



Tanja Immonen

Vantaan kantakartan laadunparannus: rakennuksen korkeusaseman määrittäminen laserkeilausaineistosta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

11.4.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Tanja Immonen
Otsikko:	Vantaan kantakartan laadunparannus: rakennuksen korkeusaseman määrittäminen laserkeilausaineistosta
Sivumäärä:	32 sivua
Aika:	11.4.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Maanmittaustekniikka
Ohjaajat:	lehtori Ilkka Partonen

Tämän insinöörityön aiheena oli tutkia mahdollisuutta määrittää Vantaan kaupungin kantakartan rakennuksille korko- ja korkeustietoja laserkeilausaineiston avulla. Vantaan kaupungin kantakartalla eli asemakaavan pohjakartalla oli työtä aloitettaessa rakennuksia, joiden korkotieto puuttui tai korkeustieto puuttui tai oli virheellinen.

Työn aikana rakennettiin FME-prosessi, joka muodosti laserkeilausaineiston avulla arvion maanpinnasta rakennusten kohdalla ja määrittäi arvion rakennuksen sijainnista maanpinnalla, jotta saatiin arvioitua rakennuksen korkeusasema. Laserkeilausaineistosta saatuja arvoja verrattiin kantakartan rakennusten korkoarvoihin prosessin luotettavuuden arviointia varten.

Laserkeilausaineisto todettiin käyttökelpoiseksi tavaksi hakea rakennuksille korkeusaseman arvo. Vaikka tuloksissa kohdattiin myös ongelmia, todettiin laserkeilausaineiston muodostaman maanpinnan olevan parempi vaihtoehto kuin kokonaan puuttuva korkoarvo.

Insinöörityön laatimisen aikana käytettävissä oli vuoden 2019 laserkeilausaineisto. Rakennusten korkeuksia on järjestelmällisesti tallennettu Vantaan kaupungin kantakartalle vasta vuodesta 2020 alkaen. Tämän takia päädyttiin jättämään rakennuksen korkeuden määrittäminen odottamaan jatkokehittelyä ja uudemman laserkeilausaineiston valmistumista.

Avainsanat: kantakartta, korkeusasema, FME

Abstract

Author: Tanja Immonen
Title: Quality Improvement of Vantaa Base Map: Determination of Elevation of Building with Laser Scanning Data
Number of Pages: 32 pages
Date: 11 April 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Land Surveying
Supervisors: Ilkka Partonen, Senior Lecturer

The purpose of this Bachelor's thesis was to study the possibility of determining the elevation of buildings with laser scanning data. Initially, the base map of the City of Vantaa had buildings with either wrong or missing elevation or height.

The final year project established an FME process for the estimation of ground surface with laser scanning data. The estimation was used to estimate the elevation of the building. The values obtained from laser scanning data were compared to the base map elevation values.

The laser scanning data was found to be a useful way to establish the elevation of buildings. Although problems were also encountered, it was found that the ground surface formed with the laser scanning data was to prefer over a completely missing value of elevation.

The final year project established that the heights of the buildings had only been systematically recorded on the Vantaa base map from the year 2020 onwards. The latest laser scanning data available for the thesis was from the year 2019. Therefore, the determination of the heights of buildings was left to wait for the completion of newer laser scanning data.

Keywords: base map, elevation, FME

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kantakartta	2
3	Korkeusasema ja korkeus	6
3.1	Korkeusasema	6
3.2	Rakennuksen korkeus	7
4	Käytetyt ohjelmistot	8
4.1	ArcGIS Pro	8
4.2	FME	8
5	Lähtökohdat	10
5.1	Rakennukset	10
5.2	Laserkeilausaineisto	13
6	Rakennuksen koron ja korkeuden määrittäminen laserkeilausaineiston avulla	14
6.1	Työn suunnittelu	14
6.2	Rakennukset tietokannasta käyttövalmiiksi	14
6.3	Korkeusarvo laserkeilausaineiston avulla	17
6.4	Korkeusarvot laserkeilausaineiston avulla	19
7	Tuloksia	21
7.1	Tulosten esittelyä	21
7.2	Poimintoja tuloksista	24
7.3	Ongelmia ja mahdollisia virhelähteitä	26
8	Yhteenveto	31
	Lähteet	33

Lyhenteet

FME: Feature Manipulation Engine. Ohjelma paikkatietoaineiston käsittelyyn.

JHS 185: Julkisen hallinnon suositus asemakaavan pohjakartan luomisesta.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on Vantaan kaupungin mittaus- ja geopalveluiden toimeksiantona tutkia kantakartan rakennusten korkojen ja korkeuksien määrittämistä osana kantakartan laadunparannustyötä. Työtä aloitettaessa Vantaan kaupungin kantakartalla oli rakennuksia, joiden korko tai korkeus oli virheellinen. Tavoitteena oli selvittää, voisiko puuttuvia arvoja tuoda rakennusten tietoihin laserkeilausaineiston avulla.

Tarkoituksena oli etsiä tapa hakea korko- ja korkeusarvot laserkeilausaineistosta sekä verrata laserkeilausaineistosta saatuja korko- ja korkeuslukemia niihin kantakartan rakennuksiin, joissa korko ja korkeus oli jo kirjattu oikein.

Insinööriyön alussa esitellään työn kannalta tärkeät käsitteet eli kantakarttaa sekä rakennuksen korkoa ja korkeutta ja työssä käytetyt ohjelmistot. Kirjallisen työn loppuosa käsittelee työpaikalla toteutetun työn lähtötilannetta, työn suoritusta, sekä tuloksia ja ilmenneitä ongelmia.

2 Kantakartta

Kantakartalla tarkoitetaan asemakaavan pohjakarttaa, joka toimii perustana kiinteistönmuodostukselle ja asemakaavoitukselle. Se on yksityiskohtainen ja ajantasainen maastokartta, jossa esitetään esimerkiksi rakennukset ja rakennelmat, maa- ja vesialueet, liikenneväylät, alueiden nimistö sekä korkeustiedot ja ilmajohtoyhteydet. Vantaan kaupungin verkkosivujen mukaan asemakaavan pohjakartta on tarkin maastokartta kiinteistörekisterikartan ohella. Kantakartta esitetään yleensä mittakaavassa 1:500, 1:1000 tai 1:2000. [1; 2.]

JHS 185:n mukaan kantakartta on ensisijaisesti luokitellusta vektoriaineistosta tulostettu viivakartta, mutta se voi olla myös muulla menetelmällä valmistettu. Kantakartasta on tarvittaessa pystyttävä tuottamaan arkistokelpoinen kartta. Suosituksen liitteessä 5 on esitetty tarkempia ohjeistuksia asemakaavan pohjakartalla esitettävistä kohdeluokista ja kohdeluokkien tyypeistä sekä niiden esitysvaatimuksista, kuten viivojen paksuudesta. Sen mukaan kantakartan kohteet voidaan esittää pisteenä, viivana tai alueena. [2.]

Asemakaavan pohjakartan asemasta suunnittelussa ja sen ajantasaisuudesta säädetään Maankäyttö- ja rakennuslaissa:

Asemakaavan tulee perustua maastoa kuvaavaan pohjakarttaan. Pohjakartan tulee olla yksityiskohtaisuudeltaan ja tarkkuudeltaan riittävä.

Asemakaavaa tai sen muutosta ei saa hyväksyä, jos pohjakartta ei ole yksityiskohtaisuudeltaan tai tarkkuudeltaan riittävä tai se on siinä määrin vanhentunut, ettei sitä enää voida käyttää kaavoituksen perustana.

Vähäinen asemakaavan muutos voidaan kuitenkin hyväksyä pohjakartan vanhentuneisuudesta huolimatta, jollei muutos olennaisesti vaikuta alueen tai sen lähiympäristön kaavoitukseen. [3, MRL 54 a §.]

Asemakaavan pohjakartan laatimiselle ja kuvaustekniikalle on asetettu vaatimuksia julkisen hallinnon suosituksessa JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. JHS 185:n mukaan kantakartalla on laatuvaatimuksia, jotka jaetaan

neljään eri luokkaan. Nämä luokat ovat sijaintitarkkuus, täydellisyys, looginen eheys ja temaattinen tarkkuus. [2.]

Sijaintitarkkuus koskee kiintopisteiden sekä kartoitus- ja merkintämittausten tarkkuutta, ja se esitetään pistekeskivirheinä. JHS 185:n mukaan esimerkiksi korkeuskiintopisteiden välisten korkeuserojen suhteellisen tarkkuuden tulee olla parempi kuin 5 ppm, ja niitä on oltava niin tiheästi, että niistä on helppo tuoda rakennustyömaalle tarvittava korkeus. [2.]

Täydellisyydellä julkisen hallinnon suosituksessa 185 tarkoitetaan kohteiden tai niiden ominaisuuksien puuttumista kantakartalta tai kartalla esiintyvää virheellistä tietoa. JHS 185:n liitteen 5 mukaan asemakaavan pohjakartassa esiintyvän kiinteistöjaotustiedon on käytännössä aina oltava täydellistä kartoitusajankohdan mukaisesti. Sen mukaan ajantasainen tieto saadaan kiinteistörekisteristä. [2.]

JHS 185:n mukaan asemakaavan pohjakarttana ei saa käyttää vanhentunutta karttaa eli karttaa, josta puuttuu maankäytön suunnittelun kannalta tärkeitä yksityiskohtia. Näitä tärkeitä yksityiskohtia ovat esimerkiksi kiinteistöjen rajat ja rajamerkit, tiet ja rautatiet, suurjännitelinjat, maakaasuputket sekä rakennukset ja rakennelmat. Kuitenkaan vähäpätöisten purettujen rakennusten esiintyminen tai rakennuksen käyttötarkoituksen muuttuminen eivät estä kartan käyttöä asemakaavan pohjakarttana. [2.]

Kantakartan yhteydessä loogisella eheydellä tarkoitetaan JHS 185:n mukaan kantakartan kohteiden säännönmukaisuutta. Loogisen eheyden yhteydessä voidaan JHS 185:n liitteen 5 mukaan tarkastella esimerkiksi käsitteellistä eheyttä tai topologista eheyttä. Liitteen mukaan käsitteellisen eheyden virhe voi olla kohteen väärä paikka kantakartalla ja topologisen eheyden virhe esimerkiksi itseään leikkaava alue. [2.]

Asemakaavan pohjakartan kohteiden temaattisen tarkkuuden eli kohteiden luokittelun oikeellisuuden suhdetta todellisuuteen maastossa, laatuvaatimuksia on listattu JHS 185:n liitteessä 4. Rakennettujen tilojen osalta liitteessä 4 on

mainittu rakennusten kohdalta rakennustunnus, käyttötarkoitus ja kerrosluku. Näistä rakennustunnuksen ja käyttötarkoituksen kohdalla AQL-luvuksi on merkitty 5, mikä tarkoittaa kaavan pohjakartalla sallittujen virheiden määrää 100 yksikköä kohden. [2.]

Rakennuksen korkeutta tai Z-koordinaattiarvoa tai näiden ajantasaisuutta ei mainita vaatimuksena asemakaavan pohjakartalle. Käytännössä ratkaisevaa on rakennuksen oikea sijainti kartalla suhteessa maastoon sekä rakennuksen olemassaolo ja käyttötarkoitus. JHS 185:n liitteen 3 mukaan kerrostalorakennuksen kerrosluku merkitään kartalle roomalaisilla numeroilla ja rakennuksen käyttötarkoitus lyhenteellä. Esimerkiksi asuinrakennusta esittävä merkintä on "ar". [2.]

JHS 185:n liitteessä 5 ohjeistetaan kantakartan tarkastamisesta. Sen mukaan tyypillisin asemakaavan pohjakartan tarkastusmenetelmä on visuaalinen tarkastus, joka on etenkin loogisen eheyden tarkistuksessa tärkeä työkalu. Muita mainittuja tarkastusmenetelmiä ovat tarkastus dokumenttien pohjalta, automaattinen tarkastus ohjelmallisesti, vertaus muuhun aineistoon, maastomittaus ja fotogrammetrinen tarkistusmittaus eli käytännössä kuvatulkinta. [2.]

Vantaan kaupungin kantakartta on rakennusten osalta ajantasainen, sillä Vantaan kaupungin verkkosivujen mukaan uudet rakennukset lisätään kantakartalle kahden viikon kuluessa sijaintikatselmuksesta ja puretut rakennukset poistetaan kartalta heti. Muun aineiston osalta kantakartan ajantasaisuudeksi ilmoitetaan Vantaan kaupungin verkkosivuilla muutamasta viikosta vuosiin. Verkkosivujen mukaan kattavia päivityksiä tehdään pääsääntöisesti alueellisesti, kun laaditaan uusia asemakaavoja tai vaihtoehtoisesti kaavamuutosten yhteydessä sekä kartoitussilmakuvausten valmistuessa. [1.]

Vantaan kaupungin karttapalvelussa on julkaistu kaupunkikartta-niminen karttataso, jota loitontamalla ja lähentämällä saa näkyviin eri tarkkuudella tuotettuja karttoja. Karttapalvelun karttatason kuvauksen mukaan kaupunkikartta-taso vastaa asemakaavan pohjakarttaa tarkimmalle tasolle lähennettynä. Kaupunkikartan tarkimmalla tasolla (kuva 1) esitetään esimerkiksi kiinteistötunnukset,

rakennusten osat, tonttien rajat, korkeuskäyrät ja joidenkin rakennusten ja niiden osien käyttötarkoituksia. [4.]



Kuva 1. Kuvakaappaus Vantaan karttapalvelusta. Näkyvillä on kaupunkikarttasosta asemakaavan pohjakarttaa vastaava näkymä. [4.]

3 Korkeusasema ja korkeus

3.1 Korkeusasema

Rakennuksen korkeusasema eli korko määritettiin tätä insinööriyötä varten Vantaan kaupungilla rakennuksen sokkelin yläreunan etäisyydeksi merenpinnasta metreinä [5]. Korkeusasema mitataan maastomittauksella sijaintikatselmuksessa [6]. Vantaan kaupungin 1.1.2010 voimaan tulleessa rakennusjärjestyksessä 8§:ssä määrätään rakennuksen korkeusasemasta seuraavasti:

Rakennuksen korkeusaseman on sopeuduttava olemassa olevan ympäristön ja asemakaavassa suunniteltuihin korkeusasemiin. Rakennuslupahakemukseen on liitettävä pintavaaituskartta tai vastaava selvitys, joka osoittaa tontin ja ympäröivän alueen olemassa olevat korkeussuhteet.

Rakennusvalvontaviranomainen voi rakennuslupahakemuksen arvioimiseksi edellyttää luvanhakijalta, että tontin kulmapisteiden ja suunnitellun rakennuksen nurkkapisteiden sijainti ja korkeusasema merkitään tontille ennen lupapäätöksen tekemistä. [7, 8§.]

Vantaan rakennusjärjestyksen 27§:ssä määrätään erikseen ranta-alueelle rakennettavan rakennuksen korkeusasemasta seuraavasti:

Vesistöjen ja pienvesien tuntumaan rakennettaessa on selvitettävä tulvarajan korkeus. Alimman lattiatasen on oltava 1 m tulvarajan tason yläpuolella. [7, 27§.]

Rakennuksen sokkelin korkeus vaihtelee jonkin verran, mutta uudisrakentamisessa maanpäällinen sokkeli on vähintään 30 cm:n korkuinen. Sokkelin osalta rakentamista ohjaa Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta, jonka 18§:ssä todetaan

Maanvastaisen alapohjan lattian yläpinnan on oltava vähintään 0,3 metriä rakennuksen ulkopuolella olevan maanpinnan yläpuolella lukuun ottamatta osittain tai kokonaan maanpinnan alapuolella olevien tilojen lattioita. [8.]

3.2 Rakennuksen korkeus

Maankäyttö- ja rakennusasetuksen 58§:ssä rakennuksen korkeus määritetään rakennuksen julkisivupinnan ja vesikaton leikkausviivan korkeudeksi maanpinnasta. [9, 58§.]

Vantaan kaupungin kantakartalle rakennuksen ominaisuustietoihin merkittynä korkeutena on sovittu käytettävän rakennuksen sokkelin yläreunan ja rakennuksen harjan välistä erotusta. Rakennuksen harjan korkeus saadaan lupapisteestä rakennuksen piirustuksista. [5.]

4 Käytetyt ohjelmistot

4.1 ArcGIS Pro

ArcGIS Pro on Esrin tuottama paikkatieto-ohjelmisto datan hallintaa, 2D- ja 3D-visualisointia ja -analysointia varten. ArcGIS Pro:lla on mahdollista yhdistää eri tiedostomuodoissa olevaa ja eri lähteistä tulevaa aineistoa samalle kartalle. ArcGIS Pro:ta käytetään projektipohjaisesti, mutta yhteen projektiin voi sisällyttää useita eri karttoja eri tietosisällöillä. ArcGIS Pro mahdollistaa myös yhteiskäyttöön perustuvan työskentelyn. [10.]

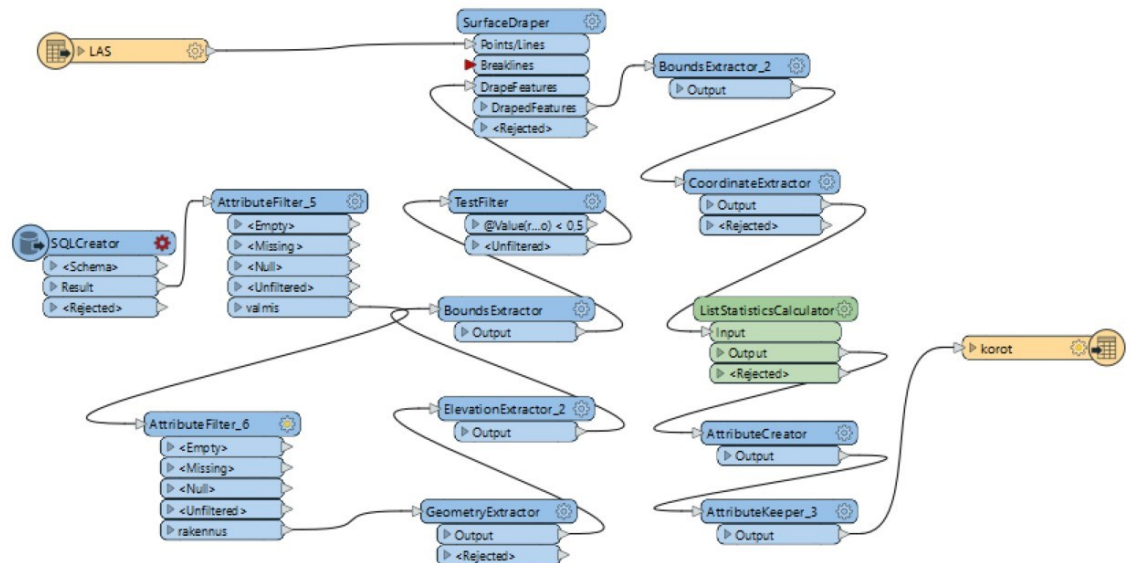
Vantaan kaupunki on integroinut ArcGIS Pro -käyttöliittymään kaupungin käytössä olevan maankäytön toimintamalli ja tietojärjestelmän eli MATTI-järjestelmän. MATTI-järjestelmä on paikkatietoon perustuva tieto- ja toiminnanohjausjärjestelmä, joka muodostaa kokonaisuuden kaupungin maankäytöstä koko maankäytön elinkaaren ajalta eli kaavoituksesta aina rakennuksen kunnossapitoon asti. [11 s. 15-17.]

4.2 FME

FME (Feature Manipulation Engine) on Safe Software Oy:n tuottama ohjelmisto, jota käytetään paikkatiedon muokkaamiseen ja tiedostomuotojen muuttamiseen. FME:n toimintaperiaate on, että haluttu aineisto luetaan työtilaan sopivalla tiedostomuotokohtaisella reader-työkalulla, jonka jälkeen sitä muokataan halutulla tavalla erilaisilla transformer-työkaluilla. Kun aineisto halutaan kirjoittaa ulos, valitaan halutun tiedostomuodon mukainen writer-työkalu. [12.]

FME:n satojen muunnostyökalujen avulla voi tiedostomuotojen lisäksi esimerkiksi muuntaa aineiston koordinaattijärjestelmää, käsitellä pistepilviaineistoja sekä lukea ja muokata aineistoja rajapinnoista. FME mahdollistaa myös automaattisten ajastettujen prosessien luomisen sekä virheellisestä aineistosta raportoinnin. Näiden toimintojen avulla sitä voidaan käyttää paikkatietodatan laadunvalvontaan. [12.]

Kuvassa 2 on esimerkkinä mahdollinen FME Desktopin työtila, jossa on luettu LAS-readerilla (keltaisella) laserkeilausaineisto, joka on muuntajien (siniset) jälkeen kirjoitettu ulos writerilla (keltainen). Tyypillisestä mallista esimerkki eroaa sillä, että osa aineistosta on tuotu työtilaan tietokannasta SQLCreator muuntajan kautta, eikä reader-työkalulla.



Kuva 2. Esimerkki FME-työtilasta, jossa on esitetty reader, transformereita ja writer.

5 Lähtökohdat

5.1 Rakennukset

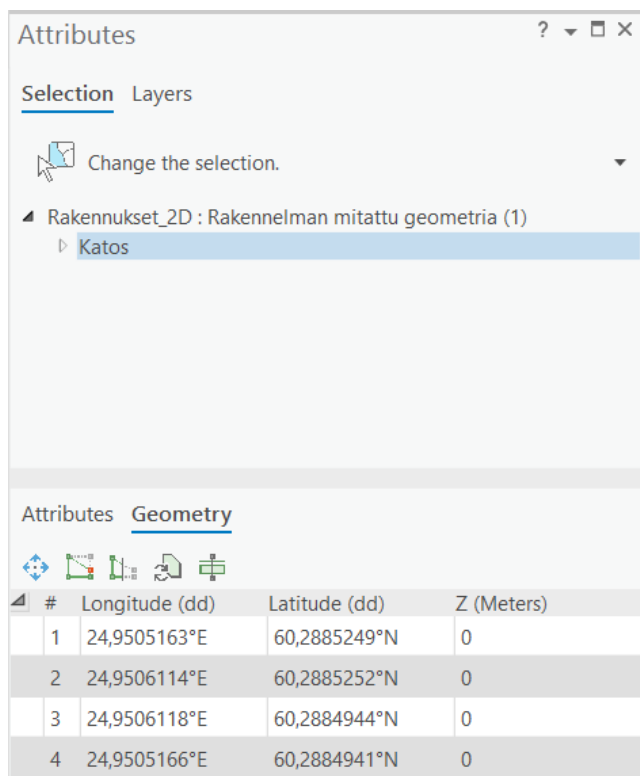
Normaalisti rakennuksen korko- ja korkeustiedot lisätään kantakartalle jo rakennusvaiheessa tai viimeistään rakennuksen valmistuttua. Rakennuksen korkeus-asema mitataan maastotyönä rakennuksen sokkelin yläreunasta yleensä sijaintikatselmuksen yhteydessä. Rakennuksen korkeus lasketaan lupapisteestä saatavien rakennusten piirustusten avulla rakennuksen harjan korkeuden ja sokkelin yläreunan korkeuden erotuksena. Korkeus- ja korkoarvot lisätään kantakartan rakennuksille käsin. [7.]

ArcGIS Pro:ssa rakennukset on esitetty aluemaisina kohteina ja harjakattoisen rakennuksen harja viivamaisena kohteena. Tasakattoisille rakennuksille kattoa ei ole erikseen piirretty kartalle. Rakennuksen korko merkitään ArcGIS Pro -ohjelmassa rakennuksen geometriatietoihin Z-koordinaatin arvoksi. Rakennuksen korkeudeksi määritetään rakennuksen katon harjan korkeuden ja sokkelin yläreunan välinen erotus. ArcGIS Pro -ohjelmassa rakennuksen korkeus merkitään rakennuksen attribuutti- eli ominaisuustiedoksi. Vantaan kaupungilla rakennuksen korkeuksia on alettu kirjaamaan järjestelmällisesti rakennusten ominaisuustietoihin vasta vuodesta 2020 alkaen. [7.]

Vantaan kaupungin kantakartalla oli havaittu rakennuksen korko- ja korkeustiedossa virheitä. Näistä virheistä muodostui tarve määrittää rakennukselle korko- ja korkeusarvoja jälkikäteen. Puuttuvia ja virheellisiä tietoja haluttiin korjata myös työn alla olevan 3D-kaupunkimallin takia. [7.]

Työtä aloitettaessa tunnistettiin rakennusten tiedoissa kolme erilaista virhettä korko- ja korkeustietoihin liittyen. Näistä yksi liittyi rakennuksen korkoon ja kaksi muuta korkeuteen. Virheelliset tiedot johtuivat pääosin ohjelmistomuutoksen aikana tapahtuneista konvertointivirheistä, kun kantakartan ylläpitoa siirrettiin MicroStation:ista ArcGis Pro:hon.

Rakennuksen korkotiedoissa virhe oli kokonaan puuttuva korko. Puuttuvalla korolla tarkoitettiin, että rakennuksen koron arvoksi oli merkitty 0. Kuvassa 3 on esitetty ArcGIS Pro:ssa olevan rakennuksen ominaisuustiedoista geometriakenttä, jossa katoksen Z-arvona on 0.

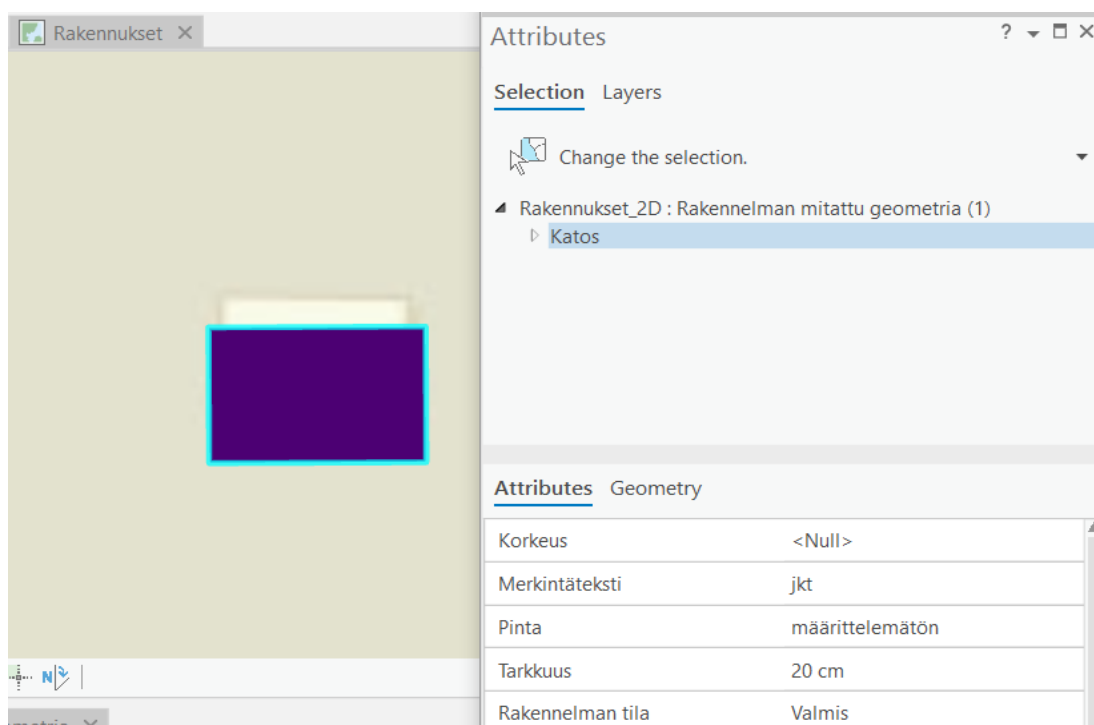


The screenshot shows the 'Attributes' window in ArcGIS Pro. The 'Selection' tab is active, showing a tree view with 'Rakennukset_2D : Rakennelman mitattu geometria (1)' expanded to 'Katos'. Below this, the 'Geometry' tab is selected, displaying a table with the following data:

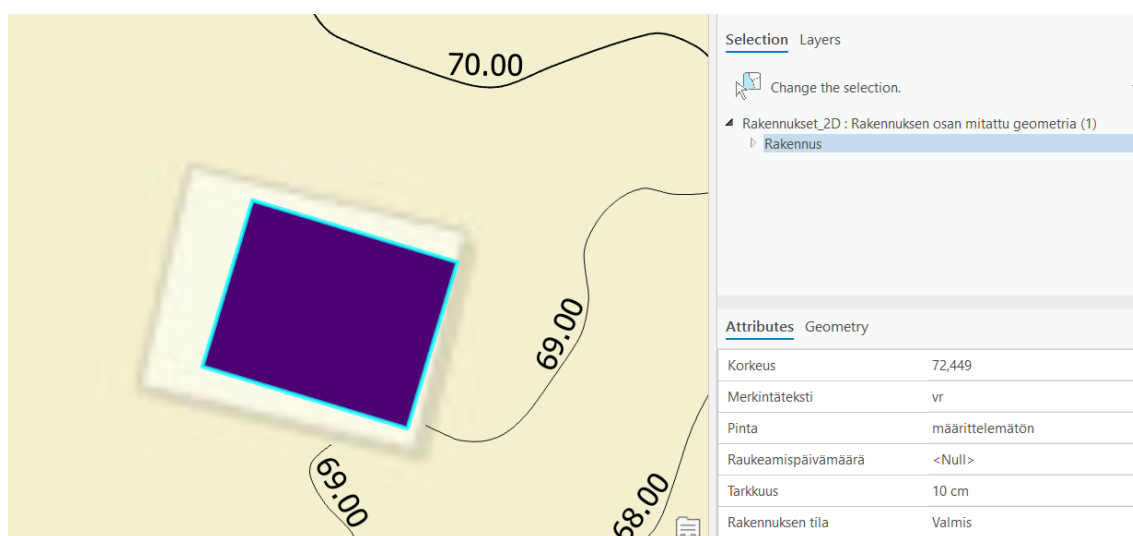
#	Longitude (dd)	Latitude (dd)	Z (Meters)
1	24,9505163°E	60,2885249°N	0
2	24,9506114°E	60,2885252°N	0
3	24,9506118°E	60,2884944°N	0
4	24,9505166°E	60,2884941°N	0

Kuva 3. Kuvakaappaus ArcGIS Pro -ohjelmasta. Rakennuksen geometriatiedoissa Z-arvo eli korko on 0 metriä.

Rakennusten korkeuksissa havaittiin kahdenlaisia ongelmia: virheellisiltä rakennuksilta joko puuttui korkeustieto kokonaan eli se oli merkitty 0 metriin tai <null>-arvolla (kuva 4), tai korkeus oli sama kuin rakennuksen korko. Jälkimmäisessä virhetyypissä kantakartalta saattoi löytyä esimerkiksi varastorakennus, jonka ominaisuustiedoissa korkeudeksi oli merkitty yli 72 metriä (kuva 5).



Kuva 4. Rakennuksen korkeudeksi merkitty <null>.



Kuva 5. Kuvakaappaus ArcGIS Pro -ohjelmasta. Varastorakennuksen ominaisustietoihin on rakennuksen korkeudeksi merkitty 72 metriä. Ympärillä näkyvien korkeuskäyrien mukaan maanpinnan korkeus merenpinnasta on rakennuksen kohdalla 69 metriä.

Rakennusten korkojen ja korkeuksien korjaamiseen päätettiin käyttää laserkeilausaineistoa, jota käsiteltäisiin FME-ohjelmalla. Työtä tehtäessä käytettävissä

oli vuoden 2019 laserkeilausaineisto, joka oli valmiiksi luokiteltu. Ehdotuksena oli käyttää korkojen määrittämiseen model key points -maanpintapisteitä, jotka muodostivat harvennetun maanpinnan. Laserkeilausaineistosta oli lisäksi erikseen eroteltu omaksi tiedostoksi pelkät rakennukset, joista oli tarkoitus lähteä määrittämään korkeuksia rakennusten katoille.

5.2 Laserkeilausaineisto

Tätä insinööriyötä varten käytettävissä oli laserkeilausaineisto vuodelta 2019. Aineiston on toimittanut TerraTec Oy, ja se on kerätty Järvenpään, Keravan, Nurmijärven ja Tuusulan kanssa yhteistyössä toteutetussa laserkeilaus- ja ilmakuvahankkeessa. Hankkeessa Vantaan kartoitusalue oli kooltaan noin 409 km². Laserkeilaus toteutettiin lentokoneesta noin 520 metrin lentokorkeudessa Riegl VQ-1560i -keilaimella. Työkertomuksessa laserkeilauksen pistetiheydeksi ilmoitettiin 30 pistettä/m², koordinaattijärjestelmäksi ETRS-GK25 ja korkeusjärjestelmäksi N2000 geoidikorjauksen jälkeen. [13.]

Laserkeilaus- ja ilmakuvahankkeen tarkkuusvaatimukset olivat JHS 185:n mittausluokan 1 mukaiset [13]. JHS 185:n mukaan mittausluokkaan 1 kuuluvat sellaiset taajama-alueet, joilla on voimassa oleva sitovan tonttijaon asemakaava tai rakennuskielto sitovan tonttijaon mukaisen asemakaavan laatimista varten ja joiden maa on erittäin arvokasta [4].

Tätä insinööriyötä tehtäessä oli käytössä laserkeilaus- ja ilmakuvahankkeessa tuotetusta aineistosta valmiiksi luokiteltu laserkeilausaineisto. Laserkeilausaineistosta korkojen määrittämiseen työssä käytettiin laserpisteistä luokiteltuja model key points -maanpintapisteitä eli harvennettua maanpintaa. Arveltiin, että maanpinnan laserpisteistä saisi vähintään tuotua rakennuksille korkeusarvot, jotka olisivat maanpinnan tason mukaisia sen sijaan, että rakennusten korkeusasetmat olisivat 0 metrissä eli käytännössä merenpinnan tasossa. [7.]

6 Rakennuksen koron ja korkeuden määrittäminen laserkeilausaineiston avulla

6.1 Työn suunnittelu

Insinööriyön käytännön osuudessa tavoitteena oli etsiä menetelmä, jolla Vantaan kaupungin kantakartalle saataisiin tuotua korko- ja korkeustieto niille rakennuksille, joiden osalta tiedot olivat puutteellisia tai virheellisiä. Menetelmävaihtoehtoina pohdittiin mm. rakennuksen korkeuden arviointia rakennuksen kerroslukujen perusteella, ArcGIS Pro:n ModelBuilder-työkalua sekä FME-prosessia.

Kerroslukujen avulla olisi voinut luoda teoreettisen arvion rakennuksen korkeudesta määrittämällä ensin yhden kerroksen korkeus. Kerrosluvuista määritetty arvio rakennuksen korkeudesta koettiin kuitenkin melko epäluotettavana. Lopulta työn suoritukseen valikoitui laserkeilausaineiston käyttö ja FME-prosessin luominen. Päätökseen vaikutti osittain aiempi kokemus FME:n käytöstä verrattuna ArcGIS Pro:n ModelBuilder-työkaluun, jonka käyttäminen olisi pitänyt opetella alusta alkaen.

Insinööriyötä suunniteltaessa tarkentui tavoitteeksi luoda FME-prosessi, jonka avulla kantakartan rakennusten tietoihin saisi lisättyä korko- ja korkeustiedot. Jotta prosessia pääsi luomaan, oli selvitettävä tarpeelliset FME-työkalut. Prosessi alkoi muodostumaan lähtötietojen tiedostomuotojen ja halutun lopputuloksen ympärille. Jo alussa oli selkeää, että rakennustietokannan ja laserkeilausaineiston tietojen yhdistämiseen käytettäisiin SurfaceDraper-muuntajaa ja lähtötietojen lukemiseen tiedostomuodon mukaisia työkaluja.

6.2 Rakennukset tietokannasta käyttövalmiiksi

Prosessin luonnin ensimmäisenä työvaiheena oli lähtöaineiston eli rakennusten ja laserkeilausaineistojen tuominen FME Desktop -ohjelman työtilaan. Laserkeilausaineistoja varten FME:stä löytyi ASPRS LiDAR Data Exchange Format (LAS) Reader, jolla luettiin työtilaan pistepilviaineistosta valmiiksi luokitellut

harvennetut maanpintapisteet (model key points). Rakennukset ominaisuustietoineen haettiin tietokannasta SQLCreator-muuntajalla.

SQLCreator-muuntajaan asetetaan halutut määrytykset, joiden perusteella FME luo SQL-kielisen komennon, joka hakee halutut rivit halutusta tietokannasta. Tässä tapauksessa valittiin kaikki rivit halutusta rakennusten tiedot sisältävästä tietokannasta komennolla `select * from`, jonka jälkeen FME löysi kaikki tietokantaan tallennetut attribuutit. Tietokannan attribuuteista pystyi tämän jälkeen valitsemaan prosessia varten tarpeelliset ja jättämään pois turhat ominaisuustietokentät. Varsinaista SQL-kielen osaamista SQLCreator ei vaadi, jollei käyttäjä halua luoda monimutkaisempaa komentoa tietojen hakuun.

Seuraavaksi vuorossa oli aineiston lajittelu ja suodatus, jotta jäljelle jäi suuresta tietomäärästä työtä varten rakennuskannasta oleelliset ominaisuustiedot. Tähän tarkoitukseen FME:stä löytyy `AttributeFilter` -niminen muuntotyökalu, jolla voi suodattaa aineistosta halutut ominaisuudet. `AttributeFilter`in avulla saatiin rakennuskannasta valittua käsittelyä varten valmiiksi merkityt kohteet, joiden tyyppinä oli rakennukset, ja jätettiin esimerkiksi puretut ja rakenteilla olevat pois prosessista. Lisäksi rakennuksista karsiutui pois esimerkiksi rakennelmaksi merkittyjä kohteita.

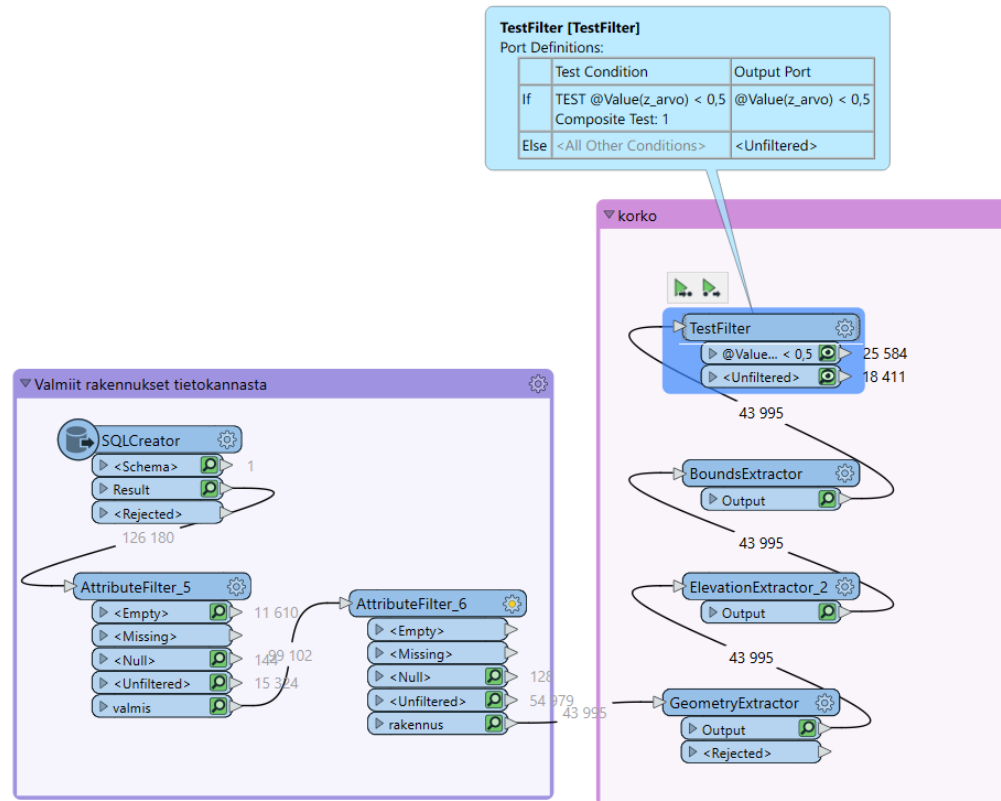
Koska rakennuksen korko on tallennettu ArcGIS Pro:ssa rakennuksen geometriatietoihin X- ja Y-koordinaattiarvojen kanssa sen sijaan, että ne olisi tallennettu ominaisuustietoihin, ei Z-arvoa saanut valmiina rakennusten tietokantahausta. Rakennuksen koordinaattien tuomiseen FME:stä löytyi `transformer`-työkalu `geometryExtractor`, joka hakee kohteen tiedoista X-, Y- ja Z-koordinaatit. `GeometryExtractor` tallentaa kohteen koordinaatit uuteen ominaisuustietokenttään niin, että kaikki rakennuksen koordinaatit olivat samassa kentässä.

`ElevationExtractor` poimii `geometryExtractor`-muuntajalla haetusta koordinaattiarvosta pelkän Z-arvon ja tallentaa sen kohteen uudeksi ominaisuustiedoksi. Jos kohteelle ei ole asetettu Z-koordinaattia, eli kohde on kaksiulotteinen, `ElevationExtractor` asettaa ominaisuustiedon arvoksi 0. Kun rakennukselle oli haettu Z-arvo, `BoundsExtractor`-työkalulla haettiin rakennuksen koordinaateille

minimi- ja maksimiarvot, jotka tallennetaan rakennuksen tietoihin uutena attribuuttina.

TestFilter-transformerilla jaettiin rakennusaineisto kahteen osaan sen mukaan, oliko rakennukselle haettu elevation-arvo yli vai alle 0,5. Tarkoituksena oli karsia pois rakennukset, joiden korko oli 0 tai lähellä sitä jättämällä pois alle kohteet, joiden elevation-arvo oli pienempi kuin 0,5. Rakennukset, joiden korko oli 0, haluttiin erotella rakennuksista, joilla oli jo realistinen korkoarvo, jotta päästiin vertaamaan laserkeilausaineistosta haettuja korkoarvoja olemassa oleviin korkoarvoihin.

Kuvassa 6 on esitetty työtilan alkuvaihe, jossa on haettu rakennukset tietokannasta ja lähdetty yllä mainituilla muuntajilla poimimaan rakennusten koordinaatteja, etenkin Z-koordinaattia. Kuvassa näkyy myös TestFilter-muuntajaan asetettu testattava ehto, jonka avulla eroteltiin toisistaan rakennukset sen mukaan, oliko rakennuksen Z-arvo yli 0,5 vai alle 0,5. Alkuvaiheessa rakennukset haettiin varmuuskopioidusta tietokannasta, joka ei ollut täysin ajantasainen, ja 0-korkoisia rakennuksia näytti löytyvän yli 25 000 kappaletta.



Kuva 6. Alkuvaiheen FME-työtila, jossa etsittiin 0-korkoisia rakennuksia.

6.3 Korkoarvo laserkeilausaineiston avulla

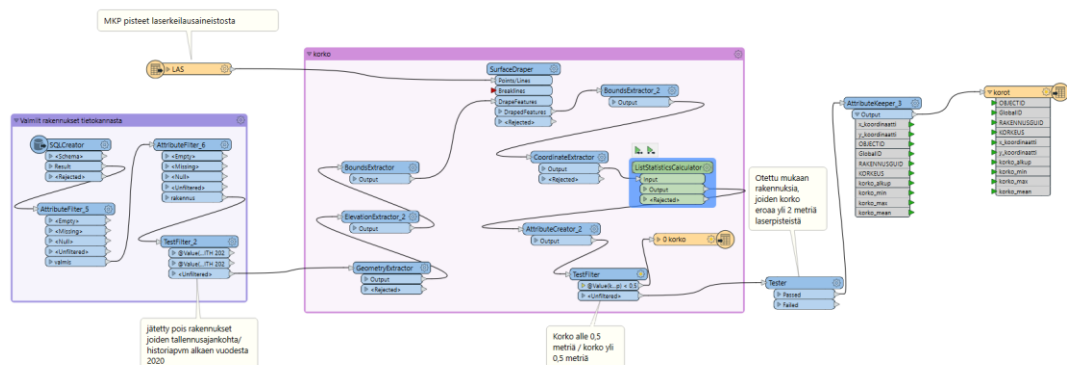
Kun tietokannasta haetut rakennukset oli saatu FME-työtilassa jaoteltua sen mukaan, löytyikö niillä yli 0 oleva Z-arvo vai ei, tuotiin rakennukset maanpinnan tasolle SurfaceDraper-muuntajan avulla. SurfaceDraper-työkalulla FME loi Delaunay-kolmioiden pinnan laserpisteistä ja asetti rakennukset oikealle korkeudelle Z-koordinaattiarvon mukaisesti. Koska maanpinnan laserkeilauspisteitä on vain rakennusten ympäriltä, arvio maanpinnasta muodostuu interpoloinnilla rakennusten alueiden kohdille.

Kun SurfaceDraper-muuntajalla on rakennuksen alueelle arvioitu uusia pisteitä, CoordinateExtractor-työkalu hakee koordinaattiarvot kohteen kaikille kärkipisteille ja luo niistä lista-attribuutin. Lista-attribuutista ListStatisticsCalculator-muuntajalla voidaan laskea haluttuja tilastollisia arvoja koordinaateille.

ListStatisticsCalculator-työkalun avulla saatiin laserkeilauspisteistä haetulle Z-arvolle minimi-, maksimi- ja keskiarvo.

Työtilaan lisättiin myös ominaisuuskenttä rakennuksen keskimääräisille x- ja y-koordinaateille AttributeCreator-työkalun avulla, jotta halutun kohteen nopea tarkastelu ArcGIS Pro:lla olisi myöhemmin mahdollista. ArcGIS Pro:lla on mahdollista etsiä kohde kartalta koordinaattien avulla.

Ennen työtilan uloskirjoittamista valittiin AttributeKeeper-muuntajalla ominaisuustietokentät, jotka haluttiin säilyttää Excel-tiedostoa varten. Prosessin aikana eri muuntajat olivat luoneet lukuisia uusia ominaisuustietokenttiä rakennusten tietoihin, eikä niitä kaikkia ollut tarvetta säilyttää. Kuvassa 7 on esitetty viimeisin versio työtilasta.



Kuva 7. Valmis FME-työtila, jolla kirjoitettiin kaksi erillistä Excel-taulukkoa rakennusten koroista.

Excel Writer-työkalulla työtilasta saadut tulokset kirjoitettiin Excel-taulukkoon (taulukko 1) tulosten vertailua ja analysointia varten. Lisäksi kirjoitettiin erilliseen Excel-taulukkoon koordinaattien kanssa rakennukset, joiden korko oli 0.

Taulukko 1. Osa FME:n työtilan luomasta Excel-taulukosta rakennusten alkuperäisistä ja lasketuista korkoarvoista.

OBJECTID	korko_alkup	korko_min	korko_max	korko_mean
9032	31,7261	42,28676079	42,66804727	42,4625698
35598	43,3209	53,18103829	53,97072216	53,5407665
45112	29,0614	37,80783222	38,18230857	38,0140036
9098	31,7261	39,16827349	41,97252149	41,12833961
9332	29,0611	35,70452873	37,45391075	36,83171877
42747	29,06	34,6844518	37,36827024	36,51936209
9065	31,7261	37,23642004	39,77301431	38,2969686
9001	31,7261	37,19069057	39,65523135	38,30221534
8963	31,7261	37,09226803	39,43110384	38,25429591
8886	31,7261	37,04953764	39,41189321	38,10550833
8964	31,7261	36,97121731	39,41863778	37,82170645
31841	33,1409	38,21005618	39,00562819	38,65690685
8544	24,3103	29,36538262	29,87416011	29,61299488
8355	24,3103	29,27407343	29,53987915	29,38909519
26967	47,5368	51,42109614	52,12419726	51,7724264
32043	43,8196	47,63322593	48,03267306	47,86221024

Tämän insinööriyön aikana ei päädytty toteuttamaan korkoarvojen viemistä kantakartalle rakennusten geometriatietoihin, mutta haluttiin selvittää mitä toteutus vaatisi prosessilta. Koska SurfaceDraper-työkalu luo pintamallin, joka antaa rakennukselle useita Z-arvoja, ja rakennukselle halutaan vain yksi korkoarvo, olisi kantakartalle tallennettavan korkoarvon määrittämiseen todennäköisesti käytetty FME:n 3DForcer-muuntajaa. 3DForcer-työkalun avulla saadaan konvertoitua kaksiulotteisia kohteita kolmiulotteiseksi tuomalla kohteelle haluttu Z-koordinaattiarvo.

6.4 Korkeusarvot laserkeilausaineiston avulla

Alun perin tarkoituksena oli tehdä sama selvitysprosessi rakennusten korkeuksille. Työn toteutuksen suunnittelun ohessa selvisi, että rakennusten korkeuksia on alettu järjestelmällisesti lisäämään rakennusten ominaisuustietoihin vasta vuonna 2020. Insinööriyötä tehdessä käytettävissä oli vain vuoden 2019 laserkeilausaineisto, eikä vuoden 2021 laserkeilausaineisto ehtinyt valmistua. Näin ollen laserkeilauspisteistä saatavia arvoja ei saatavilla olevien aineistojen

kanssa pystyisi vielä tarpeeksi luotettavasti vertailemaan todenmukaisiin rakennusten korkeuksiin, ja todettiin, ettei tätä osuutta työstä olisi mielekästä toteuttaa.

Korkeuksien hakemiseen olisi todennäköisesti käytetty laserkeilausaineistosta valmiiksi rakennuksiksi luokiteltuja pisteitä ja samaa SurfaceDraper-työkalua kuin korkojenkin poimimiseen. Lisäksi rakennusten korkeuksia määrittäessä olisi pitänyt ottaa huomioon tasa- ja harjakattoisten rakennusten erot, sillä harjakattoisille rakennuksille oli ArcGIS Pro:ssa luotu rakennuksesta erillinen kohde-
luokka viivamaisena kohteena. Tasakattoisissa rakennuksissa olisi käytetty samoja aluemaisia kohteita kuin korkoarvoja varten.

7 Tuloksia

7.1 Tulosten esittelyä

Laserkeilausaineistosta saadut Z-arvot tuotiin Excel-taulukkoon rakennusten alkuperäisten korko arvojen kanssa tulosten vertailua varten. Vertailutaulukossa oli rivejä yhteensä 45 910. Tulosten joukosta löytyi muutamia poikkeuksia, joissa laserkeilausaineistosta saatu tulos poikkesi erittäin paljon eli yli 10 metriä, kantakartalle merkityistä rakennuksen korkotiedoista. Yli kaksi metriä poikkeavia arvoja löytyi jo erittäin paljon.

Laserpisteistä haetulle korkoarvoista tutkittiin minimiarvon, maksimiarvon ja keskiarvon eroa alkuperäiseen rakennuksen geometriatiedoissa olleeseen Z-arvoon. Erotuksia oli sekä negatiivisia että positiivisia (taulukko 2). Erot muutettiin myöhemmin taulukkoon ja itseisarvoiksi, sillä tässä vaiheessa oli kiinnostavampaa nähdä erotuksen suuruus eikä niinkään erotuksen suuntaa.

Taulukko 2. Osa Excel-taulukosta, johon on laskettu erotuksia alkuperäisen korkoarvon ja laserpisteistä laskettujen Z-arvojen välillä. Luvuissa on sekä positiivisia että negatiivisia eroja.

korko_alk up	korko_min	korko_max	korko_mean	korko_alkup ja korko_mean ero	korko_alkup ja korko_max ero	korko_alkup ja korko_min ero
31,7261	42,28676079	42,66804727	42,4625698	-10,7364698	-10,94194727	-10,56066079
43,3209	53,18103829	53,97072216	53,5407665	-10,2198665	-10,64982216	-9,86013829
29,0614	37,80783222	38,18230857	38,0140036	-8,952603602	-9,120908569	-8,746432221
31,7261	39,16827349	41,97252149	41,12833961	-9,402239607	-10,24642149	-7,442173487
29,0611	35,70452873	37,45391075	36,83171877	-7,770618765	-8,392810749	-6,643428731
29,06	34,6844518	37,36827024	36,51936209	-7,459362086	-8,308270235	-5,624451796
31,7261	37,23642004	39,77301431	38,2969686	-6,570868602	-8,046914312	-5,510320038
31,7261	37,19069057	39,65523135	38,30221534	-6,576115335	-7,92913135	-5,464590574
31,7261	37,09226803	39,43110384	38,25429591	-6,52819591	-7,705003843	-5,366168032
31,7261	37,04953764	39,41189321	38,10550833	-6,379408328	-7,685793211	-5,323437635
31,7261	36,97121731	39,41863778	37,82170645	-6,095606454	-7,692537781	-5,245117306
33,1409	38,21005618	39,00562819	38,65690685	-5,516006851	-5,864728194	-5,069156176

Positiivisissa eroissa alkuperäinen korko oli laserkeilausaineistosta poimittua korkoa suurempi, ja negatiivisessa erotuksessa alkuperäinen korko oli pienempi kuin laserkeilauspisteistä poimittu korko. Negatiiviseen suuntaan suurimmat erot olivat noin 10 metriä, kun taas suurimmillaan alkuperäinen korko oli noin 23 metriä korkeammalla kuin laserpisteiden mukaan (taulukko 3).

Taulukko 3. Taulukko, johon on alkuperäisen koron ja laserpisteistä laskettujen korkojen eroista laskettu minimi, maksimi ja keskiarvo.

	alkuperäisen koron ja laserkeilauspisteistä saadun mean-arvon ero	alkuperäisen koron ja laserkeilauspisteistä saadun max-arvon ero	alkuperäisen koron ja laserkeilauspisteistä saadun min-arvon ero
min	-10,73647	-11,36951	-10,56066
max	23,72480	23,28484	24,07181
keskiarvo	0,06447	-0,36989	0,53252

Työtä aloitettaessa oletuksena oli, että rakennusten korkeusasemien osalta virheenä olisi ainoastaan kokonaan puuttuva korko. Laserkeilauspisteistä laskettuja Z-arvon keskiarvoja alkuperäisiin korkoarvoihin verrattaessa tuli yllätyksenä jopa yli 20 metrin erot Z-arvossa (taulukko 4). Erittäin isojen erojen osuus kokonaisuudesta on kuitenkin melko pieni, sillä yli 10 metrin eroja oli vain 12 kokonaisuudesta 45 910 eli noin 0,03 % aineistosta. Yli viiden metrin eroja oli 97 eli

noin 0,21 % aineistosta. Yli kahden metrin eroja oli 1 105 eli noin 2,41 % ja yli metrin eroja 4 018 eli noin 8,75 % koko aineistosta.

Taulukko 4. Alkuperäisten ja laserpisteistä poimittujen korkoarvojen erotuksia itseisarvoina. Tulokset on lajiteltu alkuperäisen koron ja laserkeilausaineisosta poimitun Z-arvon keskiarvon välisen erotuksen mukaan suurimmasta arvosta pienimpään. Taulukossa näkyvillä 17 suurinta erotusta.

korko_alkup	korko_min	korko_max	korko_mean	korko_alkup ja korko_mean ero	korko_alkup ja korko_min ero	korko_alkup ja korko_min ero
57,511	33,43918135	34,22615939	33,78619257	23,7248074	23,28484061	24,07181865
64,985	42,98126668	43,21176242	43,12430145	21,8606985	21,77323758	22,00373332
53,09	34,67772803	35,00756744	34,84124218	18,2487578	18,08243256	18,41227197
67,4243	53,1	53,313982	53,19716926	14,2271307	14,110318	14,3243
60,402	47,38637271	47,87888744	47,56785638	12,8341436	12,52311256	13,01562729
36,9271	24,51029108	24,75998845	24,60970722	12,3173928	12,16711155	12,41680892
58,8013	47,70399024	48,61229318	47,99688386	10,8044161	10,18900682	11,09730976
31,7261	42,28676079	42,66804727	42,4625698	10,7364698	10,94194727	10,56066079
48,7201	38,20814998	38,7820414	38,45770295	10,262397	9,938058596	10,51195002
43,3209	53,18103829	53,97072216	53,5407665	10,2198665	10,64982216	9,86013829
64,1744	53,93308261	54,20560576	54,07616848	10,0982315	9,968794235	10,24131739
37,16	26,19757416	27,942706	27,14412457	10,0158754	9,217294004	10,96242584
62,3254	52,10358582	53,33150947	52,69452655	9,63087345	8,99389053	10,22181418
54,7649	44,92296386	45,6034269	45,18032806	9,58457194	9,161473102	9,841936143
61,3947	48,9595234	53,89379284	51,82191313	9,57278687	7,500907157	12,4351766
47,5368	37,83445529	38,12277434	37,97681474	9,55998526	9,414025664	9,702344711
31,7261	39,16827349	41,97252149	41,12833961	9,40223961	10,24642149	7,442173487

Yhtenä haasteena insinööriyössä oli pohtia, mikä laserpisteistä poimittu Z-arvo olisi paras vastaamaan rakennusten korkoarvoa. Aiemmin oli Excel-tilukkaan päädytty ottamaan vertailua varten mukaan keskiarvo (mean), sekä minimi- ja maksimiarvot, jotka tätä vertailua varten muutettiin vielä itseisarvoiksi. Näistä arvoista laskettiin vielä erotukset alkuperäiseen korkoarvoon rakennus kerrallaan ja sen jälkeen koko erotukselle minimi- maksimi- ja keskiarvo (taulukko 5). Keskimääräisesti pienimmät erot alkuperäisen rakennuksen korkoarvon ja laserpisteistä poimitun Z-arvon vaikuttaisi tulevan silloin, kun käytetään laserpisteistä poimitun Z-arvon keskiarvoa.

Taulukko 5. Taulukko, johon on laskettu alkuperäisen korkoarvon ja laserkeilauspisteistä haettujen korkoarvojen välisten erojen minimi, maksimi ja keskiarvo.

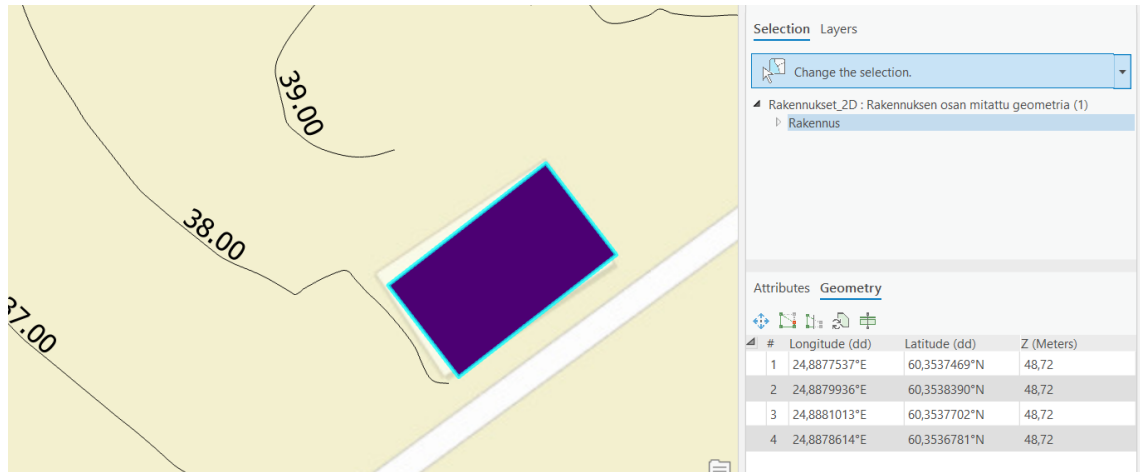
	alkuperäisen korkon ja laserkeilauspisteistä saadun mean-arvon ero	alkuperäisen korkon ja laserkeilauspisteistä saadun max-arvon ero	alkuperäisen korkon ja laserkeilauspisteistä saadun min-arvon ero
min	0,00003	0,00001	0,00000
max	23,72481	23,28484	24,07182
mean	0,42514	0,60051	0,56592

Koska laserkeilauspisteistä haetut Z-koordinaattiarvot perustuvat maanpinnan pisteisiin, eikä rakennuksen kohdalta pystytä maanpintaa laserkeilaamaan, muodostuu laskennallinen arvio aina rakennusta ympäröivien maanpinnan pisteiden avulla muodostetusta arviosta. Rakennuksen kulmat voivat olla hyvin eri korkeuksissa varsinkin, jos kyseessä on rinnetontti. Tästä huolimatta koko rakennukselle asetetaan vain yksi Z-arvo. [7.]

7.2 Poimintoja tuloksista

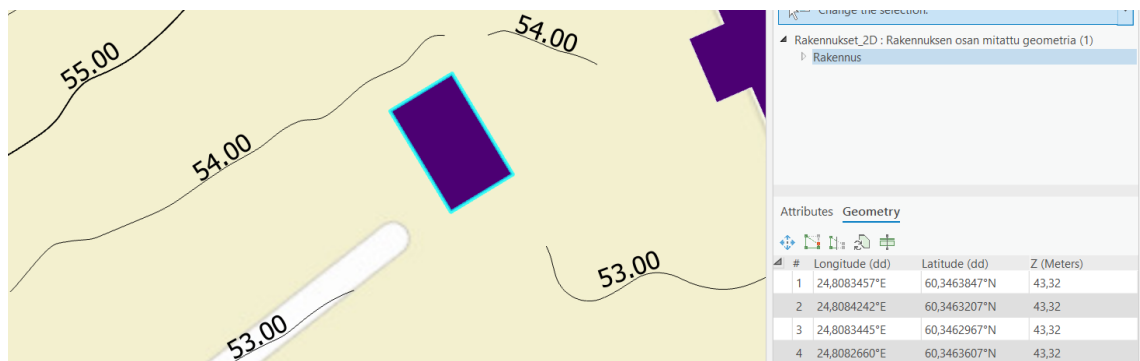
Yllättävää oli, että aineistosta löytyi rakennuksia, joiden ominaisuustietoihin kirjattu Z-arvo erosi erittäin paljon maanpinnan korkeudesta. Aineistosta löytyi esimerkiksi rakennus, jonka koroksi on merkitty 48,72 metriä, mutta rakennusta

ympäröivät korkeuskäyrät asettuvat 38–39 metrin välille (kuva 8). Tämän suuruinen ero rakennuksen sokkelin yläreunan ja maanpinnan korkeustason välillä tarkoittaisi aiempien määritelmien perusteella, että rakennuksen sokkeli olisi noin 10 metriä korkea.



Kuva 8. Kantakartan rakennus, jonka Z-arvo on 48,72 metriä. Ympäröivät korkeuskäyrät osoittavat maanpinnan korkeudeksi rakennuksen kohdalla 38–39 metriä.

Aineistosta löytyi myös päinvastainen esimerkki (kuva 9). Kuvan rakennuksen Z-arvoksi eli korkeusasemaksi on kirjattu 43,32 metriä. Rakennusta ympäröivät korkeuskäyrät ovat kuitenkin noin 10 metriä korkeammalla, 53–54 metrissä. Tällöin rakennuksen sokkelin yläreuna olisi noin 10 metriä maanpinnan alapuolella.



Kuva 9. Kantakartalla oleva rakennus, jonka korko on merkitty noin 43 metriin. Rakennuksen ympärillä korkeuskäyrien perusteella maanpinnan korkeus sijoittuu 53–54 metrin välille.

7.3 Ongelmia ja mahdollisia virhelähteitä

Tulosten mahdollisia virhelähteitä ja projektin jatkokehittelyä käytiin yhdessä kaupunkimittausinsinööri Ossi Örnin ja paikkatietoesimies Heidi Määtän kanssa. Keskustelussa todettiin, että suuria eroja korkoarvojen välillä on sellainen määrä, joka olisi mahdollista ja järkevääkin käydä yksitellen manuaalisesti läpi etenkin suurten erojen kohdalla. FME-ajoon lisättiin taulukkoon rakennuksille koordinaatit, jotta ne on helppo hakea ja tarkistaa ArcGIS Pro:n kautta. [14.]

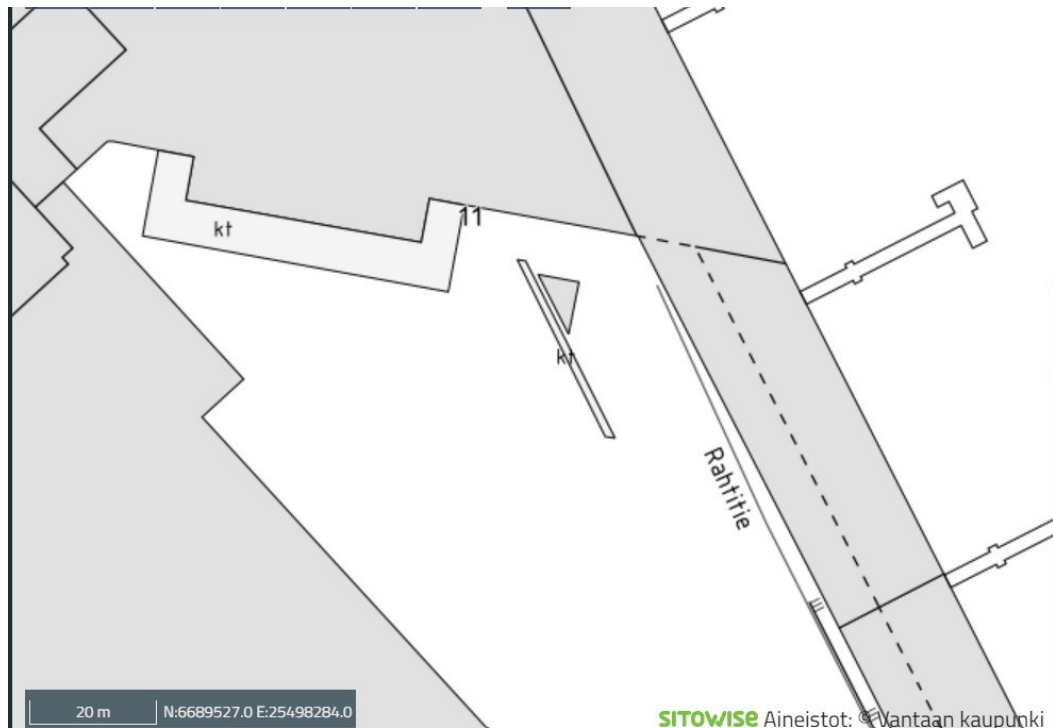
Koska kantakartalle rakennuksen korkoarvoksi merkitään sokkelin yläreunan etäisyys merenpinnasta, ja laserkeilausaineiston laskemat arvot ovat maanpinnan tasosta, tulee vertailussa joka tapauksessa eroa. Keskustelussa pohdittiin myös mahdollisuutta laskea arvo sokkelin korkeudelle ja lisätä tämä arvo laserkeilausaineistosta saatuun tulokseen. Tätä vaihtoehtoa pidettiin kuitenkin hankalana, sillä sokkelin korkeus voi vaihdella useita kymmeniä senttimetrejä. [14.]

Koska sokkelin korkeus vaihtelee paljon, ei täysin tarkkaa tulosta laskennallisen arvon kanssa saisi. Toisaalta jos sokkelin vähintään 30 cm:n korkeus otetaan huomioon, erittäin lähellä alkuperäistä Z-arvoa olevat laserkeilauspisteistä lasketut korkoarvot (taulukko 6) eivät ole täysin oikein.

Taulukko 6. Pienimpiä eroja alkuperäisen Z-arvon ja laserpisteistä lasketun Z-arvon keskiarvon välillä. Pienimmästä suurimpaan lajitellun taulukon 16 ensimmäistä riviä.

korko_alkup	korko_min	korko_max	korko_mean	korko_alkup ja korko_mean ero	korko_alkup ja korko_max ero	korko_alkup ja korko_min ero
39,28	39,0462407	39,5253916	39,2800326	3,2559E-05	0,2453916	0,23375928
40,676	40,113404	41,0689817	40,6759602	3,9776E-05	0,3929817	0,56259597
24,6141	23,2161368	24,9868988	24,6141664	6,6444E-05	0,3727988	1,39796323
19,6132	19,2541073	19,8269301	19,6130956	0,00010441	0,2137301	0,35909272
50,1175	49,2457524	50,4310534	50,1176729	0,00017294	0,3135534	0,87174756
39,9078	39,8528247	39,9863997	39,9076216	0,0001784	0,0785997	0,05497527
29,4116	29,2954448	29,5487985	29,4117785	0,00017849	0,1371985	0,11615523
38,7342	38,6947255	38,7708269	38,7340128	0,00018719	0,0366269	0,03947451
34,6495	34,5269614	34,7888474	34,6492916	0,0002084	0,1393474	0,12253858
36,1062	36,0615929	36,177812	36,1059512	0,00024879	0,071612	0,04460705
15,69	15,616283	15,7562407	15,6897502	0,00024982	0,0662407	0,07371702
36,7141	36,5845269	36,8492381	36,7138265	0,00027355	0,1351381	0,12957307
37,9185	37,7161953	38,2577831	37,9187962	0,00029619	0,3392831	0,20230468
45,8839	45,8228946	45,9755777	45,8842179	0,00031794	0,0916777	0,06100536
34,6511	34,4975226	34,7833467	34,6514276	0,0003276	0,1322467	0,15357745
46,19	45,5197063	46,8468086	46,189672	0,00032801	0,6568086	0,67029366

Yhtenä mahdollisena virhelähteenä tulee ottaa huomioon ympäristön muutokset. Etenkin rakennettu ympäristö muuttuu jatkuvasti, kun uusia rakennuksia rakennetaan ja vanhoja puretaan. Koska laserkeilausaineistosta haetut korkoarvot muodostuvat kolmiverkon avulla muodostetun laskennallisen maanpinnan avulla, saattavat ympäristön yksityiskohdat muokata tulosta huomattavastikin. Esimerkiksi Helsinki-Vantaan lentokentän ympäristöstä löytyi mainostauluna toimiva kolmionmuotoinen rakennettu kohde (kuva 10), jonka alkuperäinen korko oli noin 65 metriä ja laserpisteistä laskettu korko noin 43 metriä (taulukon 2 3. rivi).



Kuva 10. Vantaan kantakartalla oleva kolmionmuotoinen rakennus, jonka Z-arvo vaikutti eroavan merkittävästi laserkeilauspisteistä.

Tarkempi tarkastelu osoitti, että kuvan 10 kohde sijaitsee useaan tasoon rakennettujen liikenneväylien keskellä, ja laserkeilauspisteistä poimittu Z-arvo todennäköisesti asettui tienpinnan tasolle. Tosi asiassa kohteen perusta on paljon alempana maanpinnalla, ja alueella huomattiin läheisen maanpinnan korkeusluvun olevan noin 43. Vaikuttaa siltä, että kantakartalle rakennuksen korkoarvo olisi merkitty viereisen tien tasoon ja laserpisteistä poimittu Z-arvo olisi oikein maanpinnan tasolla.

Tuloksista käydyn keskustelun aikana todettiin, että 3D-kaupunkimallissa paras ratkaisu oli laittaa rakennuksen pohja joka tapauksessa alkamaan maanpinnasta sokkelin yläreunan sijaan. Jos 3D-kaupunkimallissa rakennus alkaisi vasta sokkelin yläreunasta, täytyisi myös sokkeli luoda kaupunkimalliin, jotta rakennukset eivät leijuisi ilmassa. Tästä näkökulmasta laserkeilauspisteistä haetut Z-koordinaattiarvot olisivat riittävän tarkat, sillä tavoite nostaa rakennuksen korko maanpinnan tasoon täyttyy. [14.]

Tuloksia läpikäydessä kävi myös ilmi, että osaa rakennusten ominaisuus- ja geometriatiedoista oli muokattu jo aikaisemmin laserkeilaisaineiston avulla, eikä kaikkien rakennusten korkeusasema tiedon alkuperä ollut täysin varma. Tästä johtuu lopullisen taulukon aineiston suuri määrä, 45 910 riviä rakennuksia, joilla korko on lisätty ominaisuustietoihin, ja vain 42 0-korkoista rakennusta (taulukko 7). Muutos 0-korkoisten rakennusten määrässä oli suuri verrattuna työtä suunniteltaessa käytetyn varmuuskopiotietokannan yli 25 000 0-korkoiseen rakennukseen.

Taulukko 7. Osa Excel-taulukosta, jossa kaikki jäljellä olevat 0-korkoiset rakennukset.

	korko_alkuperäinen	korko_min	korko_max	korko_mean
1	0	15,132	15,27299486	15,1868825
2	0	15,0680094	15,38997276	15,2573599
3	0	37,3624658	39,63157421	38,59102
4	0	37,4614232	38,28308233	37,9143798
5	0	14,5886822	14,849	14,7184046
6	0	12,6863327	13,21004932	13,023601
7	0	48,4673183	51,56562177	50,2420306
8	0	30,5014235	33,73082796	32,5016519
9	0	23,4029499	23,94346774	23,6854321
10	0	25,9471122	26,4033645	26,1595315
11	0	25,7432405	26,02881973	25,8604294
12	0	16,8802362	18,22837369	17,8527532
13	0	25,3652872	25,70696928	25,5495232
14	0	23,467821	24,7682047	24,1498725
15	0	38,816239	41,73741282	40,60813
16	0	43,2885356	45,10935759	44,1586397
17	0	32,3828885	33,65984033	33,1906005
18	0	26,7560729	27,73716157	27,285433
19	0	33,452	35,61944079	34,6469307
20	0	24,3611418	24,56136078	24,467864
21	0	25,8422762	27,33112201	26,3012463
22	0	47,743383	48,51792211	48,0861442
23	0	43,951138	46,32655193	45,0023565
24	0	33,8904803	35,66310831	35,1631201
25	0	34,2719174	34,37243166	34,3213551
26	0	35,6611787	37,29552172	36,6243797
27	0	44,7095723	45,00874382	44,8665826
28	0	33,7666487	35,91012488	34,9308064
29	0	48,4698151	50,40942244	49,5385189

Tässä insinööriyössä tehdyn vertailun luotettavuutta vähentää mahdollisuus, että tarkasteltu aineisto sisälsi rakennuksia, joiden geometriatietoja on jossain vaiheessa muokattu. On myös mahdollista, että aiemmin esiteltyjä rakennuksia, joiden korkoarvo poikkesi paljon rakennuksen alueella olevista korkeuskäyristä, on muokattu niin, että niille on muodostunut virheellisiä geometria- ja ominaisuustietoja.

Työtä aloitettaessa todettiin, että virheellisten korko- ja korkeustietojen syynä oletetaan olevan ohjelmistovaihdoksen aikaisen konvertoinnin aikana tapahtuneet virheet. On mahdollista, että konvertoinnin aikana olisi syntynyt muitakin virheitä, kuin rakennuksen virheellinen korkeusarvo.

Toisaalta on myös mahdollista, että jo alkuperäisessä aineistossa on ollut virheellisiä lukemia. Koska rakennuksille syötetään kantakartalla geometriatietoihin Z-arvo käsin, ei näppäilyvirheen mahdollisuutta voi sulkea pois.

Insinööriyön aikana ilmenneistä ongelmista huolimatta vaikutti siltä, että laserpisteistä saisi vähintään maanpintaa vastaavan Z-arvon rakennuksille.

8 Yhteenveto

Insinööriyössä tutustuttiin kantakarttaan eli asemakaavan pohjakarttaan sekä kantakartalla esiintyviin rakennuksiin ja etenkin rakennuksen korkeusasemaan. Insinööriyössä tutkittiin Vantaan kaupungin kantakartalla sijaitsevia rakennuksia ja niiden korko- sekä korkeustietoja ja pyrittiin luomaan prosessi, jonka avulla rakennuksille saataisiin luotettavat korko- ja korkeusarvot laserkeilausaineistoa apuna käyttäen.

Lähtötilanteessa Vantaan kaupungin kantakartan rakennuksilla oli virheellisiä korko- ja korkeustietoja, ja työn tavoitteena oli etsiä keino määrittää korko- ja korkeusarvot laserkeilausaineiston avulla. Työtä aloitettaessa oletuksena oli, että laserkeilausaineistosta olisi mahdollista maanpinnan laserkeilauspisteiden avulla hakea rakennuksille puuttuvat korkoarvot. Arviota varten luotiin FME-prosessi, jonka avulla haettiin laserpisteistä korkoarvot kaikille niille rakennuksille, joilla oletettiin jo olevan oikea korkoarvo, ja verrattiin näitä lukuja laserpisteistä saatuihin arvoihin.

Tuloksia tarkasteltaessa vaikutti, että laserkeilausaineiston käyttäminen tähän tarkoitukseen olisi helppo tapa hakea puuttuvat tiedot suurelle aineistomäärälle. Laserkeilausaineistosta saadut rakennusten korkoarvot vaikuttivat olevan pääosin melko lähellä olemassa olevia oikein kirjattuja korkoarvoja ja vaikuttivat vastaavan melko hyvin korkeuskäyrien lukemia. Prosessin aikana löytyi kuitenkin jonkin rakennuksia, joiden korkoarvot erosivat yllättävän paljon maanpinnan tasosta.

Laserkeilausaineistosta saadaan rakennusten korkeusasemalle arvo, joka on maanpinnan tasossa. Koska esimerkiksi rakennuksen sokkelissa voi olla vaihtelua useita kymmeniä senttejä, on maantasossa oleva Z-arvo riittävän hyvä vaihtoehto lähtötilanteeseen nähden. Maantasossa olevaa Z-arvoa tukee myös tuleva 3D-kaupunkimalli, jossa rakennuksen ei haluta leijuvan ilmassa ja jossa rakennuksen pohjan olisi parempi alkaa heti maanpinnalta sokkelin yläreunan sijaan.

Laserkeilausaineistosta saatuja korkoarvoja haluttiin verrata alkuperäisiin rakennusten korkoarvoihin, ja tuloksista löytyi jonkin verran yllätyksiä. Erityisen yllättävää oli, että aineistosta löytyi rakennuksia, joiden Z-arvo poikkesi jopa yli 10 metriä alueen korkeuskäyristä. Yhtenä mahdollisena virhelähteenä pidettiin mahdollisuutta, että rakennuksille olisi muodostunut virheellisiä geometria- ja ominaisuustietoja rakennusten muokkauksen yhteydessä.

Ongelmista huolimatta laserkeilauksesta saatua maantasossa olevaa korkoarvoa pidettiin hyvänä vaihtoehtona rakennuksen korkoarvolle, jos rakennuksella on selkeästi virheellinen tai puuttuva korkoarvo.

Alun perin tavoitteena oli luoda samankaltainen prosessi myös virheellisille rakennusten korkeuksille. Työtä tehdessä kuitenkin todettiin, ettei saatavilla olevan aineiston avulla ollut mahdollista tehdä luotettavaa vertailua rakennusten korkeuksien osalta, vaan täytyisi odottaa uudemman laserkeilausaineiston valmistumista.

Lähteet

- 1 Asemakaavan pohjakartta. Verkkoaineisto. Vantaan kaupunki. <<https://www.vantaa.fi/fi/palveluhakemisto/palvelu/asebakaavan-pohjakartta>> Luettu 5.2.2023.
- 2 JHS 185 Asemakaavan pohjakartan laatiminen. Verkkoaineisto. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. <<https://www.suomidigi.fi/ohjeet-ja-tuki/jhs-suositukset/jhs-185-asebakaavan-pohjakartan-laatiminen>> 20.3.2013. Luettu 5.2.2023.
- 3 Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. 5.2.1999/132.
- 4 Kaupunkikartta-karttataso. Verkkoaineisto. Vantaan kaupunki. <<https://kartta.vantaa.fi/>> Luettu 7.2.2023.
- 5 Määttä, Heidi. 2022. Paikkatieto-esimies, Vantaan kaupunki. Palaveri. 9.2.2022.
- 6 Rakentamisen työvaihe. Vantaan kaupunki. Verkkoaineisto. <<https://www.vantaa.fi/fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen-ja-tontit/rakennusvalvonta/tyomaavaihe>> Luettu 12.2.2023.
- 7 Rakennusjärjestys 1.1.2011. Vantaan kaupunki. Verkkoaineisto. <<https://www.vantaa.fi/fi/asuminen-ja-ymparisto/rakentaminen-ja-tontit/rakennusvalvonta/rakentamisen-luvat-ja-ohjeet/vantaan-kaupungin-rakennusjarjestys>> Luettu 10.2.2023.
- 8 Ympäristöministeriön asetus rakennusten kosteusteknisestä toimivuudesta. 2017. 728/2017.
- 9 Maankäyttö- ja rakennusasetus. 1999. 10.9.1999/895.
- 10 ArcGIS Pro Uuden sukupolven paikkatieto-ohjelmisto. Verkkoaineisto. Esri Finland Oy. <<https://www.esri.fi/fi-fi/tuotteet/arcgis-pro/yleiskuvaus>> Luettu 6.2.2023.
- 11 Buhani, Noora. 2020. Vantaan maaomaisuuden hallinta Matti-järjestelmässä. Insinööritoimisto. Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus tietokanta.
- 12 FME Desktop – Joustava ja tehokas muunnosohjelmisto, jota käyttävät tuhannet asiantuntijat ympäri maailman. Verkkoaineisto. Spatialworld Oy. <<https://spatialworld.fi/fi/fme/fme-desktop/>> Luettu 7.2.2023.

- 13 Työkertomus - Laserkeilaus ja ilmakuvaus Järvenpään, Keravan, Nurmijärven, Tuusulan ja Vantaan Alueella. 2019. TerraTec Oy. PDF-dokumentti.
- 14 Määttä, Heidi & Örn, Ossi. 2022. Vantaan kaupunki. Palaveri. 23.9.2022.