousu	5
1.4.2	N2000-korkeusjärjestelmä ja FIN2005N00-geoidimalli	6
1.4.3	INSPIRE-direktiivi	7
1.4.4	Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunnan suositukset	8
1.4.5	Valtakunnallinen N60-N2000 -korkeusmuunnos	9
1.4.6	Kunnan oma korkeusmuunnos	10
2	Projektin suunnittelu	10
2.1	Esiselvitys	10
2.1.1	Lähtökohdat	10
2.1.2	Paikkatietoaineistot	11
2.1.3	Tietojärjestelmät	12
2.1.4	Aikatauluarvio	12
2.1.5	Projektin kustannusarvio esiselvityksessä	12
2.2	Päätöksenteko	13
2.3	Käyttöönottosuunnitelman laatiminen	14
2.4	Projektin asiakirjojen hallinta	14
2.5	Projektin aikataulun suunnitleminen	15
2.6	Tarjouspyyntöjen laatiminen	16
3	Vaaitusprojekti ja siirtokorjauksen määrittäminen	17
3.1	Mittausuunnitelma	17
3.2	Korkeuspisteiden inventointi	19
3.3	Vaaitukset	19
3.4	Tasoituskalkulaatio	20

3.4.1	Jäännösvirhe ja suhteellinen tarkkuus	21
3.4.2	Tuusulan verkon tarkkuus	21
3.5	Korkeusmuunnoksen laskenta	22
3.6	Arviointi ja laadunhallinta	24
4	N2000-järjestelmän käyttöönotto	25
4.1	Tiedottaminen	25
4.2	Vaikutukset toimintaympäristöön	26
4.2.1	Pohjakartan N2000-korkeuskäyrät	26
4.2.2	Uudet korkeuskiintopisteet	30
4.2.3	Muunnetut aineistot	32
4.2.4	Merkinnät asiakirjoihin ja rekistereihin	33
4.2.5	Tiedostonhallinta	34
4.2.6	Kustannukset	35
5	Johtopäätökset	36
5.1	Projektin haasteita	36
5.2	Tiedottamisen tärkeys	36
5.3	Mahdolliset jatkotutkimushankkeet	37
	Lähteet	38

Termit

BLR2000	Baltic Levelling Ring; pohjoismaisena yhteistyönä suoritettu vaaitushavaintojen tasoitus Itämeren ympäri.
ETRS89	European Terrestrial Reference System 89; Euroopan laajuinen koordinaattijärjestelmä, joka on kiinnitetty Euraasian mannerlaatan liikkumattomaan osaan.
ETRS-GK25	EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmään liittyvä tasokoordinaatisto, jonka keskimeridiaani on tasa-asteella 25° ja projektiona Gauss-Krüger.
EUREF-FIN	Suomen uusi, valtakunnallinen koordinaattijärjestelmä. ETRS89-järjestelmän suomalainen realisaatio.
EUVN-DA	European Vertical Network; Euroopan laajuinen mittausprojekti, jonka tarkoituksena oli liittää eurooppalaiset korkeusjärjestelmät toisiinsa.
EVRF2000	European Vertical Reference Frame 2000; EVRS-korkeusjärjestelmän ensimmäinen realisaatio.
EVRS	European Vertical Reference System; Euroopan laajuinen, painovoimaan liittyvä korkeusjärjestelmä.
FIN2000	N60-järjestelmän kanssa käytettävä geoidimalli.
FIN2005N00	N+2000-järjestelmän kanssa käytettävä geoidimalli.
GNSS	Global Navigation Satellite System; maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
GRS80	Geodetic Reference System 1980; kansainvälisesti määritetty vertausellipsoidi.
IAG	International Association of Geodesy; Kansainvälinen Geodeettinen Assosiaatio.

- INSPIRE Infrastructure for Spatial Information in the European Community; Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2007/2/EY käsittelee euroopan yhteisön paikkatietoinfrastruktuurin perustamista, eli tavoittelee paikkatiedon yhteiskäytön mahdollisuutta koko Euroopan alueella.
- JHS Julkisen tietohallinnon neuvottelukunnan ja JHS-jaoston suositusjärjestelmä, jolla pyritään yhdenmukaistamaan valtion- ja kunnallishallinnon tietohallintoa.
- JUHTA Julkisen tietohallinnon neuvottelukunta.
- N2000 Suomen uusin valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. Euroopan laajuisen järjestelmän realisaatio.
- N43 Suomen toiseksi vanhin valtakunnallinen korkeusjärjestelmä.
- NAP Normal Amsterdams Peil; keskimerenpinta Amsterdamissa.
- NKG2004 pohjoismainen geoidimalli
- NKG2005LU pohjoismainen maannousumalli

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön aiheena on N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönottoprojekti Tuusulan kunnassa. Tuusulan kunnan maankäyttö- ja karttapalvelut ryhtyi valmistelemaan siirtymistä N43-korkeusjärjestelmästä N2000-järjestelmään tasokoordinaatistouudistuksen esiselvityksen yhteydessä vuonna 2011. EUREF-FIN-järjestelmän käyttöönoton kanssa samaan aikaan tapahtuva korkeusjärjestelmän uudistaminen todettiin kuitenkin resursien rajallisuuden takia liian suureksi kokonaisuudeksi. Tämän vuoksi korkeusjärjestelmäuudistusta lykättiin.

ETRS-GK25FIN-tasokoordinaatistosta tuli Tuusulan kunnan virallinen tasokoordinaatisto tammikuussa 2014. Korkeusjärjestelmäuudistusta ryhdyttiin käynnistämään heti tämän jälkeen. Kunnan teknisen toimen ja kuntakehityksen yhteistyönä tehtiin maaliskuussa 2014 päätös N2000-järjestelmän käyttöönotosta. Samalla päätettiin, että tekninen toimi hakisi budjettiinsa vuodelle 2015 määrärahan korkeusjärjestelmäuudistuksen toteuttamista varten.

Toimin tasokoordinaatistouudistusprojektin vetäjänä Tuusulan kunnassa vuoden 2012 keväästä lähtien. Tuolloin projekti oli alkanut jo vuotta aikaisemmin ja esiselvitys oli tehty SITO Oy:n toimesta. Tasokoordinaatistouudistus oli aluksi tuntematon ja monimutkaiselta vaikuttava muutos. Asiaa arasteltiin, paitsi sen valtakunnallisen ja kuntakohtaisen merkittävyyden, myös monimutkaisen käsitteistön vuoksi. Palveluntarjoajat tarjosivat erityyppisiä käyttöönottopaketteja ja valmiita kokonaisratkaisuita projektin toteuttamiseksi, mutta käytännön tietoa projektin vetämiselle omin voimin ei ollut ilmaiseksi jaossa. Samat haasteet olivat läsnä myös korkeusjärjestelmäuudistuksessa, jonka ohjaaminen kunnan omana työnä nähtiin kuitenkin mahdollisena onnistuneet tasokoordinaatistouudistuksen ansiosta.

Projektityöskentely on keskeisellä sijalla kuntien nykyisissä paikkatietoon liittyvissä tehtävissä. Suurelta osin EU:n vaikutuksesta kuntiin kohdistuu runsaasti muutospaineita – etenkin paikkatietoaineistojen yhteiskäytön edistämiseksi. Erilaisia käyttöönotto- ja uudistusprojekteja on tarjolla toteutettavaksi vuosittain. Tämän vuoksi tiedot hankalalta vai-

kuttaneen N2000-projektin toteuttamisesta oli aiheellista raportoida tarkoin tulevaisuuden varalle. Tässä työssä tavoitteena on kuvata koko projekti – sen vaiheet ja ratkaisut sekä niihin johtaneet tekijät.

1.2 Työn sisältö ja tutkimusmenetelmät

Tämä työ on N2000-projektin päätösraportti, josta voidaan jatkossa hakea tietoa vastaavien projektien toteuttamismahdollisuuksista. Työn menetelmänä on kirjallisuustutkimus. Aineisto koostuu suurimmaksi osaksi projektin aikana tuotetuista dokumenteista.

Painotan työssäni tietosisällön lisäksi projektinhallinnallista näkökulmaa. Tuusulan kunnassa on vasta äskettäin otettu käyttöön ohjeistus projektityöskentelystä. N2000-projektin aikana työkaluja ja ohjeistusta projektinhallintaan ei vielä ollut. Tämän vuoksi käytin projektinhallintavälineinä aluksi lähinnä omaa luovuuttani ja maalaisjärkeäni, ottaen mukaan uusia työkaluja matkan varrella. Työstä käyvät ilmi projektin aikana tuotetut asiakirjat ja niiden merkitys koko prosessille. Työssä esitelty teoreettinen viitekehys korkeusjärjestelmistä, niiden muutoksista ja niihin liittyvistä säädöksistä antaa käsityksen projektin lähtökohdista.

1.3 Korkeudet ja korkeusjärjestelmien perusteet

1.3.1 Geoidi

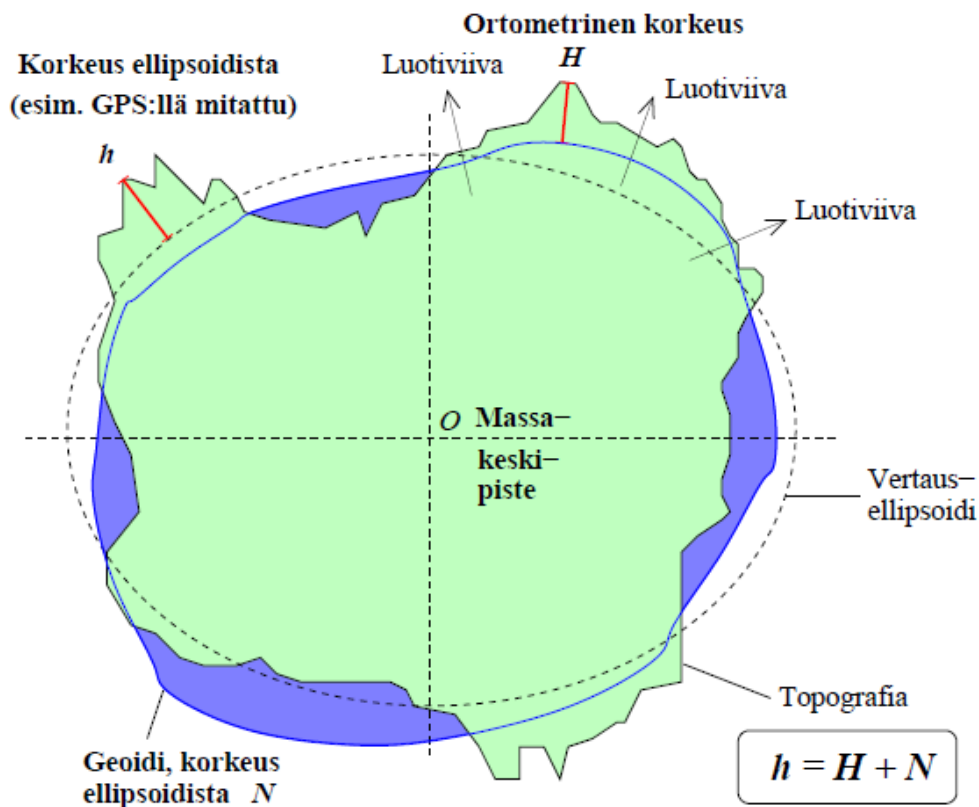
Geoidi on Maan painovoimakentän potentiaalinen tasa-arvopinta (kuva 1). Geoidi kuvaa meren keskivedenpintaa ja sitä, kuinka se asettuisi mantereiden kohdalla painovoiman vaikutuksesta. Todellisuudessa merenpinta ei asetu pelkästään maan painovoiman mukaisesti, vaan siihen vaikuttavat lisäksi veden lämpötila ja suolaisuus, ilmanpaine, tuulet ja merivirrat.

Geoidin pinta on aina kohtisuorassa painovoimaan nähden. Painovoima ei ole tasainen Maan massan epätasaisen jakaantumisen vuoksi. Tämä tekee geoidin pinnasta epätasaisen. Geoidin korkeus tarkoittaa geoidin ja vertausellipsoidin välistä korkeutta, joka voi olla myös negatiivinen. Vertausellipsoidi on matemaattinen malli, jonka avulla Maata voidaan kuvata. Geoidimallien avulla pyritään kuvaamaan todellista geoidia mahdollisimman hyvin. (Laurila 2012: 135–136, 166.)

1.3.2 Ortometrinen korkeus

Ortometrinen korkeus tarkoittaa kohteen etäisyyttä geoidin tasosta. Se voidaan määrittää geopotentialierosta, joka jaetaan keskimääräisellä painovoimalla laskettuna pitkin korkeuspisteen ja geoidin välistä luotiviivaa (kuva 1). Luotiviiva kulkee korkeuspisteestä maan painovoimakeskusteeseen. (Geoinformatiikan sanasto 2014: 14.)

Ortometrisia korkeuksia mitataan vaaituskojeella ja takymetrilla. Ortometrista korkeutta käytetään yleisesti suunnittelussa ja rakentamisessa, sillä se kertoo veden virtaussuunnan maan pinnalla (Laurila 2012: 165).



Kuva 1. Geoidi yhtyy keskimerenpintaan. Vertausellipsoidi on matemaattinen malli Maasta. Ortometrinen korkeus (H) voidaan laskea ellipsoidisen korkeuden (h) ja geoidimallista lasketun geoidin korkeuden (N) avulla kaavalla $H=h-N$. (Vermeer 2006)

1.3.3 Normaalikorkeus

N2000-järjestelmän korkeudet ovat normaalikorkeuksia. Normaalikorkeus poikkeaa hieman ortometrisestä korkeudesta (keskimäärin 2 cm). Se lasketaan havaintopisteen ja

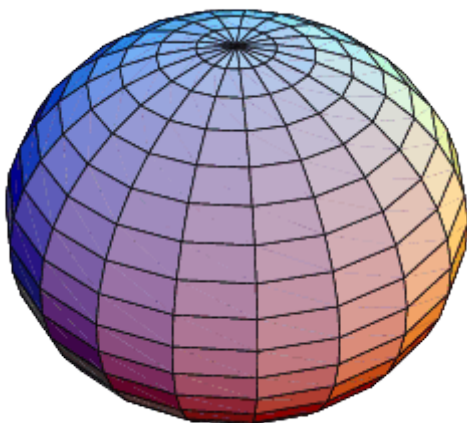
kvasigeoidin välisestä geopotentialierosta, joka jaetaan vertausellipsoidin parametreista lasketulla, keskimääräisellä normaalipainovoimalla.

Kvasigeoidi yhtyy geoidiin merenpinnan tasolla, mutta poikkeaa siitä ylemmäs noustessa. Kvasigeoidi poikkeaa Suomen alueella geoidista maksimissaan 8 cm. (JHS 163: 3.)

1.3.4 Ellipsoidinen korkeus

Ellipsoidinen korkeus tarkoittaa kohteen etäisyyttä vertausellipsoidiin. Vertausellipsoidi on navoiltaan litistynyt pyörähdysellipsoidi (kuva 2). Geodeettisten koodinaattijärjestelmien määritelmiin sisältyy tieto vertausellipsoidin ominaisuuksista. Esimerkiksi ETRS89-koordinaattijärjestelmä perustuu GRS80-vertausellipsoidiin (Geodetic Reference System 1980). GRS80-ellipsoidi määritellään seuraavien (JHS 154: 4) suureiden avulla:

- vertausellipsoidin isoakselin puolikas, $a = 6378137$ m
- maan geosentrinen vetovoimavakio, $GM = 3986005 \cdot 10^8 \text{ m}^3\text{s}^{-2}$
- dynaaminen muotokerroin, $J_2 = 108263 \cdot 10^{-8}$
- Maan pyörähdysliikkeen kulmanopeus, $\omega = 7292115 \cdot 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$.



Kuva 2. Pyörähdysellipsoidi (Weisstein 2015).

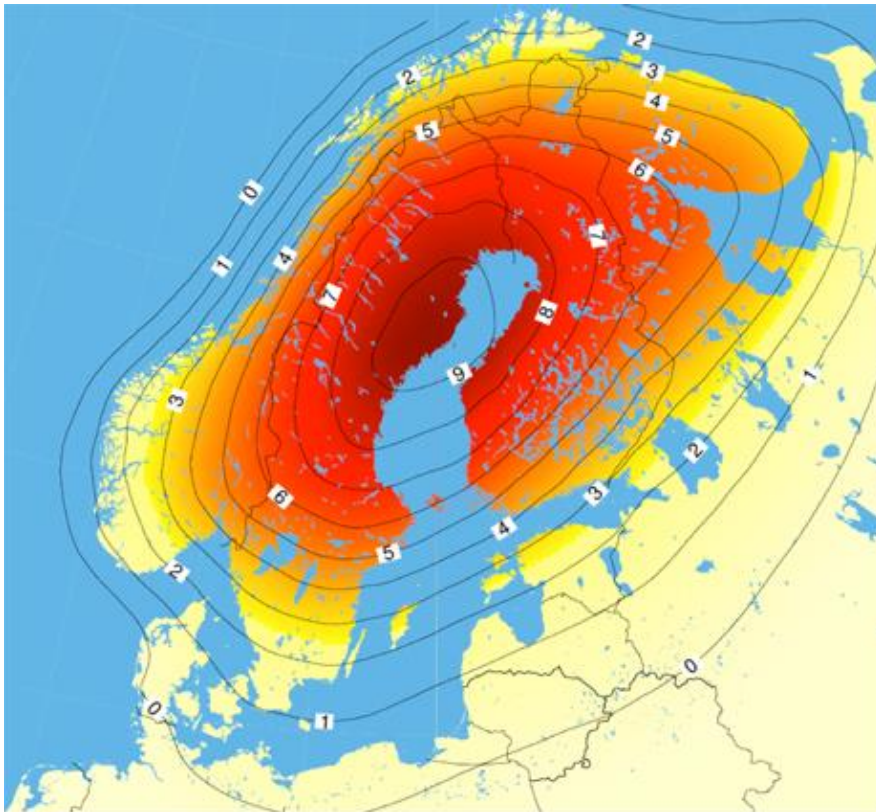
Satelliittipaikannuksella mitataan ellipsoidisia korkeuksia. Ellipsoidiset korkeudet on muunnettava geoidimallin avulla ortometrisiksi korkeuksiksi ennen, kuin niitä voidaan käsitellä yhdessä vaaitettujen korkeuksien kanssa (kuva 1).

1.4 N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönoton perusteet

1.4.1 Fennoskandian maannousu

Korkeusjärjestelmä tulee uusia Suomessa jääkauden jälkeisen maannousun takia 50 vuoden välein (Saarikoski 2007). Jääkaudella, 10 000 vuotta sitten, jäämassat painoivat maankuorta alaspäin. Painauma oli Fennoskandiassa syvimmillään jopa 500 m. Jään sulamisen seurauksena maankuori alkoi jälleen kohota ja se jatkuu edelleen. Fennoskandian maannousun lisäksi maapallolla on havaittavissa myös muita jääkauden jälkeisiä muodonpalautumisilmiöitä.

Suomen alueen maankuori nousee suurimmillaan noin 1 cm vuodessa ja muutos maamme edelliseen valtakunnalliseen N60-korkeusjärjestelmään (luku 1.4.2 N2000-korkeusjärjestelmä ja FIN2005N00-geoidimalli) on esimerkiksi Vaasan seudulla jo noin 50 cm (Saarikoski 2007: 84). Maannousu on suurinta lähimpänä Merenkurkkua ja Pietarin alueella sitä ei enää ole havaittavissa (kuva 3). Merenpinta nousee jäätiköiden sulamisen takia runsaat 1,5 mm vuodessa, mikä osaltaan vaimentaa hieman maannousun vaikutusta rannikolla.



Kuva 3. Fennoskandian maannousu maapallon keskipisteen suhteen (mm/vuosi) (Teematietoa: Maannousu 2015).

1.4.2 N2000-korkeusjärjestelmä ja FIN2005N00-geoidimalli

Korkeusjärjestelmän avulla voidaan ilmaista kohteen korkeussijainti yksikäsitteisesti. Korkeusjärjestelmän määrittelee korkeusdatumi, joka sisältää tiedot muun muassa järjestelmän käytettävyyalueesta, vertauspinnasta eli nollatasosta, epookista (ajanhetkestä, johon järjestelmä on sidottu) ja korkeuksien tyypistä (ortometrinen vai ellipsoidinen). Korkeusjärjestelmä sidotaan maastoon korkeuskiintopisteiden avulla. (JHS 163: 1.)

Suomen ensimmäisen valtakunnallisen tarkkavaaituksen (1892–1910) perusteella luotu korkeusjärjestelmä oli NN-järjestelmä. Toisessa valtakunnallisessa tarkkavaaituksessa (1935–1972) luotiin järjestelmät N43 ja LN, jotka molemmat olivat tarkoitettu tilapäiseen käyttöön. Monissa kunnissa kyseiset järjestelmät jäivät kuitenkin käyttöön aina näihin päiviin saakka. N43 tarkoitettiin käytettäväksi maan etelä- ja keskiosissa ja LN pohjoisessa. Kun tarkkavaaitus saatiin suoritettua kokonaisuudessaan loppuun, otettiin käyttöön vuoteen 1960 redukoitu N60. Uusimmassa, kolmannessa tarkkavaaituksessa

1978–2006 vaaittiin yhteensä 9158 km linjaa, joka sisälsi 6092 korkeuskiintopistettä. (JHS 163: 1–2.)

Suomen vaaitus tasoitettiin pohjoismaisena yhteistyönä Ruotsin, Norjan, Tanskan, Hollannin, Pohjois-Saksan, Puolan, Liettuan, Latvian ja Viron kanssa (BLR2000). Tasoituksen lähtötaso on NAP (Normal Amsterdams Peil), joka on myös N2000-järjestelmän nol-lataso. N2000-korkeudet ovat normaalikorkeuksia. N2000-järjestelmän kansallisen tasoituksen lähtötaso on Kirkkonummella sijaitseva Metsähovin kiintopiste PP2000. Sen korkeus (54,4233 m) on saatu BLR2000-tasoituksessa. (JHS 163: 7–9.)

Koska vaaitukset oli suoritettu pitkän aikavälin kuluessa ja myös maannousu oli samalla edennyt, korjattiin nämä korkeuserot havainnoissa vastaamaan epookin 2000.0 mukaisia arvoja käyttäen pohjoismaista NKG2005LU-maannousumallia. Epookki 2000.0 tarkoittaa sitä, että N2000-järjestelmä on ollut ajantasainen vuonna 2000. Näin ollen uusinkin korkeusjärjestelmämme on jo 15 vuotta vanha ja kaipaa uudistamista taas 35 vuoden kuluttua. (JHS 163: 7.)

Geoidimallin avulla GNSS-mittauksessa saadut ellipsoidiset (vertailuellipsoidi GRS80) korkeudet saadaan suoraan N2000-normaalikorkeuksiksi. Vuonna 2005 Suomen alueille luotu FIN2005N00-geoidimalli perustuu pohjoismaiseen NKG2004-geoidimalliin. Se on tehty maanpäälliseen painovoima- ja painovoimasatelliittien tuottaman datan pohjalta. Malli on sovitettu korkeuskiintopisteiden (EUVN-DA-kampanja) kautta N2000-järjestelmään. Mikäli halutaan saavuttaa paikallisesti tarkempia muunnoksia, voidaan myös määrittää paikallisia geoidimalleja. (Bilker-Koivula & Ollikainen 2009: 13.)

1.4.3 INSPIRE-direktiivi

Euroopan Unionin INSPIRE-direktiivi (Infrastructure for Spatial Information in the European Community) edellyttää, että paikkatietoaineistoja tuottavilla tahoilla on oltava valmius luovuttaa aineistoa yleiseurooppalaisessa tasokoordinaatti- ja korkeusjärjestelmässä. Suomessa kriteerit täyttävät ETRS89-koordinaattijärjestelmän suomalainen realisaatio EUREF-FIN ja EVRS-korkeusjärjestelmän mukainen N2000.

EVRS (European Vertical Reference System) on IAG:n (International Association of Geodesy) vuonna 2000 määrittelemä Euroopan laajuinen korkeusjärjestelmä. Sen ver-

tailupinta on globaali geoidi, mutta sen ensimmäisessä realisaatiossa EVRF2000 lähtötaso on NAP. N2000-järjestelmä on luotu kolmannen valtakunnallisen tarkkavaaituksen, EVRS:n määritelmien ja INSPIRE:n vaatimusten pohjalta. (JHS 163: 2.)

1.4.4 Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunnan suositukset

Julaisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta (JUHTA) toimii julkisen hallinnon tietoyhteiskuntakehityksen edistämiseksi. Neuvottelukuntaan kuuluu 30 jäsentä ja 5 asiantuntijaa ministeriöistä, Kelasta, Kuntaliitosta, kunnista, Valtionkonttorista, Sitrasta ja Teikesistä. JUHTA ohjaa hyväksymiensä suositusten (JHS) avulla julkista tietohallintoa valtakunnallisesti. Suositusten laatimista ohjaa JUHTA:n alainen JHS-jaosto.

JHS 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000

JUHTA on vuonna 2007 julkaissut JHS 163:n, jossa määritellään Suomen korkeusjärjestelmä N2000. Suosituksen tavoitteena oli yhtenäistää ja nopeuttaa uuden korkeusjärjestelmän käyttöönottoa Suomessa.

JHS 163 -suositus on laadittu paikkatietoaineistojen ja -järjestelmien tuottajille ja käyttäjille ja siinä määritellään N2000-järjestelmän perusteet, tekniset ominaisuudet, käyttökohteet ja geoidimalli.

JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmässä

JHS 184 on julkaistu vuonna 2012. Se käsittelee kiintopistemittauksia EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. Suosituksessa määritellään taso- ja korkeuskiintopistemittauksessa käytettävät mittausmenetelmät, mittausten kontrollointiin, mittaustekniikkaan ja dokumentointiin liittyvät tekijät.

Suosituksen liitteessä 1 (Korkeuden määrittäminen, ”EUREF-FIN-korkeudet”) todetaan, että GNSS-mittauksessa tasorunkopisteille saatavat korkeudet voidaan saada yhteensopiviksi vaaituskorkeuksien kanssa geoidin korkeuden avulla. Suomessa suositellaan käytettäväksi N60-korkeuksiin FIN2000- ja N2000-korkeuksiin FIN2005N00-geoidimalleja.

JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen

Vuonna 2014 julkaistu suositus JHS 185 käsittelee asemakaavan pohjakartan laatimista. Siinä käsitellään laajasti pohjakartan kohteiden tarkkuus-, tietosisältö- ja ajantasaisuusvaatimuksia, sekä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmille asetettuja vaatimuksia.

Suosituksessa mainitaan yksiselitteisesti, että pohjakartan laatimisessa ja kaavoitusmitauksissa on käytettävä valtakunnallista koordinaatti- ja korkeusjärjestelmää. Järjestelmät kiinnitetään maastoon kiintopisteiden avulla.

1.4.5 Valtakunnallinen N60-N2000 -korkeusmuunnos

Maanmittauslaitos määrittä valtakunnallisen N60-N2000-muunnoksen muuntaakseen omat korkeuspisteensä ja tehostaakseen uuden korkeusjärjestelmän käyttöönottoa Suomessa. Valtakunnallinen korkeusmuunnos perustuu muunnospintaan, joka määrittää N60- ja N2000-järjestelmien välisen korkeussiirron tasokoordinaattien funktiona. Yhteensä 827 kolmiota sisältävä kolmioverkko luotiin tukipisteiden avulla. Tukipisteiden korkeudet tunnettiin kummassakin järjestelmässä ja ne olivat pääosin kallioon rakennettuja luokkien I ja II kolmiopisteitä (luku 4.2.2 Korkeuskiintopisteiden luokittelu). Mukaan oli kuitenkin otettava myös III-luokan pisteitä. Rajaseuduille ja rannikkoalueille luotiin virtuaalipisteitä. (Ahola & Musto 2011: 35–36.)

Jotta korkeusmuunnos voitaisiin viedä eri paikkatietosovelluksiin, laadittiin muunnoshila. Hila on ladattavissa entisen Geodeettisen laitoksen, nykyisen Paikkatietokeskus FGI:n muunnospalvelusta. Muunnoshila muodostuu suorakulmaisesta ruudukosta, jonka ruutujen nurkkapisteille on laskettu järjestelmien välinen erotus. Ruudun sisällä korkeusero interpoloidaan nurkkapisteiden perusteella. Muunnos ei tuota tarkalleen samoja arvoja kuin kolmioittainen muunnos, mutta on silti lähes yhtä tarkka. Hilamuunnoksen tarkkuus on sitä suurempi, mitä pienempää hilakokoa käytetään. (Ahola & Musto 2011: 36.)

Muunnetut N2000-arvot valtakunnallisille kiintopisteille ovat nähtävillä Maanmittauslaitoksen kiintopisterekisterissä. Muunnos sisältää aina virhettä, joka johtuu tässä tapauksessa pääosin vanhojen N60-tasoitusten virheistä. Valtakunnallista muunnosta pidetään kuitenkin riittävän tarkkana minkä tahansa korkeusdatan muuntamiseen. (Ahola & Musto 2011: 40.)

1.4.6 Kunnan oma korkeusmuunnos

Valtakunnallisen muunnoksen käyttäminen kunnan omien aineistojen muuntamiseksi on varteenotettava vaihtoehto, kun kunnan aineistot ovat N60-järjestelmässä. Karkeita vaikiokorjauksia voidaan myös laskea olemassa olevien pisteiden eri järjestelmissä olevien rekisterikorkeuksien avulla. Tällöin on huomattava, että muunnos ei ole kontrolloitu ja luotettava. Vanhoja vaaitushavaintoja ja laskelmia voidaan hyödyntää, mikäli niitä on käytettävissä. Luotettavasti suoritettu korkeusmuunnos N43-järjestelmästä N2000-järjestelmään edellyttää vaaituksia, joiden yhteydessä on tutkittava olemassa olevan runkopisteverkon luotettavuutta ja saneeraustarpeita (Honkanen 2010: 40–41).

Tuusulassa havaittiin tasokoordinaatistouudistuksen yhteydessä, että Kellokosken alueella runkoverkossa on alueellinen vääristymä. Tällaista odotettiin myös korkeuden osalta. Vanhoja vaaitushavaintoja ja tasoitustietoja ei ollut saatavilla, joten ainoaksi järkeväksi vaihtoehdoksi jäi uuden korkeuskiintopisteverkon vaaitus ja muunnoksen määrittäminen vanhan järjestelmän vastinpisteiden perusteella.

2 Projektin suunnittelu

2.1 Esiselvitys

2.1.1 Lähtökohdat

Esiselvitys tehtiin vaiheessa, jossa perustietoa projektiin liittyvistä tekijöistä ei kunnassa juurikaan ollut. Näin ollen selvityksessä oli aiheellista koota yhteen tiedot korkeusjärjestelmiin ja korkeuksiin liittyvästä käsitteistöstä. Lisäksi täytyi perustella, miksi tällainen projekti on tarpeen toteuttaa huonoina taloudellisina aikoina.

Projektin toteuttamiselle oli olemassa selkeät perusteet, sillä se perustui keskeisesti EU:n lainsäädäntöön ja kansallisiin ohjeistuksiin. Tämän lisäksi projektin toteuttamista puolsi kunnan pahasti rapistunut korkeusrunkopisteverkko ja se, että monissa naapurikunnissa N2000-järjestelmä oli jo otettu käyttöön. Mittaustoimintaa ja suunnittelua Tuusulassa katsottiin jatkossa suuresti helpottavan se, että taso- ja korkeusjärjestelmät olisivat samoja kuin naapurikunnissa.

2.1.2 Paikkatietoaineistot

N2000-projektissa oli muunnettava olemassa olevaa paikkatietoaineistoa uuteen korkeusjärjestelmään, joten oli tärkeää selvittää jo alkuvaiheessa toimenpiteitä vaativat aineistot. Aikataulun suunnittelemisen ja uuden järjestelmän käyttöönottoajankohdan sopimisen vuoksi oli syytä hahmottaa, kuinka suuresta työstä olisi kysymys.

Tuusulan kunnan paikkatietoaineistot löytyivät paikkatietoyksikön ylläpitämästä aineistotaulukosta, joka sisälsi myös tiedot aineistojen päivitystiheydestä, tiedostoformaateista, ylläpitäjistä ja tiedostosijainnista. Tämän taulukon pohjalta kunnan tuottamien, korkeustietoa sisältävien aineistojen kokoaminen oli näppärää. Korkeustietoa tai korkeuslukemia sisältäviä aineistoja löytyi yhteensä yhdeksän (taulukko 1). Aineistoista kuusi oli jatkuvasti ylläpidettäviä, eli niiden muuntamisajankohta oli suunniteltava tarkemmin käyttökatojen takia. Pysyviä, toimenpiteitä edellyttäviä aineistoja löytyi kolme.

Taulukko 1. Tuusulan ylläpitämät, korkeustietoja sisältävät aineistot.

Aineisto	Päivitys	Tiedostomuoto	Korkeus	Ylläpitäjä	N2000-toimenpiteet
Ajantasakaava	jatkuva	dgn	N43	Kaavoitus	Korkeusluvut muunnetaan
Asemakaava- ja yleiskaavakartat	pysyvä	dgn, paperi	N43	Kaavoitus	Karttoihin lisätään merkintä suunnittelujärjestelmästä
Johtokartta	jatkuva	dwg	N43	Tuusulan Vesi	Aineisto muunnetaan
Kaivokortit	jatkuva	pdf	N43	Tuusulan Vesi	Tiedostoihin lisätään merkintä järjestelmästä
N43-kiintopisteet	pysyvä	dgf+pdf	N43	Karttapalvelut	Ei toimenpiteitä
Pohjakartta: rakennukset	jatkuva	dgn	N43, osittain 2D	Karttapalvelut	0-kohteet säilyvät, muut muunnettava
Pohjakartta: pohjakuviot	jatkuva	dgn	N43, osittain 2D	Karttapalvelut	0-kohteet säilyvät, muut muunnettava
Pohjakartta: korkeus	jatkuva	dgn	N43	Karttapalvelut	Aineisto uusittava kokonaan
Suunnitelmat	pysyvä	dwg	N43	Kunnallistekniikka	Muunnetaan tarvittaessa

Kunkin aineiston ylläpidosta vastaava yksikkö pohti tahollaan, mitä toimenpiteitä aineistot vaativat korkeusjärjestelmävaihdoksen yhteydessä ja otti vastuun niiden toteutumisesta sovituksessa aikataulussa. Suurin osa aineistoista oli karttapalveluiden ylläpitämiä, mutta kaikkein kriittisimpiä korkeustiedon suhteen olivat kunnallistekniikan suunnitelma-aineistot ja Tuusulan Veden johtokartta.

2.1.3 Tietojärjestelmät

Projektin alussa tiedostettiin, että myös N43-järjestelmässä olevaa aineistoa tulitaisiin käsittelemään vielä kauan. Tämän vuoksi katsottiin, että muunnostyökalujen ja osaamisen tulisi olla hallussa kunnan korkeustietoa sisältävien aineistojen ylläpitäjillä ja käyttäjillä.

Tuusulan kunnassa korkeustietoa sisältävien aineistojen ylläpitojärjestelmät ovat *Bentleyn MicroStation StellaMap* ja *Vianovan NovaPoint*. Korkeusmuunnostyökalut päätettiin hankkia näihin sovelluksiin. Lisäksi muuntamistyökalu laadittiin *Safe Softwaren FME*-ohjelmistoon, jotta myös muissa kuin DGN- ja DWG-formaateissa olevien aineistojen muuntaminen olisi mahdollista. Myös maastomittauslaitteiston vaatimat muutokset selvitettiin alustavasti tässä vaiheessa.

2.1.4 Aikatauluarvio

Aikatauluarvio laadittiin esiselvitysvaiheessa lähinnä tasokoordinaatistomuutoksen kokemusten pohjalta. Aikatauluarviossa liikuttiin vuositasolla, joten se oli hyvin suuntaantava. Suurimpina riskeinä projektin aikataulun toteutumismahdollisuuksille mainittiin yksiköiden sitoutuminen, työnjako ja budjetointi.

Aikataulussa arvioitiin, että esivalmistelu ja alustava järjestelmien välisen vakiokorjauksen määrittäminen olemassa olevista korkeuspisteistä suoritetaan vuonna 2014. Vuonna 2015 tulitaisiin laatimaan projektisuunnitelma, suorittamaan mahdollinen vaaitusprojekti sekä hankkimaan ja muuntamaan tarvittavat aineistot. Käyttöönottopäivämääräksi esitettiin 1.1.2016.

2.1.5 Projektin kustannusarvio esiselvityksessä

Projektin kustannusarvio tehtiin yhdistämällä omia kokemuksia tasokoordinaatiston uudistusprojektista ja pohjakartta-aineiston hankinnasta sekä hankkimalla vertailutietoa muissa kunnissa suoritetuista korkeusjärjestelmäuudistuksista. Vertailukuntia olivat muun muassa Lahti, Kirkkonummi, Hyvinkää, Kouvola ja Kerava. Vertailu tehtiin kuntien pinta-alojen perusteella.

Esimerkiksi Keravan kaupungin kokonaisbudjetti korkeusjärjestelmäuudistuksessa oli noin 50 000 € ja Tuusulan pinta-ala Keravaan verrattuna oli 7,25-kertainen. Lahden kokonaisbudjetti taas oli 130 000 € ja Tuusula oli siihen verrattuna alaltaan kaksikertainen.

Arviointi oli haastavaa, sillä kokemukset järjestelmätoimittajien ja konsulttien tekemästä työstä ja tarjouksista olivat vaihtelevia. Myös Tuusulan suuri pinta-ala ja pohjakartan laaja alueellinen kattavuus verrattuna muihin kuntiin vaikeutti lopullisen hinnan muodostamista. Markkinatilannetta ja palveluiden hintatason muutoksia ei voitu ottaa huomioon vertailussa.

Kustannusarvioksi saatiin 200 000-400 000 € koko projektille. Arvio koostui seuraavista osista:

- tarkkavaaitukset ja laskenta 30 000–70 000 €
- pohjakartan korkeuskäyrien tuottaminen 100 000–200 000 €
- aineistojen muuntaminen ja ohjelmistopäivitykset 30 000–40 000 €
- vesilaitos, kunnallistekniikka: järjestelmät ja aineistot 30 000–50 000 €.

2.2 Päätöksenteko

Kuntakehityksen ja teknisen toimen avainhenkilöt päättivät Tuusulan kunnan N2000-projektin aloittamisesta vuonna 2014. Avainhenkilöiksi valittiin henkilöt, joiden työtehtävät tai vastuualueet kunnassa liittyivät keskeisesti korkeustietoa sisältäviin aineistoihin. Mukaan kutsuttiin työntekijöitä esimerkiksi maastomittausosastolta, Keski-Uudenmaan ympäristökeskuksesta, Tuusulan Vedeltä ja kunnallistekniikan suunnittelusta.

Joissakin kunnissa päätöksen korkeusjärjestelmäuudistuksesta on tehnyt kunnanhallitus. Esimerkiksi Keravalla kaupunginhallitus teki korkeusjärjestelmän uusimisesta päätöksen, jossa mainittiin erikseen hallintokuntien vastaavan osaltaan syntyvistä kustannuksista (Örn 2014). Tällaisen menettelyn ei kuitenkaan katsottu olevan toimiva vaihtoehto Tuusulan kohdalla, vaan sen sijaan projektille päätettiin varata investointimääräraha.

Tuusulan projektin aloituskokouksessa sovittiin, että kukin yksikkö on vastuussa omista aineistoistaan ja vaadittujen toimenpiteiden hoitamisesta sovituissa aikataulussa. Projekti rahoitettiin teknisen toimen vuoden 2015 budjettiin varatulla investointimäärärahalla, jota varattiin koko projektia varten 300 000 €. Tällä pyrittiin mahdollistamaan projektin järkevä suorittaminen, sillä taloustilanteen yhä heikentyessä mahdollisuudet olisivat olleet toteutuksen kannalta aina vain huonommat.

2.3 Käyttöönottosuunnitelman laatiminen

Käyttöönottosuunnitelman laatiminen aloitettiin päätöksenteon jälkeen. Suunnitelmassa esiteltiin yksiköiden osaltaan päivittämä taulukko korkeustietoa sisältävistä aineistoista ja niiden vaatimista toimenpiteistä, eriteltiin tarkemmin tietojärjestelmien ja mittalaitteiden vaatimat muutokset ja tarkempi aikataulu. Lisäksi käyttöönottosuunnitelmassa käsiteltiin käyttöönottopäivämäärän ja siirtymäajan vaatimia toimenpiteitä, tiedottamista, jatkotoimenpiteitä ja riskienhallintaa.

Projektisuunnitelman ensimmäinen versio oli valmis tammikuussa 2015. Se toimitettiin projektin avainhenkilöille ja samalla yksiköitä ohjeistettiin laatimaan suunnitelma vaadituista hankinnoista, aineistomuunnoista ja tiedottamisesta. Lisäksi kehoitettiin pohtimaan muuttuvia käytäntöjä, kuten tietojen luovutusta ja tiedostonhallintaa.

2.4 Projektin asiakirjojen hallinta

Projektiasiakirjat tallennettiin karttapalveluiden verkkoasemalle N2000-työkansioon. Kansiorakenne suunniteltiin kuvan 4 mukaiseksi. Alikansioihin sijoitettiin kaikki kutakin työvaihetta koskevat dokumentit, kuten selvitykset, muistiot, sähköpostiviestit, taulukot, ohjeet ja raportit.

Nimi	Muokkauspäiväm...	Tyyppi
1 Esiselvitys	15.6.2015 12:20	Tiedostokansio
2 Taustatietoa	10.6.2015 14:02	Tiedostokansio
3 Käyttöönottosuunnitelma	15.6.2015 12:26	Tiedostokansio
4 Korkeuskiintopisteverkon suunnittelu	7.1.2015 12:28	Tiedostokansio
5 Vaaitukset ja tasoituslaskenta	26.5.2015 15:50	Tiedostokansio
6 N2000-korkeuskiintopisteet	15.6.2015 12:29	Tiedostokansio
7 Korkeuskäyrät	15.6.2015 12:33	Tiedostokansio
8 Testaaminen	15.6.2015 12:30	Tiedostokansio
9 Muuntaminen	30.4.2015 10:53	Tiedostokansio
10 Tiedottaminen ja ohjeistus	5.5.2015 9:58	Tiedostokansio
11 Toteutuneet kustannukset	30.4.2015 10:43	Tiedostokansio

Kuva 4. Projektinhallintaa: N2000-työkansion kansiorakenne verkkolevyllä.

Keväällä 2015 Tuusulan kunta otti käyttöön uuden SharePoint-pohjaisen Intranetin (Kaiku). N2000-projektille perustettiin Kaikuun oma työtila, jonne olemassa olevat ja jatkossa tuotetut dokumentit siirrettiin nähtäväksi. Työtila oli kaikille avoin, mutta käyttäjiksi kutsuttiin erikseen aloituspalaverissa mukana olleet avainhenkilöt.

2.5 Projektin aikataulun suunnittelu

Projektin keskeisten toimenpiteiden osalta laadittiin aikataulu, jota hiottiin siten, että suunniteltu käyttöönottopäivämäärä 1.1.2016 oli mahdollista saavuttaa. Tiedottamiselle tehtiin oma osuutensa käyttöönottosuunnitelman aikatauluun. Aikataulua muokattiin projektin edetessä tarpeen mukaan (kuva 5).

Toimenpide	2014				2015								2016		
	Maalis	Heinä	Syys	Loka	Joulu	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Syys	Loka	Marras	Joulu	Tammi
Esiselvitys															
Päätös käyttöönotosta															
Projektisuunnitelma															
FIN2005-geoidimallin testaus															
Korkeuspisteiden inventointi															
Mittaussuunnitelman laadinta															
Tarjouspyynnöt															
Korkeuskäyrien hankinta															
Vaaitusprojekti															
Parametrien määrittäminen ja tarkastus															
Muunnostyökalujen hankinta															
Muuntojen testaus															
Aineistojen muuntaminen															
Käyttöönotto															
Tiedottaminen															
Sisäinen															
Yhteistyökumppanit															
Julkinen															

Kuva 5. N2000-projektin aikataulu.

Aikataulun toteutumiseksi suurimpana uhkana nähtiin tässä vaiheessa se, saataisiinko vaaitusprojekti ja siirtokorjauksen määrittäminen tehtyä ajoissa muunnostyökalujen hankintaa ja aineistomuuntoja varten.

2.6 Tarjouspyyntöjen laatiminen

Laki julkisista hankinnoista (348/2007) säätelee valtion ja kuntien viranomaisten sekä muiden hankintayksiköiden hankintoja. Sen tarkoituksena on tehostaa julkisten varojen käyttöä ja varmistaa hankintojen laatu sekä avoimuus. Lisäksi se turvaa yritysten tasapuolisia mahdollisuuksia osallistua tarjouskilpailuihin julkisissa hankinnoissa. Hankintalaissa määritellään myös kansalliset- ja EU-kynnysarvot tavara- ja palveluhankintoihin ja niiden kilpailuttamismenettelyyn.

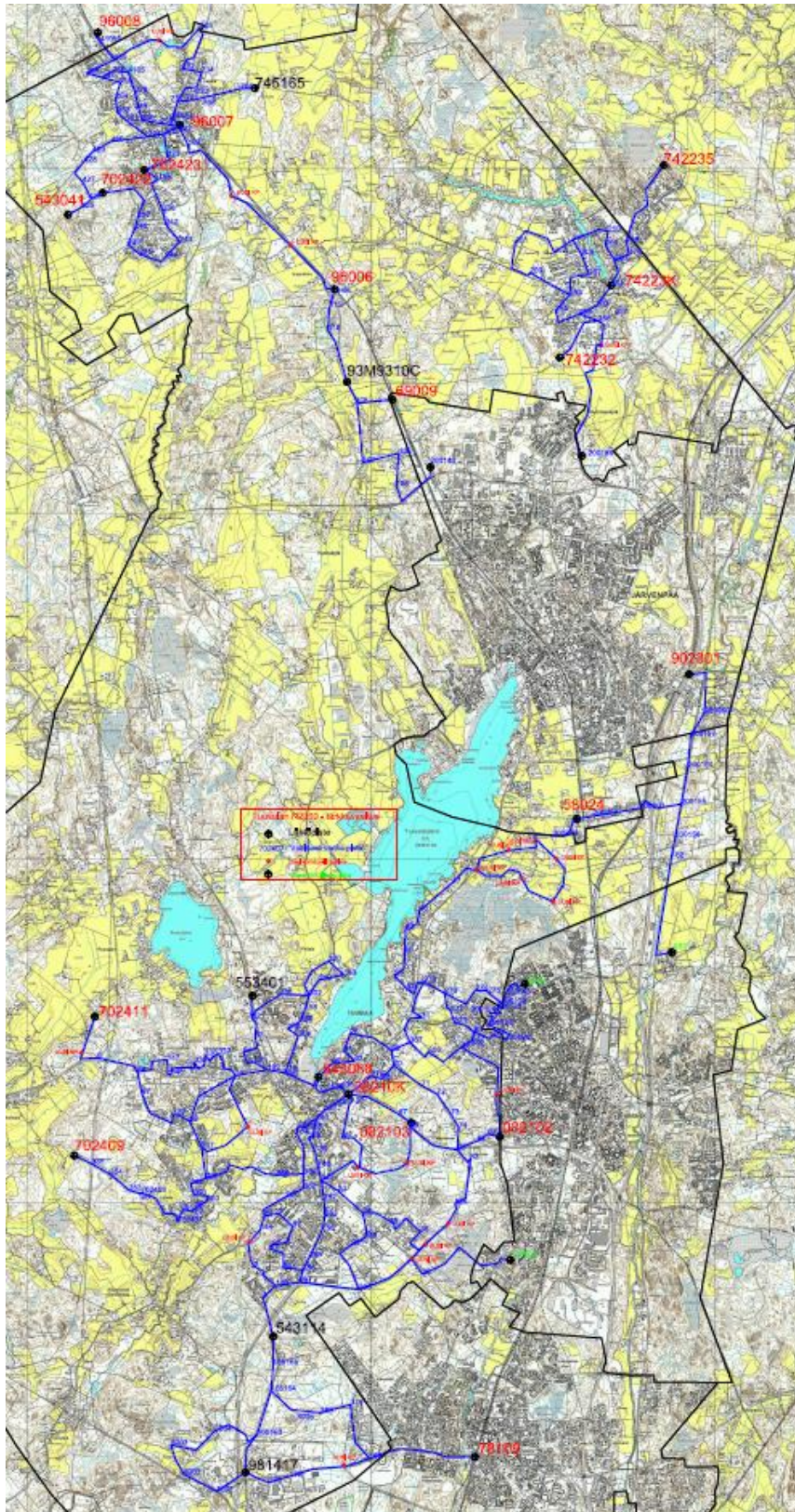
Tarjouspyyntöjen laatiminen vaatii osaamista niin ostettavien palveluiden tai tuotteiden, kuin hankintalainsäädännönkin suhteen. Tuusulan kunta on aikaisemmin käyttänyt konsulttipalveluita muun muassa pohjakartan laatimisessa ja uuden tasokiintopisteverkon mittaamisessa. Näiden kokemusten ja naapurikunnilta saatujen vinkkien perusteella laadittiin vuoden 2014 lopussa tarjouspyynnöt vaaitusprojektin ja korkeuskäyräaineiston hankintaa varten.

3 Vaaitusprojekti ja siirtokorjauksen määrittäminen

3.1 Mittaussuunnitelma

Tuusulan kunnan N2000-korkeuskiintopisteverkon tarkkavaaitusten mittaussuunnitelman laati SITO Oy:n Kyösti Laamanen. Suunnitelmassa määriteltiin vaaitusten tavoite, lähtötilanne, uuden pisteverkon rakenne ja työohjelma, verkon liittäminen valtakunnallisiin ja naapurikuntien korkeuspisteverkkoihin, tasoituslaskennan periaatteet sekä tarkkuusvaatimukset. (Laamanen 2015.)

Vaaitusverkko suunniteltiin muodostumaan sulkeutuvista, toisiinsa solmupisteissä yhdistyvistä silmukoista. Molemmissa korkeusjärjestelmissä tunnettuja lähtöpisteitä oli suunnitelmassa yhteensä 23 kappaletta, vanhoja N43-korkeuspisteitä noin 220 ja rakennettavia uusia pisteitä 18 (kuva 6). Vaaitusjonojen yhteismitaksi muodostui 150 km. Korkeuskiintopisteverkko haluttiin saada mahdollisimman tiheäksi ja käyttökelpoiseksi etenkin suunnitelluilla uusilla asemakaava-alueilla. Tuusulan kunnan kolmeen taajamaan (Jokela, Kellokoski, Hyrylä) suunniteltiin kaikkiin kohtuullisen kattava korkeuspisteistö. (Laamanen 2015.)



Kuva 6. Tuusulan N2000-verkkojärjestelmän yleissilmäyskartta (Laamanen 2015).

3.2 Korkeuspisteiden inventointi

Lähtöpisteet oli inventoitava ennen mittaussuunnitelman laadintaa, jotta käyttökelvottomat pisteet voitiin jättää pois verkkosuunnitelmasta. Pisteitä inventoitiin yhteensä 27 kappaletta. Inventoiduista pisteistä laadittiin dokumentit, joista kävi ilmi pisteiden tasokoordinaatit, rakenne, kunto ja katveisuus. Lisäksi pisteet valokuvattiin kahdelta eri etäisyydeltä.

Pisteinventoinnissa käytettiin apuna Maanmittauslaitoksen pisteselityskortteja. Pisteiden löytyminen pelkästään korttien avulla olisi ollut kuitenkin vaikeaa, sillä tasokoordinaateissa esiintyi jopa 50 metrin virheitä. Monet pisteistä löytyivät onneksi kunnan pisterekisteristä, jossa niiden koordinaatit olivat tarkkoja. Inventointi vaati noin kahden viikon työpanoksen kahdelta kartoittajalta. Inventoinnissa pisteet merkittiin paaluilla, nauhoilla ja maalimerkeillä. Lisäksi mitattiin niiden likimääräiset tasokoordinaatit ja korkeus.

Mittaussuunnitelman valmistuttua inventoitiin ja näkyvöitettiin myös kaikki suunniteltujen vaaitusjonojen sisältämät, olemassa olevat korkeuspisteet. Inventoinnissa havaittiin monien pisteiden tuhoutuneen, jolloin tilalle valittiin läheltä sopiva piste tai rakennettiin kokonaan uusi. Inventointiin kului yhdeltä maastoryhmältä noin kolme viikkoa. Pisteiden löytäminen aiheutti vaaitusten aikana haasteita mittajille niiden merkitsemisestä huolimatta.

3.3 Vaaitukset

Tuusulan kunnan N2000-tarkkavaaitushankkeen tavoitteena oli saada kuntaan uusi N2000-korkeuskiintopisteverkko, joka on SITO Oy:n laatiman mittaussuunnitelman mukainen ja täyttää myös JHS-suositusten vaatimukset (luku 4.2.2 Uudet korkeuskiintopisteet). Tarkkavaaituksista vastasi Destia Oy. Hanke jaettiin etelä- ja pohjoisverkkoon, jotka tasoitettiin erikseen. Eteläinen verkko (Hyrylän keskus – Maantiekylä) sisälsi 15 lähtöpistettä ja 160 uutta korkeuspistettä; pohjoinen verkko (Jokela–Kellokoski–Nuppulinna) sisälsi 12 lähtöpistettä ja 49 uutta korkeuspistettä. Tuusulaan mitattiin siis yhteensä 209 uutta korkeuskiintopistettä. (Hakala 2015a.)

Vaaituksissa käytettiin Leica DNA03 -digivaaituskojetta ja asianmukaisia, invarteräksestä valmistettuja lattoja. Valmistajan ilmoittama, edestakaisen vaaituksen kilometrikeskivirhe oli kalustolle $\pm 0,3 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$. Kokemuksen perusteella kalustolla arvioitiin saavutettavan noin $\pm 1,0\text{--}1,2 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$:n vaaitustarkkuus. Verkon tasoituslaskentaa tehtiin osissa vaaitusten edistyessä, jotta karkeat virheet havaittaisiin heti ja uusintavaaitukset voitaisiin suorittaa tarvittaessa. Eteläverkossa kaksi jonoa piti vaaita uudelleen ja pohjoisverkossa yksi. Etelässä tasoitettavia korkeushavaintoja kertyi 210 kappaletta, pohjoisessa 77. (Hakala 2015a.)

Vaaitusprojekti aloitettiin kokouksella 6.5.2015, testivaaitus suoritettiin 7.5.2015 ja vaaitustyöt valmistuivat aikavälillä 21.5.–25.8.2015. Vaaituskoje kalibroitiin maastossa kerran kuukaudessa mittauksen ajan. Konsultti toimitti materiaalit Tuusulan kuntaan 16.10.2015. Materiaali sisälsi tiedot vaaituslaitteiden kalibroinneista, tasoituslaskennan raportin, tasoitetut pistekorkeudet, vaaitusten alkuperäiset havaintotiedostot ja loppuraportin.

3.4 Tasoituslaskenta

Tasoituslaskennassa tuntemattomat korkeudet lasketaan kaikkien tehtyjen vaaitushavaintojen perusteella. Vaaituksissa tehdään yleensä useita eri havaintoja samasta korkeuspisteestä (redundanssi eli ylimääritys). Kun kaikkia havaintoja hyödynnetään korkeuksien määrittämisessä, päästään luotettavampaan lopputulokseen ja saadaan lisäksi tietoa mittauksen onnistumisesta. Tasoituslaskenta perustuu yleensä pienimmän neliösumman menetelmään, jonka tuloksena saadaan tasoitettujen korkeuksien lisäksi mitausten tarkkuudesta kertovat jäännösvirheet. (Laurila 2012: 75–76.)

Tuusulan N2000-korkeuskiintopisteverkon tasoituslaskennan suoritti Geopixel Oy:n Jukka Hakala. Verkkotasointu voidaan tehdä kiinteillä tai painotetuilla lähtöpisteillä sekä vapaana verkkona. Tuusulan verkon tasoituslaskennassa on käytetty painotettuja lähtöpisteitä, eli niitä on käytetty koordinaattihavaintoina. Tämä tarkoittaa sitä, että lähtöpisteiden arvojen on annettu tasoituslaskennassa muuttua. Menetelmän kautta on voitu arvioida virheitä lähtöpisteiden korkeuksissa ja myös paikallistaa karkeita virheitä. Vapaassa verkkotasointuksessa lähtöpisteitä ei käytetä lainkaan, jolloin voidaan arvioida verkon sisäistä laatua. (Hakala 2015a.)

3.4.1 Jäännösvirhe ja suhteellinen tarkkuus

Vaaitusten onnistumisesta kertovat pisteverkon virheiden tunnusluvut, joita ovat tasoituksessa saatavien pistekorkeuksien jäännösvirheet ja verkon suhteellinen tarkkuus. Sekä etelä- että pohjoisverkossa pisteiden jäännösvirheet mahtuivat hyvin niille annetun vaihteluvälin ($\pm 2,5$ mm) sisälle. Eteläverkossa yhden pisteen jäännösvirhe oli 4,29 mm, minkä perusteella voitiin päätellä sen olevan laadultaan muita hieman huonompi.

Jäännösvirhe määritellään havaitun ja tasoitetun pistekorkeuden erotuksena, eli seuraavan kaavan mukaisesti:

$$v_i = \ell_i - \hat{x},$$

jossa v_i on jäännösvirhe, ℓ_i on havaintoarvo ja \hat{x} on suureen laskettu arvo. Jäännösvirheen avulla voidaan edelleen määrittää havainnon paino, eli arvioida sen arvoa lopullisissa tuloksissa. Pienimmän neliösumman menetelmällä hyvistä havainnoista saadaan niiden oikealla painotuksella tarkimmat lopputulokset. (Laurila 2012: 75–76.)

Korkeuspisteverkon suhteellinen tarkkuus perustuu suljettuihin, eli samasta sulkupisteestä aloitettuihin ja lopetettuihin vaaitusjonoihin. Jonon korkeussulkuvirhe saadaan sulkupisteen havaitun ja tunnetun korkeuden erotuksella. Sulkuvirheen ohjearvot on määritetty suhteellisen tarkkuuden arvoille. Suhteellinen tarkkuus lasketaan jakamalla arvioitu virhe pistevälin pituudella, jolloin tuloksena saatava arvo kertoo, kuinka monta miljoonasosaa matkasta arvioitu virhe on (ppm). Sulkuvirhettä vastaava suhteellinen tarkkuus lasketaan kaavalla:

$$r = \frac{w_h}{L},$$

jossa r on suhteellinen tarkkuus, w_h on korkeussulkuvirhe ja L vaaitusjonon pituus. (Laurila 2012: 225.)

3.4.2 Tuusulan verkon tarkkuus

Tuusulan eteläinen ja pohjoinen verkko tasoitettiin käyttäen painotuksessa sulkuvirheistä arvioitua kilometrikeskivirhettä $\pm 1,1$ mm/ $\sqrt{\text{km}}$. Uusien tasoitettujen korkeuspisteiden pistetarkkuus oli keskimäärin $\pm 1,5$ mm.

Kumpikin verkoista täytti kaikilta osiltaan JHS 185:n suhteellisen tarkkuuden vaatimuksen ≤ 5 ppm (luku 4.2.2 Uudet korkeuskiintopisteet). Eteläverkon suhteellinen tarkkuus oli parhaimmillaan 0,5 ppm, huonoimmillaan 5,0 ppm ja keskimäärin 1,9 ppm. Pohjoisverkon tasoituksessa vastaavat luvut olivat 0,7 ppm, 3,9 ppm ja 1,9 ppm. (Hakala 2015a.)

3.5 Korkeusmuunnoksen laskenta

Tuusulan kunnan alueelle määritettiin N43-korkeuksien muuntamista varten siirtokorjaus, eli järjestelmien välinen ero. Siirtokorjaus laskettiin sovittamalla aineistoon järjestelmien korkeuseroa mahdollisimman hyvin kuvaava pienimmän neliösumman muunnosmalli. Yleensä korkeusmuunnoksissa sopiva malli on 1. asteen polynomipinta, jonka parametrit ovat korkeuden vakiosiirto ja kallistukset vaaka-akseleiden ympäri tai vaakasuora 1-parametrinen pinta. Mallinnuksen jäännösvirheiden avulla lasketaan mallin sovituksen keskivirhe m_0 , joka kuvaa mallin tarkkuutta. Tuusulan tapauksessa kallistetun mallin tarkkuus ei osoittautunut juurikaan paremmaksi ($m_0 \pm 7,4$ mm) kuin vaakasuoran tason käyttö ($m_0 \pm 7,9$ mm), minkä vuoksi päädyttiin käyttämään yksinkertaisia siirtokorjauksia. (Hakala 2015b.)

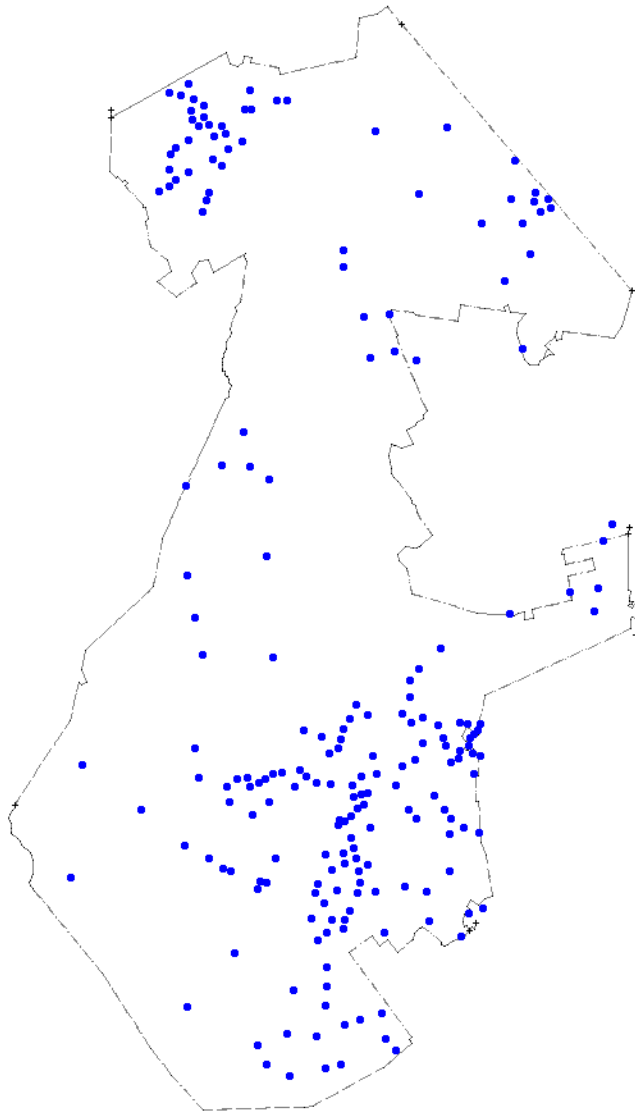
Tuusulaan saatiin kaksi vaihtoehtoista tapaa muuntaa N43-korkeuksia N2000-korkeudeksi:

1. siirtokorjaus koko Tuusulan alueella $+0,320$ m; $m_0 \pm 7,9$ mm
2. kaksi erillistä siirtokorjausta
 - a. Jokelan alueella $+0,329$ m; $m_0 \pm 6,0$ mm
 - b. Tuusula pl. Jokela $+0,318$ m; $m_0 \pm 7,1$ mm.

Laskennan lähtöaineistona käytettiin 176:ta kesällä 2015 vaaittua ja 31:tä valtakunnallista korkeuspistettä, joilla kaikilla tunnettiin N43- ja N2000-korkeudet. Pisteistä 135 sijaitti Etelä-Tuusulassa ja 51 pohjoisessa Kellokosken ja Jokelan alueilla (kuva 7). Pisteistä 12 hylättiin joukkoon sopimattomina ja karkeasti virheellisinä raja-arvon ollessa

$>2,5 \cdot m_0$, eli tässä tapauksessa pisteet, joiden jäännösvirhe oli $>\pm 20$ mm. (Hakala 2015b.)

Tuloksena saatuja, vaihtoehtoisia siirtokorjauksia käytetään harkinnan mukaan. Koko kunnan siirtokorjauksen tarkkuus riittää hyvin monien paikkatietoaineistojen muuntamiseen N2000-järjestelmään siirryttäessä. (Hakala 2015b.)



Kuva 7. Tuusulan siirtokorjauksen määrittämisessä käytetyt pisteet (Hakala 2015b).

3.6 Arviointi ja laadunhallinta

Vaaitusprojektin toteuttaminen oli tärkeä osa korkeusjärjestelmä uudistusta, sillä se loi perustan uudelle korkeusjärjestelmälle ja vanhojen aineistojen muuntamiselle. Se oli myös monivaiheinen ja aikataulultaan riskialtis osuus projektista. Useiden eri vaiheiden yhteen sovittaminen ja aikataulussa pysyminen onnistuivat kuitenkin lopulta erittäin hyvin. Lopputuloksen voidaan sanoa olevan laadultaan moitteeton. Ulkopuolinen asiantuntijatyö oli vaaitusprojektissa merkittävässä osassa, sillä tällaisia projekteja suoritetaan hyvin harvoin. Työssä mukana olleet asiantuntijat olivat kokeneita osaajia, mikä vaikuttaa varmasti projektin lopputuloksen luotettavuuteen.

Vaaitusprojektissa ei kohdattu suuria takaiskuja, vaan pikemminkin positiivisia yllätyksiä. Vanha runkoverkko olikin laadultaan yllättävän tasainen koko kunnassa. Pisteinventoinnit vaativat suuren määrän kunnan maastohenkilöstön työtä, mutta ne saatiin suoritettua erinomaisesti nopealla aikataululla. Vaikka oikeiden korkeuspisteiden löytäminen aiheuttikin vaaitsijoille ongelmia, saatiin vaaitusprojekti saatettua loppuun hyvin ja ilmeisen tarkoin lopputuloksin.

Uusi korkeuskiintopisteverkko täyttää suhteelliselta tarkkuudeltaan sille asetetut vaatimukset. Vaaituksissa jouduttiin työn laajuuden vuoksi käyttämään lähtöpisteinä valtakunnallisia lähtöpisteitä pisteluokista I—III. Tämän vuoksi uudet korkeuspisteet sijoittuvat luokkaan IV. Myös lähtöpisteiden suosituksista rakenteellisten ominaisuuksien suhteen on jouduttu tinkimään. Kalliopisteet ovat yleensä kaikkein stabiileimpia ja näin ollen luotettavimpia. Niiden riittävyys lähtöpisteissä ei kuitenkaan ollut tarpeeksi suuri, joten mukana on myös esimerkiksi maakiviin ja rakennusten perustuksiin rakennettuja korkeuspisteitä. Mittaus suunnitelmassa (Laamanen 2015) kehoitettiin huomioimaan edelliset tekijät tarkastelemalla erityisen huolellisesti lähtöpisteiden mahdollisia virheitä, mikä toteutettiin muun muassa suorittamalla tasoituslaskenta painotetuilla lähtöpisteillä.

Vaaittavan verkon pisteiden tulee hyvän mittausperiaatteen mukaan jäädä ulommaisten lähtöpisteiden muodostaman monikulmion sisälle, minkä ansiosta virheiden kasaantuminen verkossa tapahtuu optimaalisesti (Hakala 2015a). Tämä toteutui Tuusulan vaaitusverkossa. Pisteverkko muodostui vaaituista silmukoista, minkä ansiosta pisteverkosta tuli tasalaatuinen.

4 N2000-järjestelmän käyttöönotto

N2000-järjestelmän käyttöönottopäivämäärä sovittiin jo varhaisessa vaiheessa. Tarkan päivämäärän sopiminen heti aluksi oli tärkeää, sillä sen myötä eri yksiköt pystyivät suunnittelemaan tarvittavat toimenpiteet ja niiden aikataulun. Aikataulussa pysyttiin suunnitellusti koko projektin ajan.

Tiedottaminen vaati suunnitelmallisuutta, sillä sen osuus projektin onnistumisessa oli merkittävä. Korkeusjärjestelmien ero on niin pieni, että järjestelmää ei voi erottaa pelkän korkeuslukeman perusteella. Tämä lisää riskiä väärinkäsityksistä ja virheistä huomattavasti, mikäli järjestelmää ei tiedosteta aineistoja käsiteltäessä. Lisäksi ennakoitiin muutoksen vaikutuksia yksiköiden toimintaan. Tällaisia muutoksia olivat hankitut ja muunnetut aineistot, asiakirjoihin tarvittavat merkinnät, tiedostonhallinta ja kustannukset.

4.1 Tiedottaminen

Tiedottaminen jakaantui kohderyhmien mukaisesti sisäiseen, ulkoiseen ja yhteistyökumppaneille tapahtuvaan tiedottamiseen. Sisäinen tiedottaminen käsitti avainhenkilöiden lisäksi tiedottamisen kaikille kunnan työntekijöille.

Avainhenkilöille tiedotettiin sähköpostitse projektin vaiheista aina tarvittaessa. Ensimmäinen virallinen tiedote lähetettiin tammikuussa 2015 kunnan työntekijöiden kuukausittaisessa tiedotelehtisessä. Tammikuussa liitettiin tiedote muutoksesta myös yhteistyökumppaneille vuosittain tapahtuvien aineistotoimitusten oheen.

Tiedottaminen helpottui uuden intranetin myötä. Intranetin N2000-työtilassa projektin etenemistä pystyi seuraamaan aikajanan avulla. Työtilassa jaettiin myös projektissa tuotetut dokumentit ja keskustelukenttään lisättiin lyhyt ilmoitus eri vaiheista projektin edetessä.

Korkeusjärjestelmän vaihtumisesta tiedotettiin rakennusvalvonnan asiakkaille syksystä 2015 lähtien liittämällä rakennusluvan hakijoiden papereihin erillinen tiedote, sekä kiinnittämällä asiakaspalvelupisteen läheisyyteen aihetta käsitteleviä ilmoituksia. Myös joulukuussa 2015, juuri ennen käyttöönottoa, tiedotettiin sisäisesti intranetin välityksellä ja

ulkoisesti virallisella lehti-ilmoituksella. Kunnan www-sivuille lisättiin tietoa korkeusjärjestelmistä.

4.2 Vaikutukset toimintaympäristöön

Korkeusjärjestelmän vaihtuminen vaikuttaa kunnan toimintaympäristöön myös tulevaisuudessa. Vanhassa korkeusjärjestelmässä olevaan tietoon tullaan törmäämään vielä kauan, kun käsitellään vanhoja asiakirjoja ja aineistoja sekä suoritetaan mittauksia. Henkilöstöä ohjeistetaan mainitsemaan kunnan viralliset tasokoordinaatti- ja korkeusjärjestelmät aina, kun paikkatietoaineistoja luovutetaan tai vastaanotetaan, myös kunnan sisäisissä aineistoluovutuksissa.

4.2.1 Pohjakartan N2000-korkeuskäyrät

Vaatimukset korkeuskäyrille

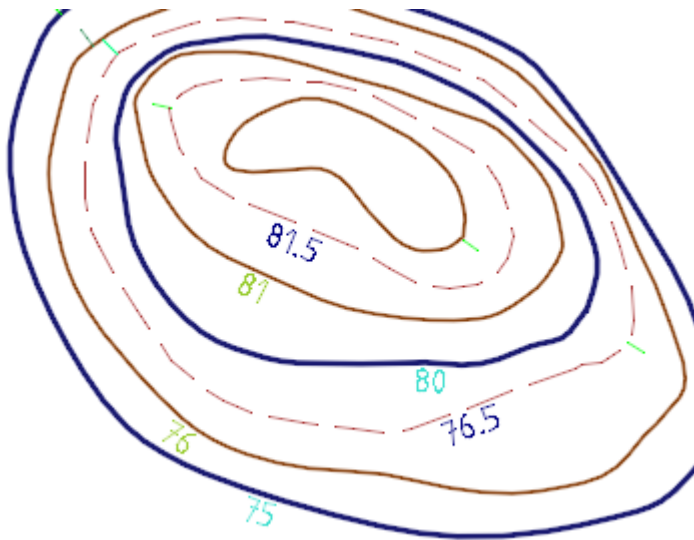
Asemakaavan pohjakartasta ja kaavoitusmittauksista säädetään Maankäyttö- ja rakennuslaissa ja -asetuksessa. Lain ja asetuksen toteutumista ohjaa Julkisen tietohallinnon neuvottelukunnan suositus 185. Asemakaavan tulee lain mukaan perustua kaavan pohjakarttaan, jonka sisällön, ulkoasun, laadun ja ajantasaisuuden tulee täyttää sille asetetut vaatimukset.

Kaavan pohjakartan kohteille ei merkitä tavallisesti näkyviin korkeustietoja. Korkeussuhteita kuvataan korkeuskäyrien ja -lukujen perusteella siten, että ne kuvaavat maaston muotoa painetulla kartalla (kuva 8). Korkeuskäyrät kuvaavat maanpinnan korkeutta ja maaston muotoja. Ne ovat tiettyä korkeutta kuvaavia samanarvokäyriä, jotka on tuotettu kartografisesti oikeanlaisiksi. Rinneviivat osoittavat maaston viettosuunnan.

JHS 185-suosituksen 3. liitteessä määritellään pohjakartan kohteet. Pohjakartan kohteet jaetaan teemoihin ja edelleen kohdeluokkiin ja -tyyppeihin. Korkeuskäyrät kuuluvat pohjakartan Maanpinta-teeman Maanpinnan korkeus -kohdeluokkaan. Kohdeluokan kohdetyppejä ovat korkeuskäyrien lisäksi maanpinnan korkeusluvut ja rinneviivat. Korkeuskäyrätyyppejä ovat johtokäyrä, välikäyrä ja apukäyrä.

Suosituksessa määritellään vaatimukset pohjakartan korkeuskäyrille. Esitettävät samanarvokäyrät valitaan riippuen pohjakartan mittausluokasta: 1. ja 2. mittausluokassa käytetään yhden metrin käyräväliä ja 3. mittausluokassa kahden metrin käyräväliä. Tuusulan kunnan pohjakarttaa ylläpidetään 1. mittausluokassa, joten sillä käyrät esitetään seuraavasti:

- johtokäyrä: 5, 10, 15 ... metrin käyrät
- välikäyrä: 1, 2, 3, 4 ... metrin käyrät
- apukäyrä: tarvittaessa puolen metrin välein välikäyrien välin.



Kuva 8. Tuusulan kunnan kaavan pohjakartan korkeuskäyriä.

Korkeuskäyrät tulee katkaista ja poistaa tiettyjen pohjakartan kohteiden alta. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi rakennukset, ojat, tiet ja jyrkänteet. Myöskään laajojen, tasaisien kenttien ja piha-alueiden kohdilla ei saa olla korkeuskäyriä. Korkeuskäyrille sijoitetaan korkeuslukuja siten, että käyrän korkeusarvo on helppo todeta kartalta. Luvun suunta on rinteiden noususuuntaan nähden oikein päin. Johtokäyrät esitetään leveällä viivalla (0,4 mm), välikäyrät kapealla viivalla (0,2 mm) ja apukäyrät kapealla katkoviivalla (0,2 mm; 2+2 mm). Korkeuskäyrien väri pohjakartalla on ruskea. (JHS 185 2014, liite 3: 24–25.)

Pohjakartan kohteiden kartoituksen laatuvaatimuksia käsitellään JHS 185:n liitteessä 4. Käyräaineiston laatua arvioidaan AQL-luvun avulla. AQL-luvulla tarkoitetaan sallittujen

virheiden, puutteiden tai poikkeamien määrää 100 yksikköä kohden aineistossa. Korkeuskäyriltä vaaditaan kaikissa mittausluokissa täydellisyyttä AQL-luvulla 2. Lisäksi johdokäyriltä vaaditaan temaattista tarkkuutta AQL-luvulla 2 kaikissa mittausluokissa. Täydellisyydellä tarkoitetaan kohteiden tai niiden ominaisuuksien puuttumista ja temaattisella tarkkuudella kohteiden luokittelun oikeellisuutta verrattuna todellisuuteen. Korkeuskäyrällä olevan pisteen tai numeerisesta korkeusmallista interpoloidun pisteen tulee täyttää seuraavat vaatimukset:

- mittausluokka 1: $\leq 0,12$ m
- mittausluokka 2: $\leq 0,20$ m
- mittausluokka 3: $\leq 0,40$ m.

Rikkonaisessa maastossa epätarkkuus saa olla kaksinkertainen. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta tuotettujen korkeuskäyrien tarkkuus on tämän perusteella riittävä mittausluokassa 2. (JHS 185 2014, liite 4: 18.)

Korkeuskäyrien luominen Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta

Ilmalaserkeilaus on nykyisin yleisesti hyödynnetty tekniikka korkeusaineiston hankinnassa laajoille alueille. Menetelmä on vielä hintava etenkin mobilisointikustannuksien vuoksi ja aineiston jatkokäsittely vaatii erityisosaamista. Tämän takia menetelmää kannattaa hyödyntää vasta laajemmissa projekteissa. Useiden kuntien aikaisemmin tehdyissä korkeusjärjestelmämuutoksissa uusien pohjakartan korkeuskäyrien tuottamiseen oli hyödynnetty Maanmittauslaitoksen ilmaista pistepilviaineistoa. Tämän tavan todettiin olevan riittävän tarkka myös Tuusulassa. Tuusulassa pohjakartta kattaa koko kunnan, josta suuri osa on maaseutumaista aluetta.

Maanmittauslaitoksen avoimeen dataan kuuluva, tuorein laserkeilausaineisto oli projektin toteuttamishetkellä Tuusulan alueella peräisin ilmalaserkeilauksesta vuodelta 2008. Tuusulan kunnan alue on keilattu Maanmittauslaitoksen ja Suomen metsäkeskuksen yhteistyönä myös kesällä 2015, mutta keilauksen aineisto ei olisi ehtinyt valmiiksi ajoissa N2000-käyrien tarpeeseen nähden.

Maanmittauslaitos suosittelee laserkeilausaineistoaan muun muassa maastomalleihin, korkeuskäyriin, kaavoituksen tarpeisiin ja metsien inventointiin. Pistepilvi on automaattisesti maanpintaluokiteltua pisteaineistoa. Pistetiheys on vähintään 0,5 pistettä/m² ja sen korkeustarkkuuden keskivirhe, eli satunnaisten virheiden keskimääräinen suuruus, on enintään 15 cm. Tasotarkkuuden keskivirhe on enintään 60 cm yksiselitteisillä kohteilla. Keilauslento on tehty 2000 m:n korkeudessa avauskulmalla $\pm 20^\circ$. Laserpulssin koko (jalanjälki) maastossa on noin 50 cm. Jokaisesta pulssista on tallennettuna vähintään pisteen luokka, lentojonon numero, lähtöpulssin aikaleima, koordinaatit ja korkeus, intensiteetti-arvo sekä pulssin numero. (Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston tuotekuvaus 2015.)

Ennen korkeuskäyrien tuottamista Maanmittauslaitoksen pistepilville oli suoritettava konversio ETRS-TM35-koordinaatistosta Tuusulan käyttämään ETRS-GK25FIN (EPSG:3879) -koordinaatistoon. Kun pistepilvi oli luettu haluttuun sovellukseen, siitä luotiin kolmioimalla pintamalli ja edelleen maastomalli. Maastomalli esitetään korkeuskäyrien avulla. Yleensä ensimmäinen, matemaattisesti luotu versio korkeuskäyristä on turhan tarkka ja yksityiskohtainen, minkä vuoksi käyriä yleistetään pehmenysalgoritmien avulla. Korkeuskäyriä voidaan siistiä tiettyyn pisteeseen asti automatiikalla, mutta lopullinen hienosäätö on tehtävä käsin.

Tuusulan N2000-korkeuskäyräaineisto

Tuusulan korkeuskäyräaineiston tarjouspyynnössä määriteltiin tarkoin halutun lopputuotteen ominaisuudet. Pohjakarttaa ylläpidettiin MicroStation StellaMap -ohjelmistolla, jossa oli käytössä versio 08.11.07.472. Uuden korkeuskäyräaineiston tuli olla kyseisen sovelluksen version mukaista. Tarjouskilpailun voitti TerraTec Oy.

Lopputuotteen oli oltava laadultaan ja tarkkuudeltaan JHS 185:n määritelmien mukainen. Toimitus sovittiin tapahtuvaksi 3x3 km UTM-lehti- jaon mukaisina tiedostoina. Käyräaineiston lisäksi kunnalle tuli luovuttaa korkeuskäyrien generoinnissa käytetty korkeusmalli. Aineiston tuli olla tarkistettavana Tuusulan kunnassa 31.8.2015 mennessä ja kokonaisuudessaan valmis 29.10.2015 mennessä. Aineiston luovutus tapahtui myöhemmin sovituksi 22.12.2015.

Tuusulan uusi korkeuskäyräaineisto on huomattavasti tarkempaa ja tasalaatuisempaa, kuin aikaisempi aineisto. Vanha aineisto oli ajankohdaltaan, tarkkuudeltaan ja laadultaan

hyvin vaihtelevaa; aineistoa oli tuotettu stereokartoituksen avulla vuodesta 1969-lähtien. Uuden aineiston ulkoasu poikkeaa vanhasta eniten käyrien yleistämisen kohdalla – uusi aineisto on osin jopa turhankin tarkasti maan pinnan muotoja noudattelevaa.

Konsultilta saatiin työn suorittamisen aikana tarkasteltavaksi näytepala tulevasta aineistosta. Kyseisessä tarkastelussa havaittiin monia ongelmia, jotka pyydettiin korjattavaksi lopulliseen aineistoon. Vastaanotettu aineisto pilkottiin Tuusulan pohjakartan mukaiseen, luonnollisiin rajoihin (esimerkiksi isot tiet) perustuvaan tiedostojakoon. Tämän jälkeen havaittiin aineistossa olleiden korkeuspisteiden olevan vääryntyyppisiä, sillä ne muodostuivat korkeuspisteen ja erillisen korkeusluvun sijasta korkeusluvusta, jonka desimaalipilkku oli korkeuspiste. Tällaisten pisteiden ongelmana on se, että korkeuslueman sijaintia ei ole mahdollista muuttaa sopivaksi pohjakartan muihin kohteisiin nähden. Pisteiden tyyppi muutettiin StellaMapilla oikeaksi järjestelmätoimittajalta saadun makron avulla. Tämän jälkeen päästiin hienosäätämään aineistoa. Myöhemmin havaittiin myös, että aineistossa oli runsaasti kohdekoodittomia elementtejä, jotka oli muutettava StellaMap-kohteiksi ennen kuin niitä pystyi muokkaamaan.

Konsultin toimittaman korkeuskäyräaineiston lopullinen tarkistaminen ja muokkaaminen vaativat viikkojen manuaalista työtä usean henkilön voimin. Tarkastelussa käyräaineiston taustalle kiinnitettiin pohjakartan muut osat, eli rakennukset, pohjakuviot ja kiinteistörajat. Niiden perusteella korkeuspisteiden korkeusluvut siirrettiin sopivalle paikalle ja osa pisteistä poistettiin kokonaan. Lisäksi poistettiin aineistoon jääneitä, ylimääräisiä käyränpätkiä ja käyriä katkaistiin ja poistettiin muun muassa rakennusten, teiden ja pihalueiden päältä. Korkeuskäyrille sijoitettuja korkeuslukemia lisättiin, poistettiin tai käännettiin tarpeen mukaan, kuten myös rinneviivoja. Lopuksi käytiin läpi myös pohjakartan muita kohteita, joita muokattiin sopivammaksi siltä osin, kuin ne eivät sopineet uuteen käyräaineistoon.

4.2.2 Uudet korkeuskiintopisteet

Vaatimukset korkeuskiintopisteille

Kaavoitusmittausten korkeusmittaus perustuu 1. ja 2. mittaussuokissa tarkkavaaituksella mitattuihin korkeuskiintopisteisiin. JHS 185:n mukaan korkeuskiintopisteverkon on oltava niin tiheä, että rakennustyömaille voidaan tuoda niistä helposti korkeus tarvittavalla tarkkuudella. Pisteiden välinen etäisyys saa olla korkeintaan 1 km ja niiden välisen korkeuseron suhteellisen tarkkuuden on oltava parempi kuin 5 ppm. (JHS 185 2014: 8.)

Korkeuskiintopisteiden vaaitsemista ohjeistetaan JHS 185:n liitteessä 1. Paikalliset korkeuskiintopisteet on liitettävä valtakunnalliseen korkeusjärjestelmään luokkien I-III -korkeuskiintopisteiden avulla. Vaaitus on suoritettava tarkkavaaituskojeella ja invarlatalla ja sen on täytettävä seuraavat vaatimukset:

- Vaaituslinjat on suunniteltava tunnettujen pisteiden väliin tai niiden on muodostettava suljettuja silmukoita.
- Mikäli silmukoiden muodostaminen ei onnistu, on vaaituslinja vaaittava edestakaisin.
- Lähtöpisteinä on käytettävä aina vähintään kahta tunnettua pistettä.
- Tarkkavaaituksessa eteen- ja taaksetähtäyksiä pitää olla 1 m:n tarkkuudella samanmittaisia, kuitenkin enintään 60 m pitkiä (ylemmän luokan linjoissa enintään 50 m).
- Jonovaaituksessa eteen- ja taaksetähtäyksiä etäisyyksien ero ei saa olla yli 20 m, ja etäisyyden on oltava aina alle 100 m.

Vaaitusverkko tasoitetaan solmupiste- tai virheyhtälötasoituksena ja yksittäinen vaaituslinja jonotasoituksena.

Kiintopisteet tulee rakentaa tai kiinnittää ensisijaisesti kallioon, isoon maakiveen tai kiinteään rakenteeseen. Niiden tulee myös olla rakenteeltaan yksikäsitteisiä, liikkumattomia ja kestäviä. Korkeuskiintopisteellä tulee olla selvästi havaittava ylin kohta, joten pisteet ovat yleensä pyöristettyjä pultteja.

Kiintopisteistä tehdään pisteselityskortit, jotta ne ovat helposti löydettävissä ja niiden ominaisuustiedot on helposti esitettävissä. Kiintopisteet paikannetaan maastossa nykyisin usein GNSS-paikannuksen avulla ja piste-elementteihin tallennetaan paikkatieto-ohjelmissa ominaisuustietoina esimerkiksi tiedot rakenteesta, mittausajankohdasta ja pisteluokasta.

Korkeuskiintopisteiden luokittelu

Korkeuskiintopisteet luokitellaan edelleen Kaavoitusmittausohjeen 1983 -mukaisella tavalla hierarkkisesti kuuteen luokkaan (I–VI). Luokan I pisteet ovat Maanmittauslaitoksen ja entisen Geodeettisen laitoksen valtakunnallisia tarkkavaaituspisteitä. Luokkien II ja III pisteet ovat Maanmittauslaitoksen perusvaaituspisteitä tai muita kyseiseen luokkaan hyväksytyjä pisteitä. Luokkien IV ja V pisteet ovat paikallisia korkeuskiintopisteitä ja VI-luokassa ovat pisteet, jotka eivät täytä ylempien luokkien tarkkuusvaatimuksia. Maanmittauslaitos vastaa I–III-luokkien valtakunnallisista pisteistä ja kunnat IV–VI-luokkien paikallisista pisteistä.

JHS 185:ssa mainitaan kolme mittausluokkaa (1.–3.). Kyseiset luokat koskevat kaavoitusmittausten tarkkuusvaatimuksia ja ne määrittelevät myös sen, minkä tasoiset korkeuskiintopisteet kelpaavat eri luokitusten mukaisiin mittauksiin. 1. ja 2. mittausluokassa mittaukset perustuvat tarkkavaaituihin korkeuskiintopisteisiin ja 3. luokassa ne voivat perustua myös muilla tavoin määritettyihin korkeuksiin.

Tuusulan N2000-korkeuskiintopisteverkko

Tuusulan kuntaan tarkkavaaitun korkeuskiintopisteverkon pisteet kuuluvat IV-luokkaan. IV-luokan korkeuskiintopisteiden sallittu kilometrikeskivirhe on < 5 ppm ja sallittu sulkuvirhe $< 10 \cdot \sqrt{L}$, jossa L on vaaitusmatka kilometreinä (JHS 185, liite 1). Uusi korkeuskiintopisteverkko täyttää tarkkuudeltaan sille asetetut vaatimukset (luku 3.4 Tasoituslasenta).

Korkeuskiintopisteet vietiin StellaMap-sovelluksessa DGN-kuvatiedostoon, jossa pisteisiin lisättiin ominaisuustiedoiksi pisteluokka, rakenne, alusta, näkyvyys, alkuperäkoodi, tarkkuus, datan luoja, luontipäivämäärä, historiapäivämäärä (mittausajankohta) ja omistaja. Kunnan kiintopisterekisteri ja tietojen jakamiskäytännöt tullaan suunnittelemaan lähivuosina kokonaan uudelleen.

4.2.3 Muunnetut aineistot

Muunnoksissa aineistojen siirtokorjaukseksi valittiin koko kunnan siirtokorjaus +0,320 m, jossa keskivirhe on $\pm 7,9$ mm. Tuusulan Veden johtokartan muuntaminen tapahtui järjestelmätoimittaja Vianovan toimesta ja osaan muun muassa sadevesi- ja tarkastuskaivo-tietoja sisältävistä kaivokorteista lisättiin korkeusjärjestelmästä kertova leima. Loput aineistomuunnokset tehtiin kunnan sisäisenä työnä.

Kaavoituksen ja kunnallistekniikan suunnittelutyö perustuu kaavan pohjakarttaan, eikä jo aloitettujen suunnitelmien pohja-aineistoja muunnettu. Uudet suunnitelmat laadittiin 1.1.2016 lähtien N2000-korkeuksien mukaisesti. Ennen muutosta hyväksytyt asemakaavat sisälsivät asetettuja korkeuslukuja, joita ei saanut muuttaa ilman kaavamutosta. Asemakaavakartat siis jäivät voimaan N43-korkeuksissa. Paperisessa ja sähköisessä muodossa oleviin vanhoihin kaavakarttoihin lisättiin selkeästi korkeus- ja tasokoordinaattijärjestelmätieto. Ajantasa-asekaavan, eli lainvoimaisten asemakaavakarttojen yhdistelmän sisältämät korkeusluvut muunnettiin.

Kaavan pohjakartta-aineistojen muuntamiseen käytettiin StellaMap-sovellusta. StellaMap:lla muuntaminen suoritettiin käyttämällä *fence move*-komentoa. Muunnoksessa näkymän syvyys asetettiin ennen siirtokomentoa korkeuteen 0,001 m, jolloin 0-tasossa olevat elementit jäivät paikoilleen. Tiedostojen muuntaminen tapahtui tarvittavat vaiheet sisältävällä makrolla. Myös FME-sovellukseen laadittiin muunnostyötila mahdollisten, muissa paikkatietoformaateissa olevien aineistojen muuntamista varten.

4.2.4 Merkinät asiakirjoihin ja rekistereihin

Maankäyttö- ja karttapalvelun asiakkaille luovutetaan korkeus- ja koordinaattitietoja sisältäviä karttoja sähköisinä ja painettuina versioina. Sähköiset kartat laaditaan suurimmaksi osaksi StellaMap-sovelluksella ja näihin aineistoihin liitetään merkintä tasokoordinaatti- ja korkeusjärjestelmistä sovellukseen luotujen leimojen avulla (kuva 9). Samaa leimaa käytetään siis esimerkiksi luovutettavissa DWG-tiedostoissa ja PDF-tulosteissa. Vastaavat leimasimet on hankittu myös paperisia karttakopioita ja asiakirjoja varten.



Kuva 9. Leima asiakirjoihin ja aineistoihin.

Pääsääntönä on, että aineistoa luovutettaessa tulee aina mainita erikseen aineiston koordinaatti- ja korkeusjärjestelmät. Rakennusvalvontamittauksissa maastoon merkittyjen korkeuslukemien yhteyteen on liitetty N43-merkintä jo vuodesta 2013, mikä helpottaa siirtymävaihetta rakennustyömailla. Rakennusvalvonnan luparekisteriä ylläpidetään CGI:n Facta Kuntarekisterissä. Rakennushankkeet viedään loppuun siinä korkeusjärjestelmässä, jossa ne on aloitettu. Tieto kunkin luvan kohdalla tehtyjen rakennuslupamittausten korkeusjärjestelmästä kirjataan rekisterissä luvan tietoihin.

Facta Kuntarekisterin suunnitelmaosan kaavarekisteri sisältää tietoja kaavahankkeista. Kaavahankkeiden yhteyteen lisätään jatkossa myös tieto niiden suunnittelussa käytetystä korkeusjärjestelmästä. Kaikkiin rekisterissä oleviin vanhoihin kaavoihin lisättiin merkintä käytetyistä korkeusjärjestelmistä.

4.2.5 Tiedostonhallinta

Tiedostonhallintakysymyksiä oli pohdittava jo tasokoordinaatistomuutoksen yhteydessä vuonna 2013, jotta uudessa ja vanhassa koordinaatistossa olevat aineistot saatiin eroteltua. Tuolloin periaatteeksi otettiin se, että aineistojen sijaintikansion juuressa olevat tiedostot ovat aina kunnan virallisissa koordinaatti- ja korkeusjärjestelmissä ja kulloinkin käytössä olevien sovellusten sen hetkisen version mukaisia. Kuntakehityksen korkeustietoa sisältävät aineistot ovat kaikki DGN-tiedostoja. Näin ollen esimerkiksi Kantakarttakansion juuressa olevat tiedostot ovat kaikki StellaMapin SS2-version mukaisia, ETRS-GK25-tasokoordinaatistossa ja N2000-korkeudessa. Muut aineistot ovat kuvaavasti nimityksissä alikansioissa.

Tällaista tiedostonhallintaperiaatetta suositellaan kaikille työntekijöille, mutta heidän omaksi valinnakseen jää se, kuinka he hallitsevat omia tiedostojaan. Samoin myös vastuu väärinkäsityksistä jää heille itselleen. Tasokoordinaatistomuunnoksen jälkeen on havaittu, että väärinkäsityksiä todellakin syntyy. Ne eivät kuitenkaan ole jääneet lopulta huomaamatta, sillä koordinaattilukemien ero uudessa ja vanhassa järjestelmässä on suuri. Korkeusjärjestelmän kohdalla mahdolliset virheet eivät välttämättä tule esille ennen, kuin suunnitelmat toteutuvat. Tässä vaiheessa virheen korjaaminen ei ole aina yksinkertaista.

4.2.6 Kustannukset

Korkeusjärjestelmän vaihtamiseen varattiin kokonaisuudessaan koko kunnan yksiköiden toimenpiteitä varten 300 000 € vuoden 2015 budjetissa. Ulkoiset kustannukset jäivät arvioitua huomattavasti pienemmiksi (taulukko 2). Taulukossa ovat myös arviot projektin sisäisistä kustannuksista. Projektiin liittyvät selvitykset, käyttöönottosuunnitelma, tiedottaminen ja aineistomuunnot tehtiin maankäyttö- ja karttapalveluiden omana työnä.

Tulevaisuudessa kustannuksia tulee syntymään ainakin pisteverkkojen (taso- ja korkeus) tihentämisen ja pisterekisterin kehittämisen suhteen. Kiintopistetiedot tullaan myös lisäämään kunnan karttapalveluun, mikä maksetaan erikseen aineistojen lisäämisvaiheessa. Henkilöstöltä vaaditaan myös osaamista uusien käytäntöjen suhteen, mikä lisää koulutuksen tarvetta.

Taulukko 2. Projektin toteutuneet ulkoiset- ja arvioidut sisäiset kustannukset.

Ulkoiset kustannukset:

<i>Vuosi</i>	<i>Kustannus</i>	<i>Euroa</i>
2015	Korkeusrunkoverkon mittaukset	19 900,00
	Muunnosparametrien määrittäminen	1 487,55
	Tarkkavaaituslaitteiston hankinta	7 560,00
	Tiedottaminen, lehtikuulutus	518,00
	Pohjakartan korkeuskäyrät	6 890,00
	FME-lisenssin hankinta	2 500,00
	Tuusulan Veden aineistomuunnot	2 000,00
	Yhteensä	40 855,55

Sisäiset kustannukset / arvioitu henkilötyö:

<i>Vuosi</i>	<i>Kustannus</i>	<i>Tuntia</i>	<i>Euroa</i>
2014	Esiselvitys, käyttöönoton suunnittelu	200	6 000,00
	Kokoukset ja valmistelu	50	1 500,00
2015	Projektisuunnitelman laatiminen	50	1 500,00
	Tiedotteiden laatiminen ja verkkosivut	20	600,00
	Tarjouspyyntöjen laatiminen ja kilpailutus	100	3 000,00
	Pisteinventoinnit	200	4 800,00
	Muunnostyökalujen laatiminen	70	2 100,00
	Toimintatapamuutosten valmisteleminen	50	1 500,00
	Aineistojen muuntamisen testaaminen	20	600,00
	Aineistojen muuntaminen	50	1 500,00
	Kaavan pohjakartan korjaustyöt	200	4 800,00
	Kokoukset ja valmistelu	100	3 000,00
	Yhteensä	1110	30 900,00

KAIKKI YHTEENSÄ	71 755,55
------------------------	------------------

5 Johtopäätökset

5.1 Projektin haasteita

Tuusulan kunnassa on vuonna 2016 käytössä uudet tasokoordinaatti- ja korkeusjärjestelmät, jotka vastaavat valtakunnallisia ja EU:n asettamia säädöksiä. Tämä luo mahdollisuudet luovuttaa ja vastaanottaa paikkatietoa paljon aikaisempaa helpommin. Uusien järjestelmien käyttöönottoprojektit olivat merkittäviä, ja niiden toteuttaminen sisälsi monia kriittisiä vaiheita. Samaan aikaan taloudellisen tilanteen tiukentumisen ja säästöjen sekä lukuisien muiden käyttöönottoprojektien ja uudistusten kanssa suoritusta voidaan pitää kiitettävänä.

N2000-projektin hallinnassa olennaisina vaiheina voidaan pitää projektin määrittelyä, tavoitteita, resursseja, tehtäväjakoja, tiedottamista sekä laadun- ja riskinhallintaa. Entinen Maankäyttö- ja karttapalvelut, nykyinen Paikkatietoyksikkö oli projektin liikkeellepaneva voima. Korkeusjärjestelmän muutos kosketti kuitenkin keskeisimmin Tuusulan Veden ja kunnallistekniikan suunnittelun päivittäistä toimintaa, sillä siinä tarkalla korkeustiedolla on kaikkein kriittisin merkitys. Tämän vuoksi oli erittäin tärkeää, että kaikki yksiköt ottivat vastuun projektin toteuttamisesta omalta osaltaan.

N2000-projektin toteutuksessa suunnitelmallisuus oli tärkein lähtökohta. Tarkan suunnittelun ja dokumentoinnin ansiosta tilanteiden ennakoiminen ja kokonaisuuden käsitteleminen oli helpompaa. Dokumenttien, kuten esiselvityksen ja projektisuunnitelman laatiminen itse oli erittäin tärkeää. Sen ansiosta ymmärrettiin paremmin, mitä ja miksi oltiin tekemässä. Projekti olisi ollut huomattavasti vähemmän antoisa, mikäli koko työ olisi annettu ulkopuolisten toimijoiden käsiin. Mikäli henkilöstöresurssit eivät olisi olleet rajalliset, olisi myös korkeuskäyrien ja vaaitusten tekeminen omana työnä ollut varteenotettava vaihtoehto. Ulkopuolelta ostettu työ täytti odotukset ja lopputulos myös hankintojen osalta oli hyvä.

5.2 Tiedottamisen tärkeys

Projektin alussa tiedottamista pidettiin olennaisimpana tekijänä uuden korkeusjärjestelmän onnistuneen käyttöönoton suhteen. Välittömiä vaikutuksia onnistumisesta tai epä-

onnistumisesta ei toki nähdä heti, mutta tilanteeseen myötävaikuttanee se, että ta-sokoordinaatistouudistus ja naapurikunnissa aikaisemmin uusitut korkeusjärjestelmät ovat herätelleet ihmisiä aiheeseen jo vuosia aikaisemmin.

Projektien tiedottamisen on tapahduttava nykyaikaisin keinoin, jotta tieto tavoittaa mahdollisimman tehokkaasti laajan joukon ihmisiä. Törmäsin projektin aikana usein siihen, miten asiaan uppoutuneena helposti ilmaisun tiedotteessa asiat turhan monimutkaisesti. Tämän vuoksi myös muiden henkilöiden oli hyvä lukea tiedote ja kommentoida sitä ennen jakamista.

Osallistuin Tuusulan kunnan intranetin käyttöönottovaiheessa järjestetyille Scriptio Oy:n kirjoituskurssille, jolta sain muutamia hyvin varteenotettavia vinkkejä liittyen tiedotteiden ja asiapitoisten tekstien laatimiseen. Etenkin nyt, kun kunnan henkilöstön käytössä on sosiaalisesta mediasta tutun kommentoinnin ja tykkäämisen mahdollistava intranet ja viestinnän kynnyks on täten paljon aikaisempaa sähköpostittelu matalampi, on tärkeää panostaa tekstien tarkoituksenmukaisuuteen ja selkeyteen. Projekteissa tiedottaminen on myös tärkeää suunnitella kohderyhmittäin.

5.3 Mahdolliset jatkotutkimushankkeet

Tuusulan kunnan projektityöskentelytapaan ollaan luomassa ohjeistusta ja työkaluja ICT-projektien osalta. Erilaiset käyttöönottoprojektit liittyvätkin suurimmaksi osaksi uusiin ohjelmistoihin ja sovelluksiin, joten erityisesti ICT-projektitoiminnan kehittäminen on tärkeässä osassa. Kehittämiseen liittyy myös koulutusta ICT-projekteihin liittyville henkilöille. Todennäköisesti näitä oppeja voidaan jatkossa soveltaa myös muissa kuin pelkästään ICT-projekteissa. Mikäli ei, olisi tarpeen pohtia yleisemmän projektien toteuttamista helpottavan ohjeistuksen laatimista Tuusulan kunnan työntekijöille.

Olisi myös mielenkiintoista tietää tarkemmin, millaiset sisäiset tiedottamistavat ovat kunnan henkilöstön mielestä tehokkaimpia. Aihetta kannattaisi tutkia etenkin tuoreen intranetin suhteen, jotta saataisiin myös enemmän tietoa siitä, millaisin keinoin sen käyttöä jokapäiväisessä tiedottamisessa voitaisiin laajentaa ja ihmiset saataisiin sen pariin. Alun kehittämistyön ja markkinoinnin jälkeen olisi syytä tutkia käyttöönoton vaikutuksia kunnan sisäiseen tiedottamiseen.

Lähteet

Ahola, Mikko & Musto, Matti. 2011. Geodesian tietoisuus: Valtakunnallinen N60-N2000 -muunnos. Verkkodokumentti. Maanmittaus 86:2, s. 32–41. <http://www.maanmittaus-tieteidenseura.fi/maanmittaus/2011_2_ahola_musto.pdf>. Luettu 18.7.2015.

Bilker-Koivula, Mirjam & Ollikainen, Matti. 2009. Suomen geoidimallit ja niiden käyttäminen korkeuden muunnoksissa. Verkkodokumentti. Geodeettinen laitos. <<http://www.fgi.fi/fgi/sites/default/files/publications/gltiedote/GLtiedote29.pdf>>. Luettu 15.6.2015.

Geoinformatiikan sanasto. 2011. 2. laitos. Sanastokeskus TSK Ry: Helsinki.

Hakala, Jukka. 2015a. Tuusulan kunta: N2000-tarkkavaaitushanke. Laskentaraaportti. Geopixel Oy.

Hakala, Jukka. 2015b. Tuusulan kunta: N43-N2000-korkeusselvitys. Raportti. Geopixel Oy.

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

JHS 154 ETRS89-järjestelmään liittyvät karttaprojektiot, tasokoordinaatit ja karttalehtijako. 2008. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta (JUHTA). <<http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS154/JHS154.pdf>>. Luettu 25.1.2016.

JHS 163 Suomen korkeusjärjestelmä N2000. 2007. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta (JUHTA). <<http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs163>> Päivitetty 20.6.2010. Luettu 1.6.2015.

JHS 184 Kiintopistemittaus EUREF-FIN-koordinaattijärjestelmässä. 2012. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta (JUHTA). <<http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs184>>. Luettu 3.6.2015.

JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. 2012. Verkkodokumentti. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta JUHTA. <<http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/recommendations/185>>. Luettu 3.6.2015.

Laamanen, Kyösti. 2014. Tuusulan N2000-korkeusjärjestelmä uudistus. Korkeusrunkomittausten työohjelma. SITO Oy.

Laki julkisista hankinnoista 348/2007. Annettu Helsingissä 1.6.2007.

Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. 4. painos. Rovaniemen ammattikorkeakoulun julkaisusarja D nro. 3. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston tuotekuvaus. 2015. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitos. <<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>>. Luettu 16.7.2015.

Saarikoski, Antti. 2007. N2000-korkeusjärjestelmän käyttöönotto Maanmittauslaitoksessa. Verkkodokumentti. Maanmittaustieteiden seura. http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Antti_Saarikoski.pdf. Luettu 15.6.2015.

Teematietoa: Maannousu. 2015. Verkkodokumentti. Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus FGI. <<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/maannousu>>. Luettu 8.6.2015.

Vermeer, Martin. 2006. Korkeuden lyhyt historia. Verkkodokumentti. Suomen valtakunnallinen korkeuspäivä I. <<http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/korkeuspv/k-paivat.pdf>>. Luettu 20.6.2015.

Weisstein, Eric W. 2015. Oblate Spheroid. Verkkodokumentti. Wolfram MathWorld. <<http://mathworld.wolfram.com/OblateSpheroid.html>>. Luettu 9.6.2015.

Örn, Ossi. 2014. N2000-korkeusjärjestelmään siirtyminen kaupungin näkökulmasta. Verkkodokumentti. Geodesian teemapäivä 10.9.2014. <<http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/Geodesiapaiva/OssiOrn-N2000KorkeusjarjestelmaanSiirtyminen-KaupunginNakokulmasta.pdf>>. Luettu 14.7.2015.