

3D-KAUPUNKIMALLIN TUOTTAMINEN JA HYÖDYNTÄMI- NEN YRITYKSESSÄ

Päivi Harjuniemi

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikan ja liikenteen ala
Maanmittaustekniikan
koulutusohjelma

Tekijä	Päivi Harjuniemi	Vuosi	2015
Ohjaaja	Jaakko Lampinen		
Toimeksiantaja	Suomen Kuntotekniikka Oy		
Työn nimi	3D-kaupunkimallin tuottaminen ja hyödyntäminen yrityksessä		
Sivu- ja liitemäärä	38 + 4		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli perehtyä 3D-kaupunkimallien tuottamiseen ja tutustua yleisesti niiden käyttötarkoituksiin, lähtöaineistoon ja ohjelmistoihin. Ensisijainen tavoite oli tuottaa Rovaniemestä kolmiulotteinen kaupunkimalli yrityksen käyttöön ilmaisia aineistoja käyttäen. Työssä selvitetään, mihin kaupunkimallia hyödynnetään ja onko sillä käyttöä yrityksessä. Työssä perehdytään tarkemmin myös siihen, mikä kaupunkimalli on ja mitä sen tuottamiseen tarvitaan. Käyn myös lyhyesti läpi laserkeilauksen periaatteen, sillä kaupunkimallin aineisto on tuotettu laserkeilaamalla.

Työssä käydään läpi tekemäni 3D-kaupunkimallin mallintamisen työprosessi. Mallintamisen vaiheiden periaatteet käydään vain lyhyesti läpi. Kaupunkimallin tuottamisessa käytettiin ainoastaan Maanmittauslaitoksen avoimiin aineistoihin kuuluvia laserkeilausaineistoa sekä ortoilmakuvaa. Ohjelmistona toimi Microstationin pohjalla toimiva Terrasolid.

Työn suurimmat haasteet olivat oma vähäinen tietämys kaupunkimalleista sekä uuden ohjelmiston oppiminen itsenäisesti. Työn tuloksena syntyi toimiva kaupunkimalli. Lisäksi Kuntotekniikalle tehtiin ohje kaupunkimallin aukaisemiseen. Mallia voi hyödyntää moneen käyttötarkoitukseen pienellä päivittämisellä. Mallia voidaan käyttää esimerkiksi suunnittelussa ja visualisoinnissa.

Technology,
Communication and Transport
Degree Programme of Land Surveying

Author	Päivi Harjuniemi	Year	2015
Supervisor(s)	Jaakko Lampinen		
Commissioned by	Kuntotekniikka Oy		
Subject of thesis	Production and Utilization of the 3D City Model in a Company		
Number of pages	38 + 4		

The purpose of this thesis was to study the production of 3D city models and to become acquainted generally with the purposes of use, a start material and a software. It was a primary objective to produce a three-dimensional city model from the free material in the city of Rovaniemi to be used in the company. In the thesis it was clarified where the city model is utilised and it has a use in the company. In addition, the city model and its usage purposes were studied in more detail. I also briefly through the principle of the laser scanning because the material of city model has been produced by laser scanning.

In the thesis, the work process of the 3D city model was studied. The principles of the stages of the modelling were only briefly discussed. The laserscanning data and ortho aerial photo belonging to the open materials of the National Land Survey of Finland were used in the production of the city model. Terrasolid was used as software and it operates on Microstation.

The author's prior lack of knowledge about the city models and the independent studying of the new software were the greatest challenges. A functional city model was created as a result of this work. Furthermore, an instruction for the opening of the city model was made for Kuntotekniikka. The model can be utilised for many purposes of use with little updating. The model can be used for example in planning and in visualization.

Key words

3D, city model, city modelling, Terrasolid

SISÄLLYS

KUVIOLUETTELO	6
1 JOHDANTO	7
2 3D-KAUPUNKIMALLI	8
2.1 Yleistä kaupunkimalleista.....	8
2.2 Edellytykset kaupunkimallille	9
2.3 Kaupunkimallien kehitys	9
2.4 Käyttökohteet.....	10
2.4.1 Kaupunkimallit Suomessa ja Ulkomailla	10
2.4.2 Sovellusesimerkkejä.....	11
2.5 Lähtöaineisto	13
2.6 Laserkeilaus.....	14
2.7 Teksturointi	16
2.8 Semanttinen malli	18
2.8.1 CityGML	18
2.8.2 LOD-tasot.....	19
2.9 Ohjelmistot.....	20
3 3D-KAUPUNKIMALLIN MALLINNUS	22
3.1 Terrasolid.....	22
3.2 Kaupunkimallin aineisto	24
3.2.1 Laserkeilausaineisto.....	24
3.2.2 Ortokuva.....	25
3.3 Mallinnuksen työvaiheet.....	25
3.3.1 Aineiston lataus ja projektin luonti	25
3.3.2 Kolmiointi ja aineiston luokittelu.....	27
3.3.3 Ortokuvan liittäminen ja tiilitys	27
3.3.4 Rakennusten vektorointi.....	27
3.3.5 Teksturointi ja läpilentoanimaatio	28
4 ROVANIEMEN 3D-KAUPUNKIMALLI	30
4.1 Ongelmat	30
4.2 Ratkaisut.....	32

5 YHTEENVETO	34
LÄHTEET.....	36
LIITTEET	39

KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Havainnekuva Tampereen asuntomessualueelta. (Tamminen 2012, 40)	9
Kuvio 2. Kaupunkimalli Berliinistä (Berlin Business Location Center 2015)	11
Kuvio 3. Tulvamallinnus (Zeiss 2011)	12
Kuvio 4. Melulaskenta (Suomisto 2013, 17)	13
Kuvio 5. Kolmioitu maastomalli (Terrasolid 2015a, 1)	14
Kuvio 6. Ilmalaserkeilauksen periaate (Kareinen 2007, 3)	15
Kuvio 7. a) Maalaserkeilaus b) Ilmalaserkeilaus (Kinnunen 2013, 8)	16
Kuvio 8. Viistokuvilla teksturoitu kaupunkimalli (Terrasolid 2013, 25)	17
Kuvio 9. CityGML LOD-tasot (SimStadt 2015)	20
Kuvio 10. Kaupunkimalli Rovaniemestä	22
Kuvio 11. Yhden blokin laserpisteet	26
Kuvio 12. Väärin vektoroidut rakennukset	28
Kuvio 13. Rasterikolmiointi ja vektoroidut rakennukset	29
Kuvio 14. Korkeuserot havainnollistettuna kolmioverkolla	31
Kuvio 15. Sillat kuopalla	32

1 JOHDANTO

Kolmiulotteiset kaupunkimallit ovat yleistynyt tapa esittää kaupunkien nykytilaa virtuaalisesti. Tekniikan kehittymisen myötä kaupunkimallien teko on nopeampaa ja tehokkaampaa. Kokonaisen kaupungin voi nykyään mallintaa automatisoidusti jopa muutamassa päivässä. Kaupunkimalleilla on lukuisia käyttökohteita ja tulevaisuudessa niiden käyttö varmasti lisääntyy. 3D-kaupunkimallit ovat nostaneet suosiotaan viime vuosina myös Suomessa. Kaupungit ja kunnat ovat entistä kiinnostuneita mallien tuottamisesta. Julkisen sektorin lisäksi kaupunkimallit ovat hyödyllisiä myös yritysten toiminnassa. Kehittyvässä ja muuttuvassa tietoyhteiskunnassa eri viranomaistahot tarvitsevat yhtenäistä ja vähemmän aikaa vievää mallia. Sellaisen apuvälineen, jonka avulla päätöksenteot ja vuorovaikutus kansalaisten kanssa olisi laadukkaampaa ja helpompaa. Kaupunkimalli on näihin kriteereihin sopiva vastaus.

Tämä opinnäytetyö on toteutettu Suomen Kuntotekniikka Oy:n toimeksiannosta Rovaniemellä. Aiheesta kiinnostuin ensimmäisen kerran koulussa paikkatietojen visualisointi-kurssilla, jossa harjoiteltiin virtuaalimallin tekoa. Vähän myöhemmin tulikin mahdollisuus tehdä opinnäytetyö kaupunkimallin teosta.

Kaupunkimalli on lähtökohtaisesti tarkoitus mallintaa kustannustehokkaasti ja tutkia sen käyttöä sekä löytää mahdollisia käyttökohteita. Aineistona käytettiin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa ja ortokuvaa. Aineistot ovat ilmaisia ja vapaasti ladattavissa Maanmittauslaitoksen Internet-sivuilta.

Työn alussa kerron yleisesti kolmiulotteisista kaupunkimalleista ja niiden käytöstä. Käyn läpi lyhyesti laserkeilauksen perusteita, sillä kaupunkimalli on tehty laserkeilausaineistosta. Sen lisäksi käyn läpi tekemäni kaupunkimallin mallinuvaiheet. Tarkoituksena ei ollut tehdä opasta mallin tekoon, joten kerron vain mallinnukset perusasiat. Lopuksi kerron miten kaupunkimallin teko sujui sekä löytyikö sille sopivia käyttötarkoituksia. Tuon myös esille mallinnuksen aikana vastaan tulleita ongelmia ja esitän ratkaisuja niihin.

2 3D-KAUPUNKIMALLI

Kolmiulotteiset kaupunkimallit ovat varmasti tulleet monille tutuiksi tietokone, -ja konsolipelien kautta. Peleissä on mallinnettu useimmiten kuvitteellisia kaupunkoja. Oikeassa elämässä kaupunkien kolmiulotteisten mallien ylläpito on varsinkin ulkomailloilla yleistynyt. Myös Suomessa kaupunkimallit ovat nostaneet suosiota viime vuosina.

2.1 Yleistä kaupunkimalleista

3D-kaupunkimalli on kolmiulotteinen digitaalinen tietomalli kaupungista ja sen rakennetusta ympäristöstä. Yleisesti ottaen kaupunkimallit koostuvat maan pinnasta ja vektoroiduista rakennuksista. Tarkemmissa malleissa voi olla myös mukana kasvillisuus sekä muita pienempiä yksityiskohtia kuten valaisinpylväät ja aidat. Yleensä kolmiulotteiset kaupunkimallit edustavat olemassa olevaa kaupunkia, mutta joissakin sovelluksissa, erityisesti peli- ja viihdealalla ei välttämättä ole vastinetta oikeassa maailmassa. (VEPs 2007.)

Kaupunkimallinnus on kehittynyt nopeasti ja etenkin (puoli-) automaattinen tiedonkeruu mahdollistaa kaupunkimallien luomisen kohtuullisin kustannuksin. Tekniikan kehityksen myötä kaupunkimallien käyttöä voidaan soveltaa kolmiulotteisen paikkatietoinfrastruktuurin eri aloilla sekä kaavoituksessa, televiestinnässä, ekologiassa, matkailussa sekä viihdealalla. Sitä voidaan hyödyntää monipuolisesti suunnittelun apuna sekä havainnollistamistyökaluna (Kuvio 1). Siihen voidaan tallentaa kaikki hankkeeseen liittyvät tiedot ja osapuolet. Kaupunkimalli toimii lähtöaineistona vuosiksi eteenpäin. (VEPs 2007; Isotalo 2013.) Parhaimmillaan kaupunkimalli on kolmiulotteinen tietomalli kaupungista ja paljon enemmän kuin pelkkä kolmiulotteinen kuva. Semantiikan avulla mallin kohteet sisältävät myös muuta tietoa itsestään.



Kuvio 1. Havainnekuva Tampereen asuntomessualueelta. (Tamminen 2012, 40)

2.2 Edellytykset kaupunkimallille

Kaupunkimallin tuottamiseen tarvitaan tietokoneella toimiva kaupunkimallinnukseen soveltuva ohjelmisto ja sopiva aineisto. Ennen mallin tekoa on tärkeää miettiä mihin tarkoitukseen kaupunkimallia tehdään ja millaisen aineiston se vaatii. Ohjelmiston ja aineiston hankinta on parasta tehdä vasta päämäärän selvittyä.

Laserkeilausaineistosta luotavalle kaupunkimallille olisi suotavaa, että laserkeilausaineisto olisi tiheydeltään vähintään 15 pistettä neliömetrillä, jotta esimerkiksi kattomuodot saadaan vektoroitua oikein. Esimerkiksi Seinäjoella kaupunkimallin laserkeilausaineistossa pistetiheys neliömetrillä on 40 pistettä. Kannattaa lähteä liikkeelle myös mahdollisimman ajantasaisesta aineistosta, jotta päivitettävää ei tule myöhemmin kohtuuttomia määriä. Tehokkaita tietokoneita tarvitaan, sillä aineistot saattavat olla hyvinkin suuria. Suomessa kaupunkimallinnuksessa haasteiksi koetaan osaavan henkilöstön puute, tiedonkeruun rahoitus, mallin ylläpidon kustannukset. (Isotalo 2013, 19; Vähätiitto 2014, 9; Savisalo 2015, 13.)

2.3 Kaupunkimallien kehitys

Helsingissä ensimmäiset rakennusten virtuaalimallit tehtiin 1980-luvulla ja vielä ennen vuosituhannen vaihdetta kaupunkimallinnus oli manuaalista ja tietojen käsittely monimutkaista. Mallinnus vaati arvokkaita tehotyöasemia, joista huolimatta

työ oli hidasta, kallista ja tehotonta. 2000-luvulla kehitys oli voimakasta teknologian osalta. Kehityksen mahdollisti mittaustekniikka, laserskannaus ja pistepilvien käsittely, viistoilmakuvaus, OGC:n tietopalvelurajapintojen standardointi, CityGML, streaming-tiedonsiirto ja Web 2.0 sekä ensimmäiset automaattiset rakennusmallintimet. Standardien ohjaama nopea kehitys alkoi 2010-luvulla. Saksassa suuret kaupungit ylläpitävät kattavia CityGML-malleja. Hollannissa CityGML on kansallinen kaupunkimallistandardi. Kehitystä on vauhdittamassa nykyaikaiset selainpohjaiset työkalut, standardoitujen mallien monipuolinen käyttö ja CityGML-pohjaiset tietojärjestelmät. (Suomisto 2014, 10.)

2.4 Käyttökohteet

Kolmiulotteisia kaupunkimalleilla on useita käyttökohteita etenkin julkisella sektorilla kaupunkisuunnittelun eri vaiheissa sekä myös yksityisellä sektorilla (Blom 2010). 3D-mallien käyttömahdollisuudet ovat laajentuneet entisestään viime vuosien aikana, kun mukaan liitetään ominaisuustietoa kohteesta. Esitän muutamia esimerkkejä mihin kaupunkimalleja voidaan hyödyntää. Käyttömahdollisuudet kasvavat varmasti teknologian kehittymisen myötä.

2.4.1 Kaupunkimallit Suomessa ja Ulkomailla

Suomen kaupungissa ja kunnissa 3D-kaupunkimallien tuottaminen ja hyödyntäminen on murroskohdassa. Kaupunkimallit koetaan kiinnostavina ja osa Suomen kaupungeista onkin tuottanut oman mallin. Suurin haaste on osaamisen ja rahoituksen puute. Kaupunkimalleja käytetään enimmäkseen suunnitteluun ja visualisointiin sekä apuvälineenä vuorovaikutuksessa ja päätöksenteossa. Kaupunkien ja kuntien suosituimpia ohjelmia ovat Microstationin pohjalla toimiva Terrasolid, Autodeskin pohjalla toimiva Novapoint, Esri CityEngine, SketchUp ja Safe Softwaren FME. Kaupunkimalleja pidetään tulevaisuuden työvälineenä. (Ahokas 2014, 6; Savisalo 2015,11–12.)

Kaupunkimalleja on nykyään paljon tarjolla julkiseen käyttöön. Esimerkiksi Oulusta löytyy omilta verkkosivuiltaan virtuaalimalli, jossa käyttäjä voi liikkua vapaasti käyttämällä nuolinäppäimiä (Oulu 3D 2015). Espoon Leppävaarasta on tehty kaupunkimalli johon kaupunkilaiset voivat kirjoittaa ehdotuksia ja kommentoida muiden ideoita. (Rantala & Keskitalo 2015). Internetistä löytyy paljon kaupunkimalleja, jotka ovat mallinnettu vain osasta kaupunkia.

Ulkomailla kaupunkimallien käyttö on toista luokkaa kuin Suomessa. 3D-kaupunkimallia ylläpitävät eurooppalaisista kaupungeista esimerkiksi Berliini, München, Hampuri, Wien, Zürich, Bryssel, Pariisi, Bordeaux ja Rotterdam. Tukholma aloitti kaupungin mallintamisen vuonna 2013. Kaupunkimallia käytetään jatkossa tulevissa suunnitelmissa ja on pohjana kehitysideoille. Aukkaat otetaan suunniteluun mukaan verkossa toimivan kaupunkimallin avulla. (Blom 2013; Suomisto 2014, 10.)

Esimerkiksi Berliinissä on tehty kattava kaupunkimalli (Kuvio 2). Rakennuksia laserkeilattiin 890 neliökilometrin alueelta noin 500 000 kappaletta. Tarkempia malleja rakennuksista ja nähtävyyksistä on tehty noin 200 ja myös sisätilat on mallinnettu viidestä nähtävyydestä. (Berlin Business Location Center 2015.)



Kuvio 2. Kaupunkimalli Berliinistä (Berlin Business Location Center 2015)

2.4.2 Sovellusesimerkkejä

3D-kaupunkimalleja hyödynnetään tulva-analyyseissa, -simuloinneissa ja visualisoinneissa. Hyöty on ensinnäkin siinä, että alueet ovat tunnistettavampia, kun

korkeusmalliin on liitetty myös rakennusten kolmiulotteiset mallit (Kuvio 3). Kolmiulotteisten kaupunkimallien käyttö on olennaista määrittäessä tulvariskialueita rannikkoalueille tai herkästi tulvivien jokien lähiympäristöön. Ilmastonmuutoksen lisäämien tulvien ja nykyisten tulvaherkkien paikkojen analysoimiseen käytetään kolmiulotteista aineistoa. (Blom 2010.)



Kuvio 3. Tulvamallinnus (Zeiss 2011)

Kolmiulotteiset mallit ovat erinomainen työkalu kaupunki-, alue- ja maisemasuunnittelussa. Kolmiulotteisten mallien avulla kavasuunnittelemien, liikenneväylien ja uusien asuinalueiden havainnollistaminen kansalaisille ja päättäjille on helppoa ja suunnitelmat ovat paremmin ymmärrettävissä. Kaupunkimallit auttavat hankkeisiin liittyvissä päätöksenteoissa sekä eri suunnitelmavaihtoehtojen vertailussa ja simuloinneissa. (Blom 2010.) Olemassa olevan ympäristön kolmiulotteinen malli on hyvä pohja suunnittelulle. Suunnitelmien teko ja erilaisten suunnitelmien vertailu helpottuu, kun voidaan tutkia todellisen ympäristön vaikutuksia suunnittelun eri vaiheissa. Myös suunnittelijan työ helpottuu, sillä työn näkee valmiina digitaalisessa muodossa oikeassa ympäristössä.

3D-kaupunkimallien avulla voidaan teettää erilaisia analyysejä, kuten maisema-analyytit, kaltevuudet, varjostustarkastelut esimerkiksi tornitalot, meluselvitykset

(Kuvio 4). LOD 2 tarkkuus riittää keskeisiin melu-, varjostus ja energia-analyyseihin. (Suomisto 2013, 8; Suomisto 2014, 11–12.)



Kuvio 4. Melulaskenta (Suomisto 2013, 17)

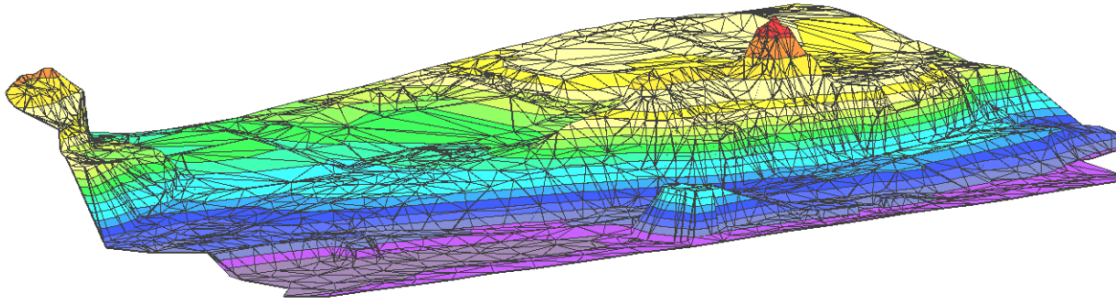
2.5 Lähtöaineisto

Kaupunkimallinnuksessa voidaan käyttää useita erilaisia aineistoja, kuten maastomallia, kolmiulotteisia rakennusmalleja ja pintatekstuuria. Aineiston tarkkuuden vaatimukset riippuvat siitä mihin tarkoitukseen kaupunkimallia käytetään. Lähtöaineistona voi esimerkiksi käyttää kantakarttaa, maastomalliaineistoa, laserkeilausta, paikkatietoja, rekisteritietoja ja ylläpitojärjestelmien tietokantoja (Vianova 2015.)

Kolmiulotteiset kohteet, kuten rakennukset kuvataan usein rautalankamallina (Erving 2007c, 10). Kattomuodot voivat olla yleistettyjä eivätkä välttämättä vastaa todellisia muotoja. Kaupunkimallin tarkkuudesta riippuen katot voivat olla myös pelkkiä tasakattoja, mutta tarkemmissa kaupunkimalleissa katot voivat vastata

hyvinkin todellisuutta. (Blom 2010.) Rakennukset voidaan vektoroida laserkeilausaineistoista tai käyttää kaupunkien omia aineistoja. Muita kolmiulotteisia kohteita voi olla puut, katulamput, liikennemerkkit- ja valot, aidat ja muu kasvillisuus.

Maastomallia käytetään kaupunkimallin pinnan muotojen kuvaamiseen. Maastomalli koostuu maaston pinnanmuotojen korkeuspisteistä ja taiteviivoista avaruuskoordinaatistoon (x, y, z) sijoitettuna. Tämän avulla maanpinta kolmioidaan ja saadaan aikaiseksi kolmioverkko (Kuvio 5). Tarvittavat tiedot maastomalliin voidaan kerätä käyttämällä ilmakuvasta, maastomittausta tai kaukokartoitusta. (Erving 2007c, 10; Reinikainen 2015, 3.) Laserkeilaamalla saadaan helposti ja nopeasti maastomallin aineisto koottua.



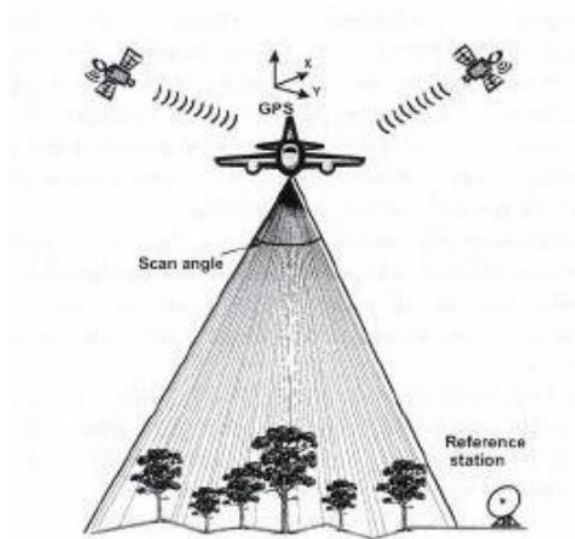
Kuvio 5. Kolmioitu maastomalli (Terrasolid 2015a, 1)

2.6 Laserkeilaus

Laserkeilaus on tapa hankkia kolmiulotteista tietoa maanpinnasta ja sen päällä sijaitsevista kohteista, kuten puista ja rakennuksista. Etuna laserkeilauksessa on se, että sitä voidaan käyttää luoksepääsemättömissä kohteissa esimerkiksi, korkeat tilat ja vaikeakulkuiset paikat. (Suominen 2009, 45–46.)

Mittaus tapahtuu laserkeilaimella kohteeseen koskematta. Laserkeilaus perustuu laserkeilaimen lähettämiin laserpulsseihin, jotka kohteeseen osuessaan heijastuvat takaisin vastaanottimeen ja tallentuvat pisteiksi. Paikannustiedot saadaan käyttämällä satelliittimittausta, laserin etäisyysmittausta sekä inertia- eli kallistusmittausta (Kuvio 6). Laserkeilain tuottaa geometrisen pistepilven eli x -, y - ja z -

koordinaatit. Pistepilvessä voi olla miljoonia pisteitä. Mittauksen tarkkuuteen vaikuttavat sääolosuhteet kuten tuuli, lumi- ja vesisade sekä pöly. (Suominen 2009, 45; Maanmittauslaitos 2015b.)

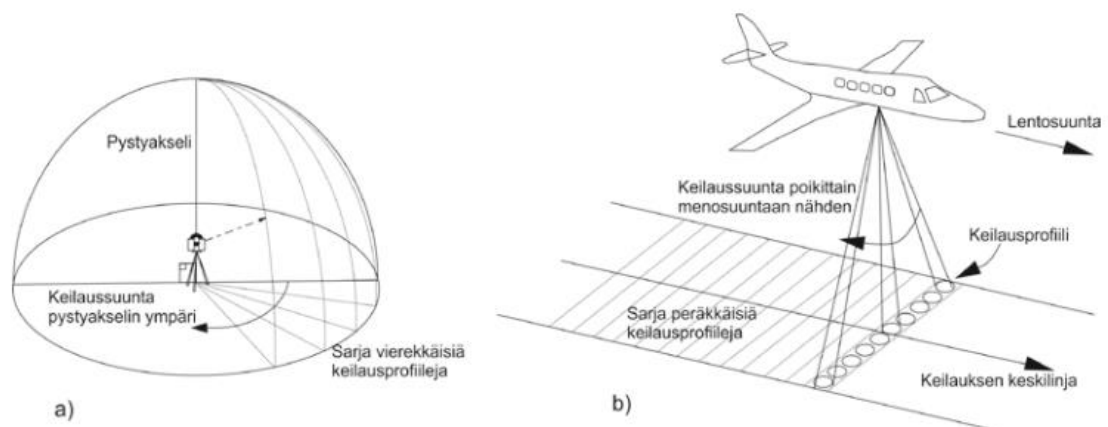


Kuvio 6. Ilmalaserkeilauksen periaate (Kareinen 2007, 3)

Lasersäde lähtee liikkeelle laitteen nollapisteestä. Lasersäteen avulla mitataan kohteen etäisyys mittalaitteesta. Jokaiselle mitatulle pisteelle voidaan laskea koordinaatit, kun tiedetään valosignaalin lähtökulmat ja matka. Koordinaattien lisäksi järjestelmä tallentaa pisteille myös intensiteettiarvon paluusignaalin voimakkuuden perusteella. Jokainen piste saa sävyarvon intensiteetin perusteella. Tämä helpottaa aineiston tulkintaa. Intensiteettiin vaikuttavat materiaali, osumiskulma kohteeseen, värisävyt ja kohteen tasaisuus. (Suominen 2009, 45; Cronvall, Kråknäs & Turkka 2012, 10–11.)

Ilmalaserkeilaus tapahtuu helikopterista tai lentokoneesta (Kuvio 6 ja 7b). Mittauskohteesta riippuen lentokorkeus on noin 60–1500 metriä. Mittaukset tehdään noin parin sadan metrin levyisinä nauhamaisina lentolinjoina. Tarkkuus voi yltää jopa 10 senttimetriin. Tarkkuuteen vaikuttavat lentokorkeus ja nopeus, pulssitiheys, keilauskulma, laserkeilan leviäminen, sijainnin ja asennon määrittelyn tarkkuus ja mitattavan kohteen ominaisuudet. (Suominen 2009, 45; Cronvall yms. 2012, 10–11.)

Maalaserkeilaimella mittaus tapahtuu maanpinnalta (Kuvio 7). Keilausjärjestelmä koostuu kolmijalasta, pakkokeskistysalustasta, keilaimesta ja tietokoneesta. Maasta tehtävällä keilauksella mallinnetaan esimerkiksi rakennusten julkisivuja, teollisuuslaitosten rakenteita ja arkeologisia kohteita. (Suominen 2009, 46.) Tarkkuus voi olla jopa 1–2 millimetriä. Sillä saadaan tarkempaa ja tiheämpää aineistoa kuin ilmalaserkeilauksella ja on myös edullisempi pienissä kohteissa. (Hohenthal, Alho, Hyyppä & Hyyppä 2011, 6.)



Kuvio 7. a) Maalaserkeilaus b) Ilmalaserkeilaus (Kinnunen 2013, 8)

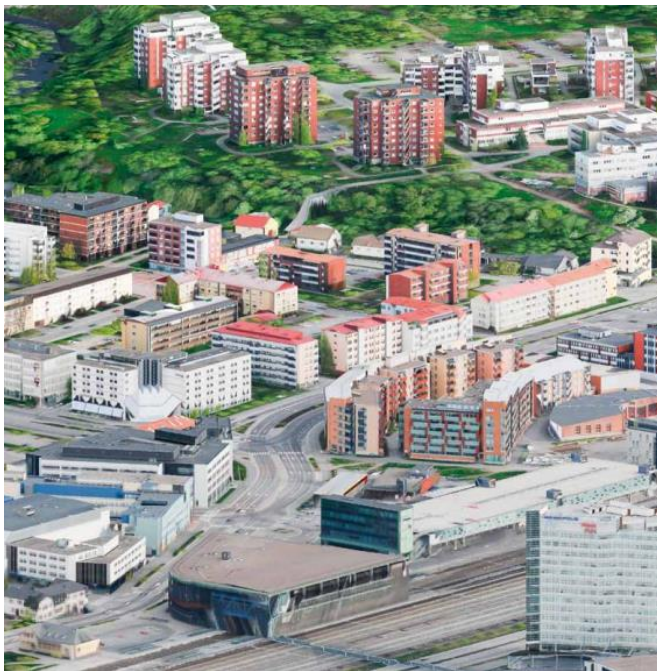
Mobiililaserkeilaus suoritetaan liikkuvasta kulkuneuvosta. Laserkeilain voidaan sijoittaa joko autoon tai veneeseen. Mittaus tapahtuu yhdellä tai kahdella 360 asteen laserkeilaimella, satelliittipaikantimella sekä inertiamittausjärjestelmällä. (Cronvall yms. 2012, 14–15.) Menetelmä on nopeampi laajempien alueiden kartoittamiseen kuin staattinen maalaserkeilaus (Hohenthal yms. 2011, 6–7).

Laserkeilaus on nopea tapa tuottaa aineistoa 3D-kaupunkimalleihin. Myös laserkeilauksen tarkkuus on riittävä. Kaupunkimallin aineistoissa voidaan hyödyntää näitä kaikkia keilaustapoja, mutta myös näiden yhdistelmiä.

2.7 Teksturointi

Teksturointi tarkoittaa pintakuviointin liittämistä 3D-mallin pintaan. Pintakuviointi eli tekstuuri voi koostua yhdestä väristä, keinotekoisesta kuviosta tai oikeasta valokuvasta. Teksturointi lisää kohdemallin realistisuutta ja tietosisältöä, ja sitä käytetäänkin nykyään paljon 3D-mallien yhteydessä. (Erving, 2007b, iii.)

Normaalisti kattotekstuurit otetaan ilmakuvilta ja seinätekstuurit maakuvilta. Lisäksi julkisivutekstuurien resoluutio ilmakuvilla on heikompi kuin maakuvilla. Ilmakuva otetaan yleensä lähes kohtisuoraan ylhäältä alas, joten vain kattotekstuurit tulevat kunnolla näkyviin. Myös viistoilmakuvia käytetään teksturointiin, jolloin koko kuva-aluetta voidaan hyödyntää tekstuurin hankinnassa (Kuvio 8). Kuvia pitää ottaa viistosti eri puolilta rakennusta, jotta jokainen sivu saadaan näkyviin. (Erving 2007b, 36.)



Kuvio 8. Viistokuvilla teksturoitu kaupunkimalli (Terrasolid 2013, 25)

Teksturointia voidaan käyttää monissa eri sovelluksissa. Entistä tehokkaammat menetelmät tuottavat yhä realistisemman näköisiä pintakuvioita. Tekstuureja voidaan käyttää minkä tahansa 3D-mallin yhteydessä. 3D-malleja tehdään paljon arvokkaista arkkitehtuurisista kohteista, arkeologisista löydöistä sekä laajoista kaupunkialueista. Näihin on mahdollista lisätä tekstuuri oikealta valokuvalta. Lisäksi mallinnusta käytetään esimerkiksi teollisuuden simulointisovelluksissa ja kaupunkisuunnittelussa. Näissä tapauksissa aitoa valokuvatekstuuria ei ole saatavilla, joten on turvaututtava tekstuurikirjastoihin, keinotekoisiiin kuvioihin tai yksittäisiin väreihin. (Erving 2007b, 1.)

Kaupunkimallit voivat olla myös fotorealistisia, jolla tarkoitetaan sitä, että mallit ovat teksturoitu kohteesta otetuina valokuvina. Fotorealistinen kaupunkimalli sisältää kaiken sen informaation, mistä kaupunkiympäristö koostuu, esimerkiksi rakennukset, sillat, puut, kasvit, autot, maanpinnan ja vesialueet. Koska pintatekstuurit tulevat valokuvilta, luotu malli ja todellisuus ovat yhteneväiset. Esimerkiksi puiden latvukset eivät kuvaudu luonnottomasti rakennuksien julkisivuihin. (Blom 2013.) Fotorealistisen kaupunkimallin saa helposti käyttämällä viistokuvia ja ortokuvaa.

2.8 Semanttinen malli

Semanttiset 3D-mallit sisältävät tietoa ulkoasun ja geometrian lisäksi myös ominaisuustietoa kohteesta kuten rakenteesta, ominaisuuksista ja suhteista muihin kohteisiin (Reini 2011, 26). Kaupunkimallissa rakennus voi esimerkiksi sisältää tietoa sen käyttötarkoituksesta ja rakennusvuodesta. Tietosisällön ansiosta voidaan mallien avulla tehdä erilaisia kyselyjä, analyysejä ja simulaatioita. (Erving 2007a, 36)

2.8.1 CityGML

CityGML (City Geography Markup Language) on avoin tietomalli, joka on erikoistunut kolmiulotteisen rakennetun ympäristön mallinnukseen ja tiedonsiirtoon. Sen perustana on normaali GML (Geography Markup Language), joka on XML-pohjainen standardimuotoinen paikkatiedon esitysmuoto. OGC (Open Geospatial Consortium) hyväksyi CityGML:n spesifikaation standardiksi vuonna 2008. (Erving 2008, 25–26.) Siitä on ilmestynyt myös toinen versio ja sekä kolmas versio on työn alla (Suomisto 2014, 12).

Standardin myötä tiedon jakaminen, tallennus ja esittäminen ovat huomattavasti helpottuneet ja myös mahdollistanut useiden eri aineistojen sekä ohjelmistojen yhteiskäytön. CityGML on työkalu semanttisten mallien tekoon ja se soveltuu yksittäisten rakennusten kuin myös laajojen alueiden kuvaamiseen. CityGML sisäl-

tää useita erilaisia kohdetyyppejä kaupunkialueiden kuvaamiseen. Näin ollen tietomalliin on helppo sisällyttää sellaiset kohteet, jotka ovat ominaisia rakennetulle alueelle. Näitä ovat esimerkiksi maastomallit, rakennelmat, kasvillisuus, vesialueet, liikennealueet sekä muut ympäristöön kuuluvat asiat, kuten liikennemerkkit. CityGML:ssä kohteet voivat sisältää linkkejä ulkoisiin tietokantoihin. (Erving 2008, 25–26.) Esimerkiksi talo sisältää viittauksen kiinteistörekisteriin. Tämä toiminto mahdollistaa erilaisten ominaisuustietojen liittämistä kuvattavaan aineistoon. CityGML on käytössä erityisesti Keski-Euroopan maissa.

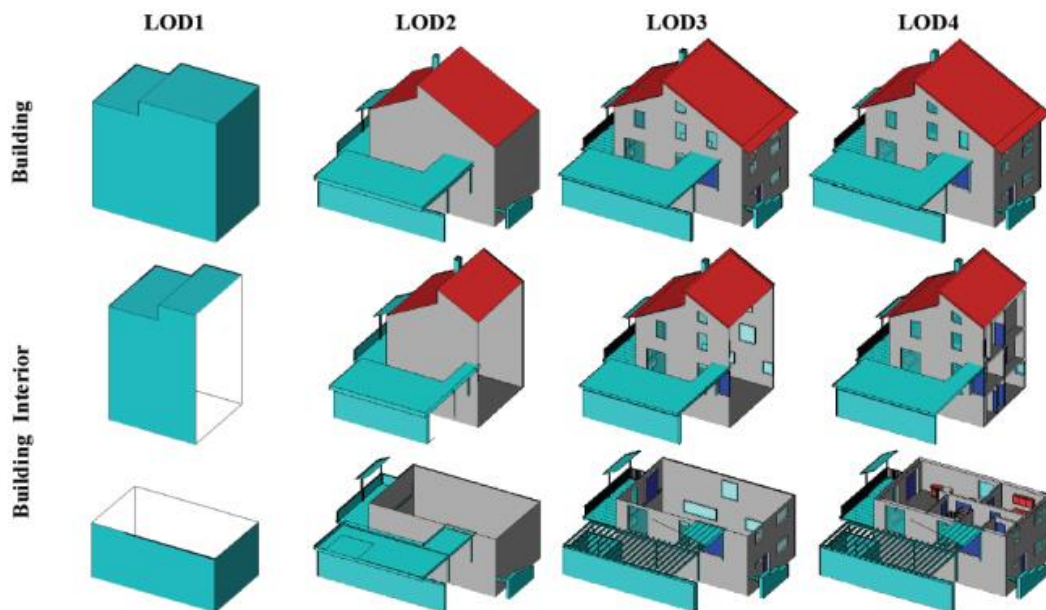
2.8.2 LOD-tasot

Kaupunkimallien muodostamisessa käytetään yksityiskohtien määrään perustavaa kuvaustekniikkaa. LOD on lyhenne englannin kielisestä sanasta level of detail, joka tarkoittaa eri yksityiskohtatasoa. CityGML erittelee viisi eri yksityiskohtatasoa. Mitä korkeammalle tasolle nousee, sitä yksityiskohtaisemmaksi kohteet muuttuvat (Kuvio 9). (Erving 2007a, 36.)

LOD-tasot:

- LOD0 on karkein hierarkiataso ja sitä käytetään kaksi- ja puoliulotteisena (2,5D). Tekstuurina käytetään esimerkiksi ilmakuvaa tai karttaa.
- LOD1 käsittää laatikkomallin kohteesta. Rakennukset ovat suorakulmaisia ja katot tasoja. Malli voidaan johtaa esimerkiksi pohjapiirustuksesta, jossa rakennukset nostetaan suhteellisiin korkeuksiin.
- LOD2 talot ovat vielä laatikkomaisia, mutta kattogeometria voi olla astetta monimutkaisempi ja rakennus voi sisältää muita muotoja. On tällä hetkellä yleisin Euroopassa käytetty kaupunkimallien tarkkuus. Tämä tarkkuus riittää melu-, varjostus- ja energia-analyysihin. Ja on myös teksturoituna riittävän tarkka visualisointiin.
- LOD3 on erittäin yksityiskohtainen rakennusmalli, jossa on selvästi erotettavissa arkkitehtuurisia piirteitä sekä seinien ja kattojen yksityiskohtia, parvekkeet, syvennykset, ja ulokkeet. Lisäksi pinnoilla voi olla tarkka tekstuuri. Myös tällä tasolla on kuvaukset kasvillisuudesta ja liikenteestä.

- LOD4 on tarkin yksityiskohtataso. Siinä rakennusten ulkopuolen yksityiskohtia jatketaan rakennuksen sisäpuolelle. Näkyvissä ovat jo muun muassa huoneet, sisäovet, huonekalut ja rappuset. (Erving 2007a, 36; Suomisto 2013.)



Kuvio 9. CityGML LOD-tasot (SimStadt 2015)

2.9 Ohjelmistot

Kaupunkimallin tuottamiseen on kehitetty monenlaisia ohjelmistoja. Nykypäivänä ohjelmistotarjonta on todella laaja. Oikealla ohjelmistovalinnalla on mahdollisuus säästää aikaa, sillä ohjelmilla on yksilölliset käyttötarkoitukset. Hyvällä ohjelmistolla voidaan tuottaa massiivisia ja mahdollisimman tarkkoja kaupunkimalleja. Tämän kaupunkimallin tekoon on käytetty Terrasolidin TerraScania, TerraModelle-ria ja TerraPhotoa. Terrasolidin ohjelmiin olen perehtynyt paremmin käytetyt ohjelmistot kohdassa. Muita suosittuja ohjelmistoja ovat esimerkiksi Esrin CityEngine, Novapointin Virtualmap. SketchUp ei ole perinteinen kaupunkimallinnus ohjelma, sillä voi kuitenkin mallintaa rakennuksia ja kaupunkialueita vaivatta.

Agencyn 9:n CityPlanner on web-pohjainen 3D-visualisointipalvelu, jota voi käyttää kaupunkisuunnitteluun-, kiinteistö-, infra-, - struktuuri- ja energiahankkeisiin.

Verkkopalvelussa suunnitelmat voidaan julkaista kaikkien katseltavaksi. CityPlanner ei tarvitse erillistä asennusta vaan toimii Javaa tukevissa selaimissa. (CityPlanner 2015.)

3 3D-KAUPUNKIMALLIN MALLINNUS

Tässä opinnäytetyössä tuotettiin kolmiulotteinen kaupunkimalli Rovaniemen keskustasta ja sekä sen ympäröivistä asutusalueista. Alue on yhteensä 36 neliökilometriä. Kaupunkimalli tehtiin Terrasolid-ohjelmistolla. Kaupunkimallin teossa on käytetty apuna Terrasolidin kotisivuilta löytyviä käyttöoppaita ja harjoitusanimaita. Mallinnuksessa on käytetty ainoastaan Maanmittauslaitoksen ortoilmakuvaa ja laserkeilausaineistoja. Molemmat lähtöaineistot ovat ladattavissa ilmaiseksi Maanmittauslaitoksen internet-sivuilta.



Kuvio 10. Kaupunkimalli Rovaniemestä

3.1 Terrasolid

Suomalainen Terrasolid on perustettu vuonna 1989 ja työllistää 12 henkilöä. Asiakkaita on yli 90 maassa ja yhtiö on saavuttanut arviolta maailmanlaajuisesti yli 85 prosentin markkinaosuuden ilma- ja mobiililaserkeilauksen pistepilven käsitelystä. Terrasolidin sovellukset ovat rakennettu Bentley'n Microstation V8i ohjelmiston päälle. (Salolahti 2012, 3–9.)

Terrasolid ohjelmisto-perhe kattaa koko tuotantoketjun raakadatan kalibroimisesta ja sovittamisesta aina 3D-vektorimallien luomiseen ja maastoesityksiin. Terrasolid ohjelmistoissa on olemassa myös kevyitä versioita. Kaikki ohjelmat ovat maksullisia. Terrasolidin tuotteet voidaan jakaa mittaus- ja tiedonkeruu ohjelmistoihin sekä suunnitteluohjelmistoihin. (Terrasolid 2012, 3; Lehtonen 2010, 11–13.) Kaupunkimalliin teossa käytettiin Terrasolidin kolmea ohjelmaa: TerraScan, TerraModeller ja TerraPhoto.

Terrascan on tarkoitettu laserkeilauksen pistepilviaineiston käsittelyyn. Sillä voidaan käsitellä ilmalaserkeilattua ja maassa keilattua aineistoa. Sovelluksella voi tarkastella pisteitä kolmiulotteisesti, luokitella pistepilveä uudelleen automaattisesti suodattimien avulla sekä ja luoda vektoreita. Rakennuksien vektorointi on myös automaattista. Pisteiden määrän kasvaessa kohtuuttoman suureksi, voidaan alue jakaa pienempiin alueihin eli blokkeihin (englanniksi block). Datan käsittely voidaan automatisoida käyttämällä makroja. (Terrasolid 2014, 14.) TerraScanista löytyy yli sata erilaista toimintoa.

TerraModeller on maanpintojen mallinnukseen tarkoitettu sovellus. Pintamallia voi havainnollistaa korkeuskäyrillä, värjätyllä kolmioverkolla tai värjätyllä ristikkoverkolla. Pintamallia voi muokata sujuvasti poistamalla, lisäämällä ja liikuttamalla pisteitä. (Terrasolid 2015a, 9.)

TerraPhoto on ohjelma ilmakuviin orto-oikaisuun. Ohjelmalla voidaan tasoittaa värisiirtymiä kuvien välillä. Ortoilmakuvan siirtäminen maanpinnalle onnistuu TerraPhoton avulla. Sillä voidaan myös luoda automaattisesti seinätekstuurit suoraan seinien pinnalle ilmaviistokuvista.

Terrasolidin muut keskeisimmät tuotteet ovat TerraMatch (lentolinjojen sovitus) ja TerraStereo (isojen laserkeilausaineistojen visualisointi ja katselu stereona reaaliajassa). Terrasolidilta löytyy ohjelmistoja myös infrasuunnitteluun. (Lehtonen 2010, 13.)

3.2 Kaupunkimallin aineisto

Tämän kaupunkimalli koostuu ainoastaan Maanmittauslaitoksen avoimista aineistoista. Maanmittauslaitoksen digitaaliset maastotietoaineistot ovat kansalaisten ja yritysten ilmaisessa ja vapaassa käytössä. Aineistoja voi ladata ilmaiseksi tiedostopalvelusta. Aineistoja voi myös tilata. Kaupunkimallin teossa on käytetty laserkeilausaineistoa ja ilmaortokuvaa. (Maanmittauslaitos 2015c.)

3.2.1 Laserkeilausaineisto

Laserkeilaamalla saadaan aikaiseksi tarkkaa kolmiulotteista tietoa maanpinnasta ja maanpinnalla olevista kohteista. Jokainen piste saa x, y, z koordinaatin. Kaikki pisteet tallennetaan pistepilveen, joka sisältää koordinaattitiedot sekä laserkeilausalueen pulssitiedot. (Maanmittauslaitos 2015b.) Laserkeilausaineisto on tarkin Maanmittauslaitoksen korkeustietoaineisto (Maanmittauslaitos 2015a).

Pistepilviaineisto on jaoteltu yhdeksän neliökilometrin las-muotoisiin tiedostoihin. Aineistossa on käytetty TM-35-FIN koordinaatti- ja N2000 korkeusjärjestelmää. Pistepilven sisältämät pulssiosumat luokitellaan pisteluokkiin. Pisteluokat kertovat mitä tietoa yksittäinen piste edustaa. (Maanmittauslaitos 2015b). Pisteiden etäisyys toisistaan on noin 1,4 metriä eli pistetiheys on vähintään 0,5 pistettä neliömetrillä. Korkeustarkkuuden keskivirhe on enintään 15 senttimetriä ja yksiselitteisillä kohteilla tasotarkkuuden keskivirhe on enintään 60 senttimetriä. (Maanmittauslaitos 2015a.)

Pistepilvi on luokiteltu automaattisesti. Luokittelun tarkastus tehdään Maanmittauslaitoksen ilmakuvien avulla stereomalliavusteisesti. (Maanmittauslaitos 2015b.)

Pisteluokat:

- Luokittelematon (unclassified), alkutilanteessa kaikki pisteet kuuluvat tähän luokkaan. Lopputilanteessa luokkaan kuuluvat pisteet joiden luokitus ei ole muuttunut

- Peittoalue (overlap), lentojonojen päällekkäisiltä alueilta yhden jonon pisteet
- Matala kasvillisuus (low vegetation)
- Matalat virhepisteet (low point), voivat johtua esim. kirkkaista kohteista, voimakkaasta häikäisystä. Osa pisteistä on poistettu tai siirretty muuhun luokkaan
- Maanpinta (ground)
- Vakavedet (water)
- Virtavedet (stream)
- Siltapisteet (bridge) (Maanmittauslaitos 2015a.)

3.2.2 Ortokuva

Maanmittauslaitoksen ortokuvat kattavat koko Suomen. Maastoresoluutio on 0,5 metriä. Päivitystiheys on 3–10 vuotta. Aineisto on rajattu alueellisesti karttalehti-jaon perusteella (5 x 5 km tai 6 x 6 km). Suurin osa ortokuvista on mustavalkoisia vuodelta 1995–2008. Väri-infrakuvia on lähinnä Lapin alueelta saatavilla. Ortokuvan sijaintitarkkuus on 0,5–2 metriä johtuen korkeusmallien erilaisuudesta (korkeusmallit 25 m, 10 m tai 2 m). (Paikkatietohakemisto 2015.)

3.3 Mallinnuksen työvaiheet

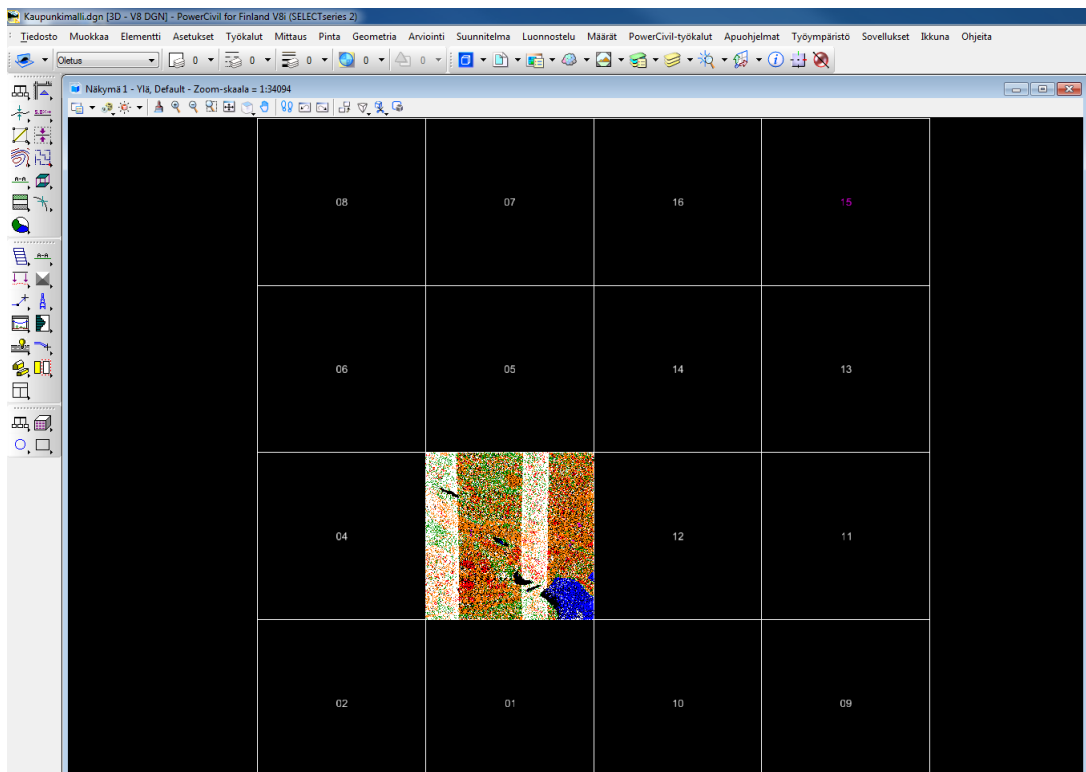
Käyn läpi tekemäni kaupunkimallin työvaiheet läpi, mutta kaikkiin pieniin yksityiskohtiin en perehdy. Kuntotekniikalle tein erillisen ohjeen kaupunkimallin aukaisemiseen.

3.3.1 Aineiston lataus ja projektin luonti

Työ lähti liikkeelle aineistojen lataamisella. Lähtöaineistot ladataan Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta. Tuotteet valitaan listasta ja la-

dataan sähköpostiin lähetetyistä linkeistä. Laserkeilausaineisto on LAZ-tiedosto-
muodossa, jotta sitä voi käyttää, täytyy se purkaa erillisellä ohjelmalla las-tiedos-
tomuotoon. Purkamiseen on käytetty laszip.exe-ohjelmaa. Tämän jälkeen pisteet
ovat luettavissa TerraScan ohjelmassa. Latasin neljä tiedostoa Rovaniemestä,
joka kattaa koko 36 neliökilometriä.

Terrasolidissa pistepilviaineistoja käsitellään projekteina. Laaja aineisto kannat-
taa jakaa pienimpiin osiin eli blokkeihin (englanniksi block). Blokit muodostavat
projektin lehtijaon (Kuvio 11). Tällä tavoin laajempienkin alueiden käsittely ei
tuota ongelmia. Tein malliin kuvan (Kuvio 11) mukaiset blokit, jonka yhden sivun
pituus on kaksi kilometriä. Blokkien avulla dataa käsitellään yksi blokki kerrallaan
manuaalisesti tai luomalla makro eri toiminnoille. Makron avulla toiminnot tapah-
tuvat kaikille blokeille automaattisesti. Itse en perehtynyt makrojen tekemiseen
vaan tein kaikki blokit manuaalisesti.



Kuvio 11. Yhden blokin laserpisteet

3.3.2 Kolmiointi ja aineiston luokittelu

Maanpinta luodaan kolmioimalla. Ennen tätä, maanpinnan pisteverkkoa harvennetaan TerraScanissa model keypoints-toiminnolla. Tämä toiminto luokittelee avainpisteet (model keypoints) maanpinnan laserkeilauspisteistä (ground) harventamalla. Laserpisteitä olisi ilman harvennusta liian paljon kolmioverkon tekoa varten. Maanpinta kolmioidaan Terramodellerin avulla. Luokitelluista avainpisteistä muodostetaan maapinnan kolmioverkko.

Maanmittauslaitoksen keilausaineisto on luokiteltu valmiiksi, mutta kaikkia tarvittavia pisteluokkia ei ole. Puuttuvat pisteluokat katsotaan maanmittauslaitoksen sivuilta ja lisätään ne ohjelmistoon. TerraScanin avulla luokittelu on helppoa. Esimerkiksi rakennukset voidaan luokitella TerraScanissa käyttämällä toimintoa, joka luokittelee rakennukset automaattisesti omaan luokkaan (buildings).

3.3.3 Ortokuvan liittäminen ja tiilitys

Ortokuvia voi ladata TerraPhotoon niin monta kuin on tarpeellista. Rovaniemen alueelta on Maanmittauslaitoksella tarjolla värillinen ortokuva. Kaupunkimalliin tarvitsi ladata vain yksi kuva, sillä se kattaa koko työalueen. Ortokuvaa käytetään pintamallin teksturoinnissa.

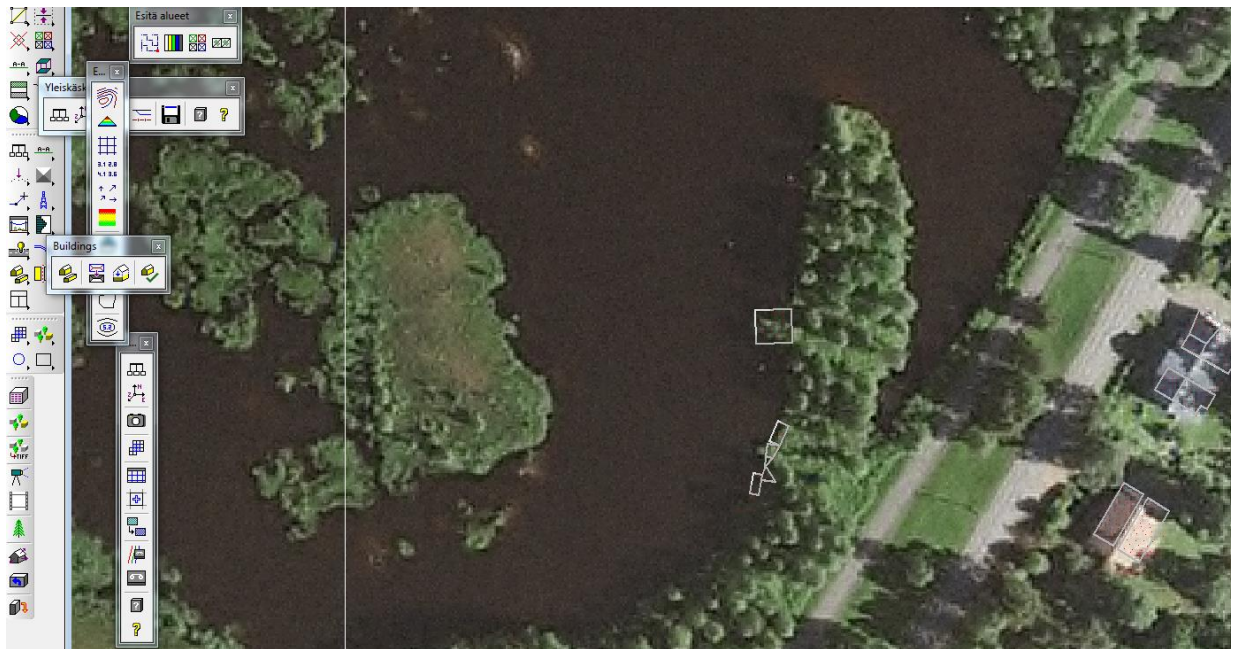
Ortokuva kannattaa jakaa pienempiin osiin. Toisin sanoen ortokuva tiilitetään TerraPhoton avulla. Näin mallin teko sujuu nopeammin ja esimerkiksi mallin zoomaaminen ei ole hidasta. Näin mallin käsittely on jouhevampaa, eikä tarvitse joka välissä odottaa, että tietokone käsittelee mallin kääntämistä ja zoomaamista. Jaoin ortokuvan yhteensä 36 osaan.

3.3.4 Rakennusten vektorointi

Rakennusten vektorointia ennen täytyy suorittaa rakennusten pisteiden siirto omaan luokkaan, sillä laserkeilausaineistossa ne ovat default-luokassa. Tässä luokassa kaikki pisteet ovat luokittelemattomia. TerraScan tekee luokittelun automaattisesti. TerraScan saattaa siirtää rakennusten luokkaan pisteitä, jotka eivät

ole rakennuksia. Näin tapahtui varsinkin rannoilla ja myös keskeltä vesistöä saat-
toi löytyä muutama rakennuksien luokkaan luokiteltu piste (Kuvio 12). Pisteet on
kuitenkin helppo tuhota tai siirtää toiseen luokkaan. TerraScanin toiminolla raken-
nusten vektorointi sujuu automaattisesti.

Rakennuksia voi myös editoida. Tämä onkin melkein välttämätöntä, jos käyttää
Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa. Terrasolidissa on kattavasti erilaisia
editointityökaluja, joilla voi editoida esimerkiksi kattomuodot oikein. Rakennuk-
sien tarkka editointi vie paljon aikaa, varsinkin jos editoitava alue on laaja.



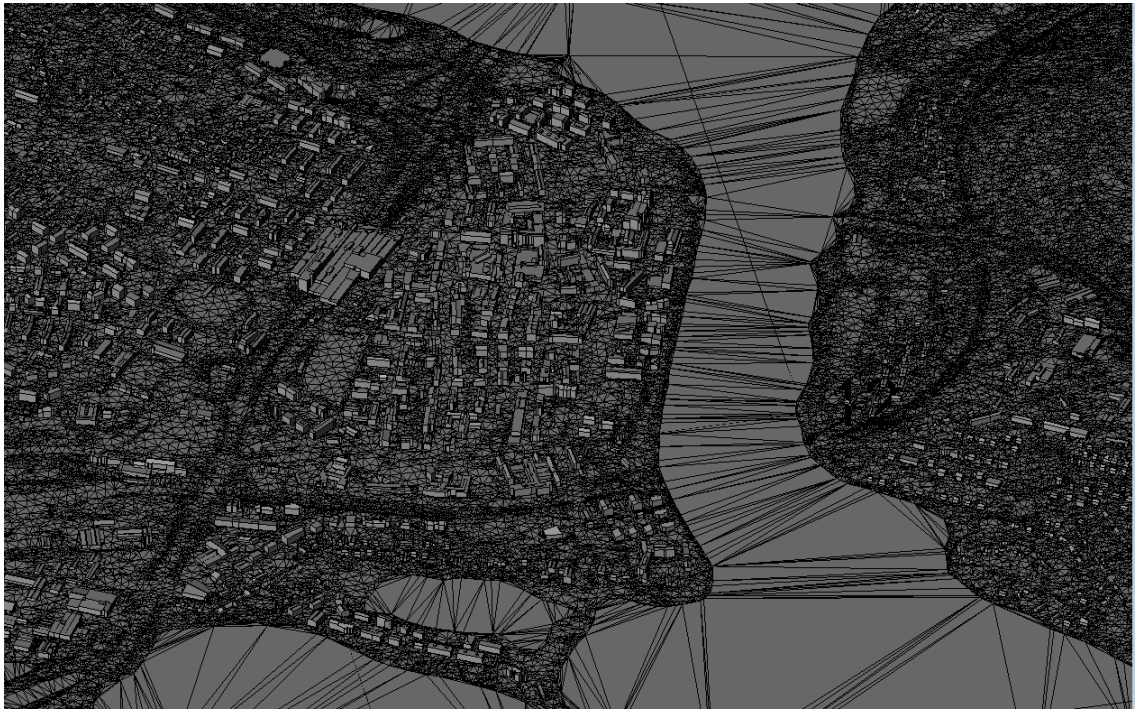
Kuvio 12. Väärin vektoroidut rakennukset

3.3.5 Teksturointi ja läpilentoanimaatio

Ennen kuin kaupunkimallin voi nähdä teksturoituna, täytyy kolmioituun maanpin-
taan tallettaa rasterikolmiot (Kuvio 13). Rasterikolmiointi voi tehdä blokki kerral-
laan tai sitten koko alueesta kerrallaan siten, että tallentaa model keypoints erik-
seen koko alueesta ja tekee kerralla rasterikolmiot avainpisteiden avulla.

Rasterikolmioinnin jälkeen kaupunkia voi katsella teksturoituna. Tällöin ortokuva
näky pintamallin päällä mukailen maastoa. Teksturoitua mallia voi katsella eri
kuvakulmista, mutta tekstuurit eivät näy koko ajan, vaan ne täytyy laittaa päälle

Rendering View-toiminnosta. Tekstuurit häviävät aina kun mallia liikutetaan ja ne saadaan taas näkyviin samasta työkalusta. Mallista voidaan tallentaa teksturoituja kuvia ”renderöinnin” ollessa päällä. Kuvan kokoa voi tallentaessa muuttaa ja valita mihin tiedostomuotoon ne haluaa tallentaa. Rakennuksille saa teksturoitua katot ilmakuvista TerraPhoton avulla automaattisella toiminnolla. Liitteessä on lisää kuvia teksturoidusta kaupunkimallista.



Kuvio 13. Rasterikolmiointi ja vektoroidut rakennukset

Kaupunkimallista on mahdollista tehdä läpilentoanimaatio, jossa voidaan esitellä kaupunkimallia haluamistaan kulmista videon avulla. Läpilentoanimaation teko on varsin yksinkertaista. Ensiksi piirretään työkalulla viiva, jossa lentokorkeuksia ja kameran kuvakulmia voidaan muunnella.

Animaatio kannattaa pitää lyhyenä, sillä kuvien tallentamiseen menee todella paljon aikaa, varsinkin jos haluaa tallentaa ne hyvälaatuisina.

4 ROVANIEMEN 3D-KAUPUNKIMALLI

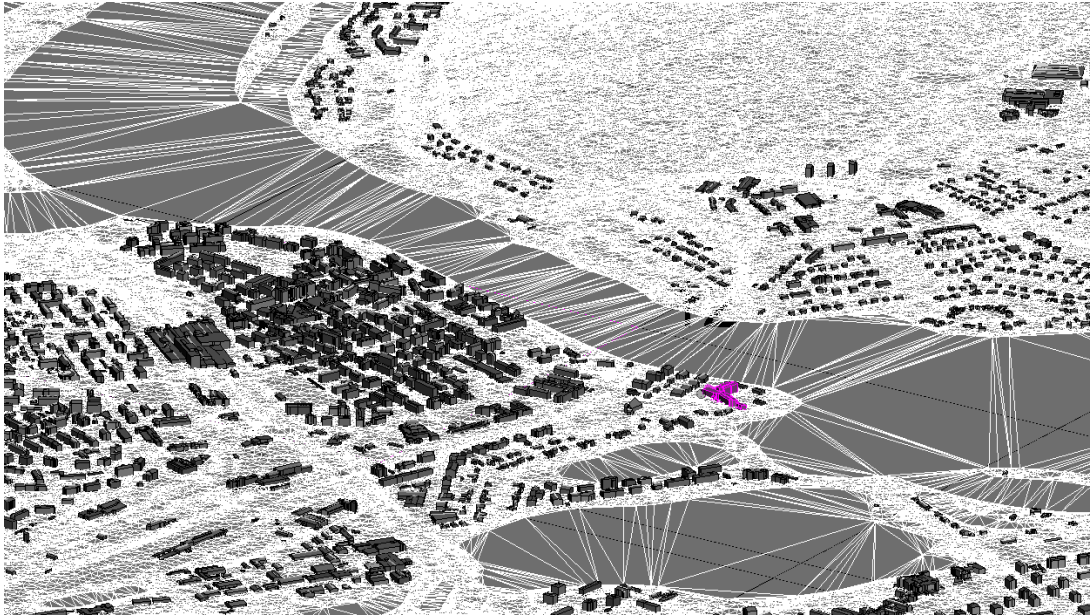
Tässä työssä oli tarkoitus tehdä kaupunkimalli Rovaniemen keskustasta ja sen ympäröivistä alueista. Rovaniemi oli itsestäänselvyys kaupunkimallin kaupunkiksi, sillä toimeksiantaja on rovaniemeläinen yritys. Työ oli tarkoitus tehdä kustannustehokkaasti Maanmittauslaitoksen avoimista aineistoista. Mallinnettava alue on laaja ja laserpisteitä oli yhteensä yli 40 miljoonaa. Alue oli neliön muotoinen ja yhden sivun pituus yhdeksän kilometriä. Tein kaksi eri mallia, sillä ensimmäisessä opettelin käyttöä ja toisen halusin tehdä jo kokemuksen karttuessa uudestaan. Tarkoitus oli myös kokeilla kuinka nopeasti yksinkertaisen kaupunkimallin voi tehdä. Toisen mallin aikana sain työvaiheetkin paremmin ylös ja tiesin mitä mallin teko on. Toisen kaupunkimallin tekoon aikaa kului vain päivä. Tähän ei tosin kuulunut rakennusten editointia, eikä läpilotointia. Rakennusten editoimiseen olisi saanut kyllä kulutettua todella paljon aikaa aineiston ja omien taitojen vähyyden vuoksi.

4.1 Ongelmat

Työssä tuli ongelmia heti alusta alkaen, sillä itselläni ei ollut kokemusta työssä käytettävistä ohjelmista. Aikaa kului huomattavan paljon opetteluun ja ihan mallin loppuvaiheillakin löysin ohjelmistosta uusia toimintoja. Oppiminen tapahtui yrityksen ja erehdyksen kautta. Kaikkia ohjelmistojen toimintoja en varmasti tullut hyödyntäneeksi, mutta perustoiminnoillakin sai kaupunkimallin tuotettua. Ohjelmistojen kanssa oli myös ongelmia suuren tietomäärän vuoksi, sillä ohjelma ja tietokone saattoi jumittua hetkeksi. Tällöin mallin teko oli todella hidasta ja sai odotella hetken aikaa, että ohjelma jälleen toimisi. Välillä oli ongelmia ohjelman kaatumisen kanssa. Yritin myös tehdä tiedonsiirtoa Microstationin ja SketchUpin välille. Tällöinkin ohjelma kaatui ja tiedonsiirto epäonnistui.

Kaupunkimallin visuaalisuudessa olisin toivonut hiukan enemmän kolmiulotteisuutta, sillä tällä hetkellä se on hiukan pannukakkumainen. Esimerkiksi Ounas-

vaaran korkeuserot eivät tule kovin hyvin esille. Erot näkyvät kolmioverkossa (Kuvio 14), mutta ortokuva visualisoituna sen päälle korkeuserot eivät mielestäni näy niin selvästi. Pannukakkumaisuus olisi hävinnyt, jos esimerkiksi olisin saanut mallinnettua puita, joita Ounasvaarallakin on runsaasti. Näin maanpinnan muodotkin olisi tullut paremmin esille.



Kuvio 14. Korkeuserot havainnollistettuna kolmioverkolla

Alussa kolmioinnin kanssa oli ongelmia, sillä tein sen oletusasetusten kanssa. Tällöin ohjelma karsi pitkät kolmiot ja esimerkiksi joen tilalla oli vain musta aukko teksturoinnin ollessa päällä. Myös siltojen kanssa oli ongelma, sillä ne olivat kuopalla (Kuvio 15).

Kaupunkimallin aineistossa ongelmat liittyivät laserkeilausaineistoon ja rakennusten vektorointiin. Maanmittauslaitoksen pistetiheys ei ole kovin suuri, joten rakennuksien vektoreita piti editoida manuaalisesti. Esimerkiksi kattomuodot olivat väärin alueilla, joissa rakennukset olivat puiden katveessa. Rakennusten vektorointiin olisi saanut käyttää runsaasti aikaa. Aineiston kanssa on myös päivitysongelma, sillä Maanmittauslaitoksella ei ole päivityssuunnitelmaa laserkeilauksen suhteen. Ortokuvaa päivitetään 3–10 vuoden välein. Uusia rakennuksia rakennetaan ja esimerkiksi Rovaniemen nelostien remontti valmistuu lähiaikoina, jolloin kaupunkimalli on heti päivityksen tarpeessa.



Kuvio 15. Sillat kuopalla

4.2 Ratkaisut

Tekemäni kaupunkimalli on tarkkuudeltaan LOD2. Maanmittauslaitoksen aineistolla ja tällä tarkkuudella pitäisi olla mahdollista tehdä esimerkiksi meluselvityksiä. Maanmittauslaitoksen aineisto on hyvä pohja laserkeilausaineistosta tehdyille kaupunkimallille, mutta tarkempaa mallia tehdessä täytyy aineisto olla tiheämpää. Näin rakennusten editoiminen ei ole niin työlästä.

Terrasolid on loistava ohjelmisto laserkeilausdatan käsittelyyn. Sillä ohjelmistolla voi tehdä kaupunkimallin pitkästi automatisoidusti. Työmäärä ei tämän takia ole kovin suuri. Toisaalta ohjelman opettelu ei ole helppoa, joten esimerkiksi Terrasolid järjestämien kurssien käynti ei varmasti mene hukkaan. Näin ohjelmasta saisi kaiken hyödyn irti. Terrasolidin harjoitusanimaatiot mahdollistivat tämän kaupunkimallin teon, sillä ilman niitä olisi ollut todella suuri urakka opetella ohjelman käyttöä.

Kaupunkimallin pannukakkumaisuuteen voisi vaikuttaa lisäämällä RPC-soluja eli puita ja muuta rekvisiittaa. Koska Rovaniemellä on paljon puustoa, olisi puiden lisäämisellä suuri vaikutus mallin ulkonäköön. Tietokoneelta löytyi muun muassa puita, mutta itse en saanut niitä vain näkymään tämän työn puitteissa. Lisäksi kaupunkimalli reunat loppuvat töksähtäen, olisi kaupunkimallin laidoille hyvä ladata ”ylimääräistä” ortokuvaa. Näin ollen kaupunkimalli olisi visuaalisesti parempi.

Vesistöjen ja siltojen teksturointi ratkaistiin kolmioimalla ne. Tällöin ne myös näkyivät kokonaan, eivätkä sillat olleet kuopalla tai joen tilalla ollut mustaa aukkoa.

Jos tulevaisuudessa on tarve tarkemmalle kaupunkimallille, tarkemmat aineistot voi tilata esimerkiksi pienemmästä osasta kaupunkia ja yhdistää ne tähän tekemääni malliin. Sovelluskohteita kaupunkimallille voisi löytyä kiinteistönhallinnan puolelta. Tämän työn puitteissa ei kuitenkaan löytynyt tämän hetken tarpeelle sopivia käyttökohteita. Jos tulevaisuudessa on tarve kaupunkimallin käytölle, olisi parasta perehtyä myös muiden ohjelmistojen tarjontaan. Mutta ohjelmistojen hankinta kannattaa aina tehdä huolella ja harkiten sekä perehtyä niiden sisältöön, sillä ne ovat iso investointi.

5 YHTEENVETO

Kaupunkimallien tuottaminen vie paljon aikaa ja sen tekoon tarvitaan ammattitaitoa. Nämä asiat ovat varmasti suurimmat syyt, miksei ne eivät ole saavuttaneet suurta suosiota Suomessa verrattuna ulkomaisiin suuriin kaupunkimalleihin. Tämän kaupunkimallin teko oli hyvin haastavaa, mutta myös mielenkiintoista ja opettavaista. Isoja tavoitteita tällä työllä ei ollut, mutta lopputulokseen olen kuitenkin erittäin tyytyväinen.

Työn aikana tuli opittua paljon ja opin käyttämään uutta ohjelmistoakin. Microstation ja Terrasolid olivat täysin tuntemattomia ohjelmistoja ja niiden käytön oppimiseen meni todella kauan. Loppua kohden oli mallin teko entistä mielenkiintoisempaa. Käytin paljon erilaisia toimintoja sekä testasin niiden toimivuutta. Tosin ennen tutuksi tulemistä, jouduin selailemaan tuntikaupalla Terrasolidin ohjelmien käyttöohjekirjoja ja katsomaan harjoitusanimaatioita kaupunkimallin teosta. Jos jotain tekisin toisin, olisin varannut aikaa rakennusten editoimiseen runsaasti enemmän aikaa. Sillä ne eivät vastanneet täysin todellisuutta.

Jos kaupunkimallista halutaan vielä parempi, on sinne lisättävä seinätekstuurit viistokuvista ja puusto luomaan lisää vaikutelmaa kolmiulotteisuudesta. Kaupunkimallia on helppo muokata tulevaisuudessa, joten sitä voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen.

Suurin haaste oli, että omat lähtötiedot työn aiheesta olivat vähäiset, joten alussa jouduin käyttämään runsaasti aikaa aiheen tutustumiseen. Internetistä ja artikkeleista löytyi kuitenkin paljon tietoa 3D-mallintamisesta, joista tämän työn teoriaosuus on koottu. Oli myös haasteellista löytää oikeaa ja ajantasaista tietoa, sillä kaupunkimallinnus on kehittynyt paljon viime vuosina.

Maanmittauslaitoksen maksuttomat aineistot ovat hyvä pohja kaupunkimallin tuottamiseen. Laserkeilausaineiston pistetiheys ei välttämättä riitä kaikkein tarkimpaan mallintamiseen. Mallia voi kuitenkin tarkentaa paremmalla aineistolla tarpeen tullen. Aineistot on helposti saatavilla ja lataaminen on helppoa. Laser-

keilausaineiston käyttäminen kaupunkimallin tuottamisessa on hyvä valinta. Teräsolidilla kaupunkimallin tuottaminen maanmittauslaitoksen aineistosta on nopeaa ja kustannustehokasta. Ainoa kustannukset tulevat ohjelman lisensseistä.

Kaupunkimallilla on paljon potentiaalia yrityksen toiminnassa. Jotta kaupunkimallia voidaan hyödyntää yrityksessä mahdollisimmalla parhaalla tavalla, on harkittava mihin kaupunkimallia käyttää ja saisiko uusilla ohjelmistoilla kaupunkimallista irti enemmän ja olisiko se kannattavaa. Toisaalta kannattaako ohjelmistojen investointi vai tehdäänkö olemassa olevilla ohjelmistoilla mitä pystytään. Tämän opinnäytetyön lopputuloksena tuotettiin toimiva kaupunkimalli. Mallia voi hyödyntää moneen käyttötarkoitukseen pienellä päivittämisellä. Mallia on helposti päivitettävissä uudella aineistolla, jolloin se sopisi monenlaiseen käyttöön. Tällä hetkellä sitä voisi käyttää suunnittelun pohjana sekä visualisoinnissa.

LÄHTEET

- Ahokas, N. 2014. 3D-kaupunkimallin tuottaminen ja ylläpito. Opinnäytetyö.
- Berlin Business Location Center 2015. 3D City Model. Viitattu 2.5.2015.
<http://www.businesslocationcenter.de/en/berlin-economic-atlas/the-project>
- Blom 2013. Tukholma kehittyy kolmiulotteisena. Viitattu 16.4.2015.
http://newsletter.blomasa.com/newsletter/2013/September/fi/September_fi_5.htm
- Blom 2010. Tanska kolmiulotteisena. Viitattu 17.3.2015. http://newsletter.blomasa.com/newsletter/2010/september/finland/september_fi_2.htm
- Cityplanner, 2015. Cityplanner. Viitattu 19.4.2015. <http://cityplanneronline.com/cityplanner/>
- Cronvall, T., Kråknäs, P. & Turkka, T. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012. Viitattu 18.4.2015. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf
- Erving, A. 2008. CityGML mallien monet mahdollisuudet. Maankäyttö 1/2008, 24–25
- Erving, A. 2007a. CityGML mallinnus fotogrammetrisesti, Maanmittaustieteiden seura ry:n julkaisu n:o 44. Viitattu 18.3.2015.
http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Anna_Erving.pdf
- Erving, A. 2007b. Julkisivutekstuurin liittäminen 3D-malliin. Viitattu 17.3.2015.
<http://foto.hut.fi/publications/diplomityot/koko/Erving.pdf>
- Erving, A. 2007c. Paikkatiedoista kaupunkimalleihin: CityGML selvitystyö. Viitattu 17.3.2015. http://foto.hut.fi/publications/Loppuraportti_MMM_anna.pdf
- Hohenthal, J., Alho, P., Hyypä, J. & Hyypä, H. 2011. Laserscanning applications in fluvial studies. Viitattu 2.5.2015. https://tuhat.halvi.helsinki.fi/portal/files/19570956/Hohenthal_et_al_2011.pdf
- Isotalo, K. 2013. Kaupunkimalli on muutakin kuin visualisointia. Positio 1/2013, 17–19.
- Kareinen, J. 2007. Korkeusmallin luonti laserkeilausaineistosta. Viitattu 26.4.2015. http://foto.hut.fi/opetus/270/esitelmat/2007/Kareinen_Juha.pdf
- Kinnunen, J-P. 2013. Maalaserkeilaus ja sen tulosten geologiset käyttömahdollisuudet. Viitattu 26.4.2015. http://users.utu.fi/jpkinn/08_Kinnunen_Bachelors_thesis_23.3.2013_Maalaserkeilaus.pdf

- Lehtonen, P. 2010. Terrasolid toimii maailmanlaajuisesti. Maankäyttö 4/2010, 11–13
- Maanmittauslaitos 2015a. Laserkeilausaineisto. Viitattu 18.3.2015.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>
- Maanmittauslaitos 2015b. Laserkeilaustekniikka. Viitattu 18.3.2015.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>
- Maanmittauslaitos 2015c. Ilmaiset aineistot. Viitattu 22.5.2015.
<http://www.maanmittauslaitos.fi/avoindata>
- Oulu 3D 2015. Virtuaali-Oulu. Viitattu 3.5.2015. <http://www.oulu3d.fi/virtuaali-oulu/>
- Paikkatietohakemisto 2015. Maanmittauslaitoksen ortokuva. Viitattu 18.3.2015.
<http://www.paikkatietohakemisto.fi/catalogue/ui/meta-data.html?uuid=b20a360b-1734-41e5-a5b8-0e90dd9f2af3&lang=fi>
- Rantala, M. & Keskitalo, L. 2015. Tehtävä Leppävaarassa. Viitattu 3.5.2015.
[http://www.espoo.fi/fi-FI/Tehtava_Leppavaarassa\(63395\)](http://www.espoo.fi/fi-FI/Tehtava_Leppavaarassa(63395))
- Reini, J. 2011. CityGML mallintaa kaupungin kolmiulotteisena. Positio 4/2011
- Reinikainen, P 2015. Maastomalliraportti. Viitattu 17.3.2015.
<http://www1.vaasa.fi/vitalvaasa/fin/maastomalliraportti.PDF>
- Salolahti, M. 2012. Terrasolid Ltd. Software for LiDAR processing. Viitattu 26.4.2015. http://gisw.ru/Terrasolid/2012-07-04_Moscow_Event/Terrasolid_presentation_20120704-1.pdf
- Savisalo, A. 2015. KM3D-HANKE: KOHTI 3DKAUPUNKIMALLIA. Paikkatieto-seminaari 10.2.2015. Viitattu 24.4.2015. https://koulutus.fcg.fi/Portals/2/Dokumentit/Savisalo%20Anssi_KPY_paikkatietoseminaari_Savisalo_100215.pdf
- SimStadt 2015. Workflow. Viitattu 26.4.2015. http://www.sim-stadt.eu/en/3d_model.html
- Suominen, T. 2009. Laserkeilauksesta apua 3D-mallintamiseen. Tierakennusmestari 4/2009, 44–47
- Suomisto, J. 2014. 3D-tietomallit yleistyvät kaupungeissa. Positio 2/2014, 10–12.
- Suomisto, J. 2013. Kaupunkien tietomallit Euroopassa – standardit – teknologia – sovellukset. Esitelmä Fiksu Kalasatama -seminaarissa. Viitattu 14.4.2015.
http://www.forumvirium.fi/sites/default/files/fiksu_kalasatama_12_12_2013.pdf.

- Tamminen, P. 2012. Kaupunkimalli-seminaari, Case Vuores. Viitattu 26.4.2015. <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=dml-hbm92YS5maXxrYXVwdW5raW1hbGxpfGd4OjRhMzA4YTFIM2ZiMzZjOA>
- Terrasolid 2014. TerraScan User's Guide. Viitattu 14.4.2015. <http://www.terrasolid.com/download/tscan.pdf>
- Terrasolid 2013. Terrasolidin mainos. Maankäyttö 1/2013, 25
- Terrasolid, 2012. Esittely. Viitattu 17.3.2015. http://cgit.nutn.edu.tw:8080/cgit/PaperDL/CUC_100903141536.PDF
- Terrasolid 2015a. TerraModellerin käyttöopas. Viitattu 14.4.2015. http://www.terrasolid.com/download/tmodel_fin.pdf
- VEPs 2007. 3D City Models. Viitattu 17.3.2015. <http://www.veps3d.org/site/249.asp>
- Vianova 2015. Yleiskuvaus. Viitattu 26.4.2015. <https://sites.google.com/a/vianova.fi/kaupunkimalli/home/yleiskuvaus-1>
- Vähätiitto, J. 2014. Virtuaali-Seinäjoki. Esitys Paikkatietoseminaarissa 11.2.2014. Viitattu 26.4.2015. http://www.kunnat.net/fi/tietopankit/tapahtumat/aineisto/2014/2014-paikkatietoseminaari-aineisto/Documents/1102_0Ohjelma.pdf
- Zeiss, G. 2011. NC GIS Conference: Global Climate Change, Sustainability, Statewide Lidar, SSOs and 3D Visualization. Viitattu 26.4.2015. <http://geospatial.blogs.com/geospatial/2011/02/nc-gis-conference-global-climate-change-sustainability-statewide-lidar-ssos-and-3d-visualization.html>

LIITTEET

Liite 1 Kuvia kaupunkimallista





