

KAUPUNKIMALLINNUKSEN KEINOT

Salon kaupunki

Sinervo Jussi

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Jussi Sinervo	Vuosi	2019
Ohjaaja	Jaakko Lampinen		
Toimeksiantaja	Salon kaupunki / Ari Vainio		
Työn nimi	Kaupunkimallinnuksen keinot		
Sivu- ja liitesivumäärä	44 + 4		

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millä tavalla kaupunkimalleja on tuotettu Trimble Locusta paikkatietojärjestelmänä käytävien kaupunkien keskuudessa sekä löytää niistä kustannustehokas tapa tuottaa 3D-kaupunkimallia. Työssä käytiin läpi myös erilaisia kaupunkimalleja, käyttökohteita, järjestelmiä ja julkaisukanavia sekä Salon kaupungin lähtökohtia 3D-kaupunkimallinnuksen aloittamiseksi.

Opinnäytetyön selvitystyössä käytettiin Google Forms -kyselyä, joka oli lähetetty Trimble Locus -paikkatietojärjestelmää käyttäville kaupungeille. Kysely piti sisälleen kysymykset kaupunkimallin tuottamisesta, hyödyntämisestä ja julkaisusta. Tulokset käytiin yksityiskohtaisesti läpi ja tutkittiin käytettäviä sovelluksia.

Opinnäytetyön aikana käsiteltiin myös avoimen lähdekoodin paikkatietosovellus QGIS:n soveltuvuutta kaupunkimallinnukseen. QGIS 3.0-versiosta eteenpäin on ohjelmaan sisältynyt 3D-ikkuna toiminto, joka mahdollistaa kohteiden mallintamisen kolmiulotteisena. QGIS-ohjelmaan on kehitetty myös Qgis2three-lisäosa, joka on kehitetty 3D-mallintamiseen ja sen julkaisun Web-selaimessa. Näitä kahta menetelmää tutkin opinnäytetyössäni ja loin pieni-muotoisen kaupunkimallin, jossa rakennuksia oli mallinnettu LOD 1- ja LOD2-tasossa.

Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Jussi Sinervo	Year	2019
Supervisor	Jaakko Lampinen		
Commissioned by	City of Salo / Ari Vainio		
Subject of thesis	Methods of 3D City Modelling		
Number of pages	44 + 4		

The purpose of this thesis was to find out how 3D city models were produced of cities using Trimble Locus as a geographical information system. In addition, the aim was to find a cost-effective way to generate a 3D city model for the city of Salo. Different 3D city models, applications, systems and publishing channels as well as the starting points of the city of Salo to start 3D city modelling were also studied.

In the study, a Google Forms survey was sent to the cities using Trimble Locus. The survey contained questions about how to produce, utilize and publish a 3D city model. The results were thoroughly reviewed and analysed.

The thesis studied the suitability of the QGIS application for city modelling. From QGIS 3.0 onwards there is a 3D window feature in the program that allows the user to model objects in a three-dimensional format. For QGIS it is also possible to download the qgis2threejs plug-in for 3D modelling. The plug-in allows the 3D model to be published in the Internet browser. These two methods were studied in this thesis and a small 3D city model in which buildings were modelled at the LOD 1 and LOD2 levels was created.

Key words

3D, citymodel, information model

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	MIKÄ ON 3D-KAUPUNKIMALLI	7
2.1	Kaupunkimalli	7
2.2	CityGML	8
2.3	LOD-tasot	9
3	3D-KAUPUNKIMALLIN KÄYTTÖKOHTEET	11
4	SALON KAUPUNGIN LÄHTÖKOHDAT 3D-MALLINNUKSELLE	12
4.1	Salon kaupunkistrategia 2026 ja brändi	12
4.2	Kantakartta, johtokartta ja rekisteritiedot	13
4.3	Ortokuvat ja pintamallit	13
4.4	Aineiston hyödyntäminen 3D-mallinnuksessa	14
5	SALON KAUPUNGIN ASETTAMAT VAATIMUKSET KAUPUNKIMALLILLE	
	16	
6	KYSELY KAUPUNKIMALLINNUKSEN KEINOISTA	17
6.1	Kyselyn sisältö	17
6.2	Kaupunkimallinnuksessa käytetty lähtöaineisto	18
6.3	Kaupunkimallinnuksessa käytetyt sovellukset	19
6.4	Kaupunkimallin käyttökohteet	22
6.5	Kaupunkimallin julkaisu	23
6.6	Kyselyn tulosten yhteenveto	24
7	KAUPUNKIMALLIN JULKAISU	26
8	QGIS -SOVELLUKSEN SOVELTUVUUS MALLINNUKSEEN.	28
8.1	QGIS	28
8.2	QGIS 3D-kaupunkimallinnus	29
8.3	Qgis2threejs 3D-kaupunkimallinnus	33
9	SALON KAUPUNGIN TOTEUTUSSUUNNITELMA	38
10	POHDINTA	40
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	45

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

2D	Two dimensional
3D	Three dimensional
3DCityDB	Three Dimensional City Database
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CityGML	City Geography Markup Language
DEM	Digital Elevation Model
DGN	Design (AutoCAD-formaatti)
DTM	Digital Terrain Model
DWG	Drawing (AutoCAD-formaatti)
ECW	Enhanced compressed wavelets
GIF	Graphic Interchange Format
GML3	Geographical Markup Language 3
GT	GT-tiedonsiirtoformaatti
IoT	Internet of Things
JPEG	Joint Photographic Experts Group
LAS	Laserkeilausformaatti
LAZ	Pakattu LAS-formaatti
LOD	Level of detail
OGC	Open Geospatial Consortium
PNG	Portable Network Graphics
TIFF	Tagged Image File Format
TIN	Triangulated irregular network
VRML	Virtual Reality Modeling Language
XML	Extensible Markup Language
XYZ	XYZ-tiedonsiirtoformaatti

1 JOHDANTO

Mikä on kaupunkimalli? Miten kaupunkimallia tuotetaan? Mihin kaupunkimallia käytetään? Näihin kysymyksiin etsitään vastaus opinnäytetyöni aikana. Kolmiulotteinen kaupunkimallinnus on yleistynyt kaupunkien keskuudessa kovaa vauhtia. Perinteinen 2D-kantakartan ylläpito ja tuottaminen on muuttumassa 3D-kantakartoiksi. Kysyntä 3D-kartta-aineistoa kohtaan kaupunki- ja rakennussuunnittelun lähtöaineistona on kasvanut. Lisäksi semanttiset kaupunkimallit mahdollistavat tarkempien analyysien tekemisen visuaalisuutensa ansiosta. Nämä asiat luovat paineita myös kaupungeille tuottaa kolmiulotteista kaupunkimallia, sillä 2D-kantakartta kaupunkisuunnittelun pohjana ei tule tulevaisuudessa riittämään.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Salo kaupungin Kaupunkikehityspalveluiden osasto. Salon kaupungissa työtä 3D-kaupunkimallinnuksen osalta ei ole vielä aloitettu, mutta kiinnostus aihetta kohtaan on kasvanut merkittävästi. Opinnäytetyön tavoitteena onkin selvittää, millä keinoin kaupunkimallia tuotetaan ja minkälaista lähtöaineistoa 3D-kaupunkimallin tuottaminen vaatii, minkälainen 3D-kaupunkimallin pitää olla, jotta se palvelee mahdollisimman hyvin tulevaisuuden tarpeita. Salon kaupungin paikkatietojärjestelmänä on Trimble Locus -paikkatietosovellus, joten työ rajataan siten, että mallinnuskeinot ovat Trimble Locus -paikkatietosovelluksen kanssa yhteensopivia.

Avoimen lähdekoodin paikkatietosovellus QGIS on yleistynyt kaupunkien ja kuntien paikkatiedon työkaluna. Tämän perusteella onkin ajankohtaista ja mielenkiintoista tutkia, millä tavoin QGIS soveltuu 3D-kaupunkimallintamiseen ja minkä tasoista 3D-kaupunkimallia sillä pystytään tuottamaan.

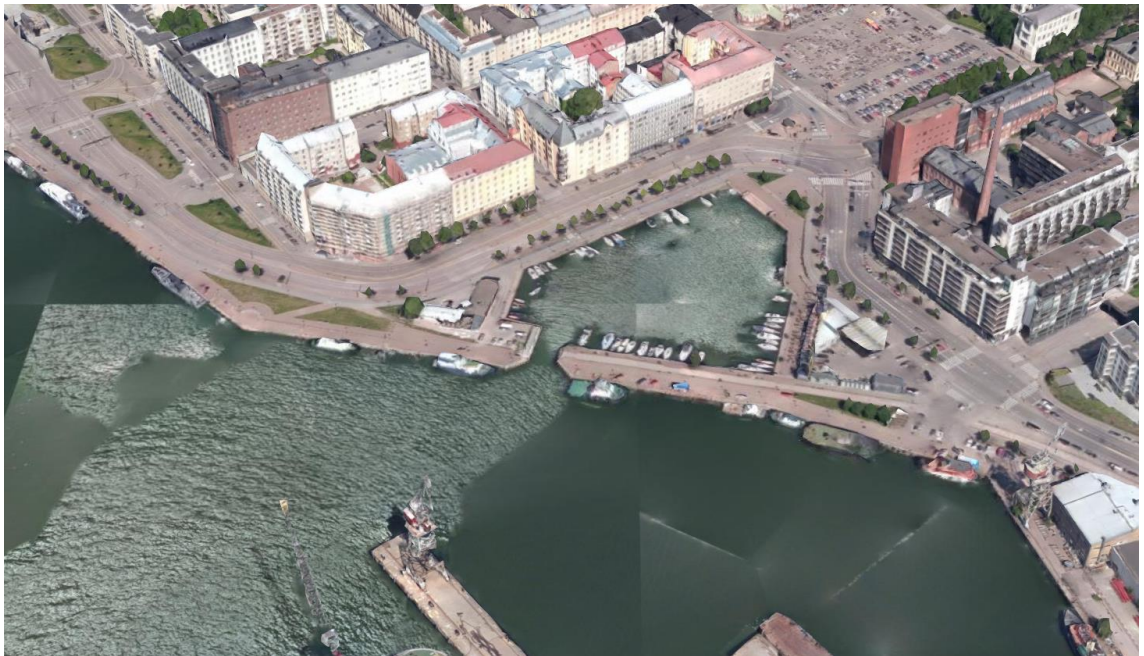
Näistä kaikista osa-alueista olisi tarkoitus löytää Salo kaupungille kustannustehokas tapa tuottaa ja ylläpitää 3D-kaupunkimallia.

2 MIKÄ ON 3D-KAUPUNKIMALLI

2.1 Kaupunkimalli

Kaupunki- ja rakennussuunnittelun siirtyessä aina vain enemmän kolmiulotteiseksi on se lisännyt 3D-kaupunkimallien kysyntää suunnitelmien lähtötietoa-ineistolle. (Liukkonen 2015, 12.) Suomiston mukaan suurin hyöty kaupunkimalleista saadaan, kun ne integroidaan kaupungin omiin järjestelmiin ja prosesseihin. Näin virheet pienevät ja suunnittelijat saavat tarkkaa, reaaliaikaista 3D-kaupunkimallia suunnitelmien alustaksi. (Suomisto 2014.)

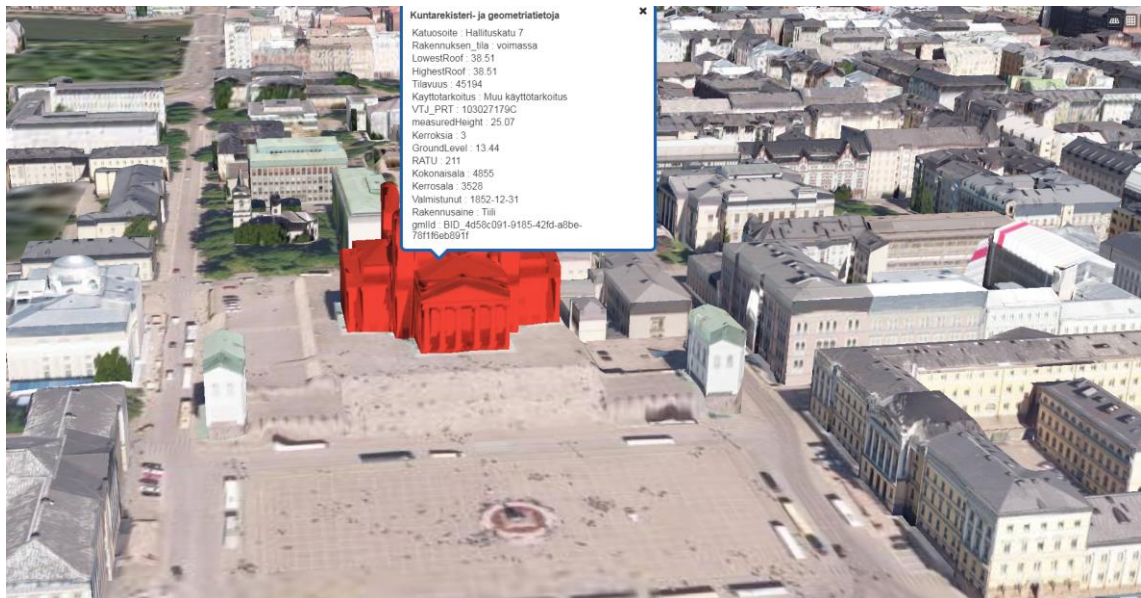
3D-kaupunkimalleja on karkeasti ottaen kahdenlaisia. 3D-kaupunkimalleja ja 3D-kaupunkitietomalleja. 3D-kaupunkimalli kuvaa kolmiulotteisesti maanpintaa, rakennuksia, kasvustoa ja muuta rakennettua ympäristöä (Kuvio 1). Se on pelkkä kolmiulotteinen kuva kaupunkiympäristöstä. 3D-kaupunkimalleja voidaan tuottaa esimerkiksi värjätyistä pistepilvistä tai fotogrammetrisesti mallintamalla tai yhdistelemällä molempia menetelmiä. (Airaksinen 2017, 17–18.)



Kuvio 1. Helsingin kolmioverkkomalli (Helsingin kaupunki 2018)

Kun kaupunkimallin kohteisiin lisätään geometrian lisäksi ominaisuustietoa, voidaan puhua 3D-kaupunkitietomallista tai semanttisesta kaupunkimallista (Kuvio 2). Suomiston mukaan semantiikkaa on tietomallin keskeinen osa. Semantiikan

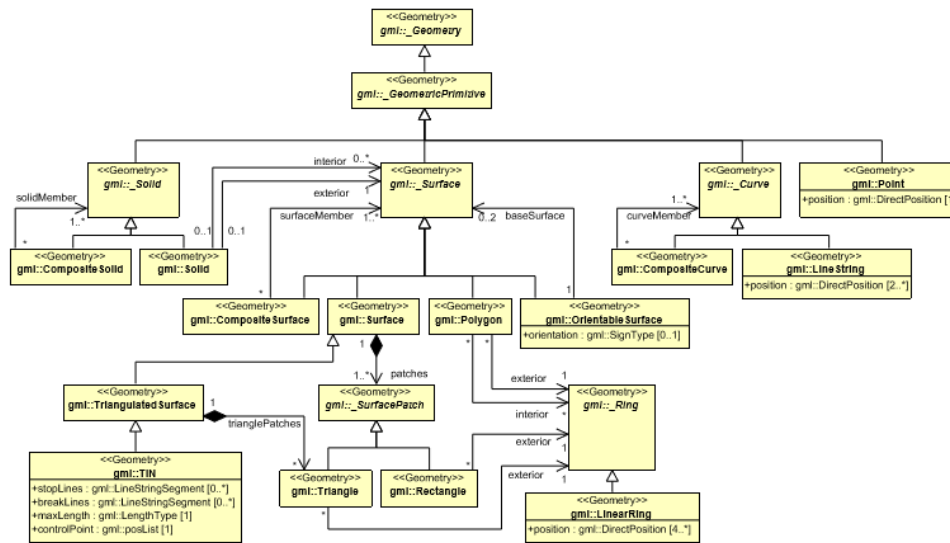
avulla kaupunkimalleja voidaan käyttää monipuolisten analyysien ja simulaatioiden tekoon. (Suomisto 2014, 10.) Semantiikka kaupunkimalliin lisätään yleensä kaupunkien omista rekistereistä ja paikkatietoaineistoista, esimerkiksi rakennuksista, maanalaisista johdoista ja kiinteistöistä. (Liukkonen 2015, 21.)



Kuvio 2. Helsingin kaupunkitietomalli (Helsingin kaupunki 2018)

2.2 CityGML

CityGML on OGC:n hyväksymä avoin XML-muotoinen GML3-kieleen perustuva tiedonsiirtostandardi 3D-kaupunkimallien tallentamiseen ja julkaisuun. CityGML:n kehityksen lähtökohtana on ollut luoda kansainvälisesti yhtenäinen määrittely 3D-kaupunkimallien kohteille. CityGML sisältää määrittelyt geometrisille kaupunkimalleille sekä temaattisille kaupunkimalleille. Geometrinen malli (Kuvio 3) mahdollistaa yksinkertaisten geometrinen ja topologisten kohteiden määrittelyn 3D-kaupunkimallissa. Temaattinen malli sisältää luokittelut kaikkein tärkeimmille 3D-kaupunkitietomallineri kohteille. Näitä kohteita ovat pintamallit, rakennukset, sillat, tunnelit, vesistöt, liikenne, teksturoidut pinnat, kasvillisuus, kalusteet ja maankäyttö. Kaupunkimallien tarkkuus on määritelty CityGML:ssä viidellä eri LOD-tasolla (OGC, CityGML Encoding Standard 2012, 11, 49).

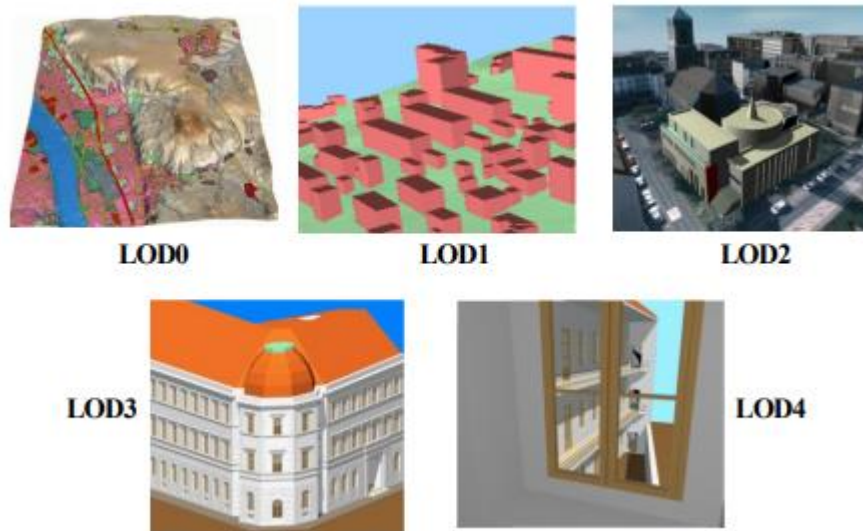


Kuvio 3. CityGML:n geometrinen malli (OGC, CityGML Encoding Standard 2012)

Kuntaliitto ja Building Smart Finland on yhteisessä hankkeessa tutkinut CityGML-kaupunkimallistandardia ja se onkin valikoitunut yleiseksi 3D-kaupunkimallistandardiksi Suomessa. Kuntaliitto on yhdessä suurimpien kaupunkien kanssa aloittanut 3D-kunta hankkeen, jossa Salon kaupunkikin on mukana. Hankkeen tavoitteena on määrittellä Suomeen yhteistä CityGML-standardiin perustuvaa koneluettavaa muotoa. (3Dkunta 2018.)

2.3 LOD-tasot

3D -Kaupunkimallin tarkkuutta kuvataan LOD-tasoilla, joita on viisi (Kuvio 4). LOD 0-taso on kaikkein karkein taso ja se on 2,5-ulotteinen kuva maanpinnasta. LOD 1-tasosta ylöspäin kaupunkimallissa kuvataan myös rakennuksia ja rakenteita. LOD 1-tasolla rakennukset on kuvattu yksinkertaisesti laatikkoina eli ns. massamalleina, joissa rakennusten katto on nostettu likimäärin oikealle tasolle. LOD 2-tasolla rakennuksista kattojen rakenteet on kuvattu tarkemmin. Lisäksi seinien ja kattojen tekstuurit ovat kuvattu karkeasti. LOD 3-tasolla rakennusten kattojen ja seinien rakenteet ovat kuvattu jo yksityiskohtaisesti. LOD 4-tason kaupunkimallit ovat ns. arkkitehtuurisia malleja, joissa rakennukset ja rakenteet on kuvattu hyvinkin tarkasti. Myös rakennusten sisäpuoliset rakenteet ja kalusteet on mallinnettu (Airaksinen 2017, 35).



Kuvio 4. Level Of Detail (OGC, CityGML Encoding Standard 2012)

On huomioitavaa, että mitä suurempi LOD-taso, sitä suuremmaksi kaupunkimallin tarkkuusvaatimukset kasvavat. CityGML-standardissa on 3D-pisteiden sijainti- ja korkeustarkkuuksille määritelty tarkkuustasot (Taulukko 1). LOD 1-tason kaupunkimallissa sijainti- ja korkeustarkkuuden on oltava 5 m tai vähemmän. LOD 2-tason mallissa tarkkuuden on oltava 2 m tai vähemmän. LOD 3-tason mallissa tarkkuuden on oltava 0,5 m tai vähemmän ja LOD 4-tason mallissa sijainti- ja korkeustarkkuuden tulisi olla 0,2 m tai vähemmän (OGC, CityGML Encoding Standard 2012, 9–12).

Taulukko 1. CityGML-standardin mukaiset tarkkuusmäärittelyt (OGC, CityGML Encoding Standard 2012)

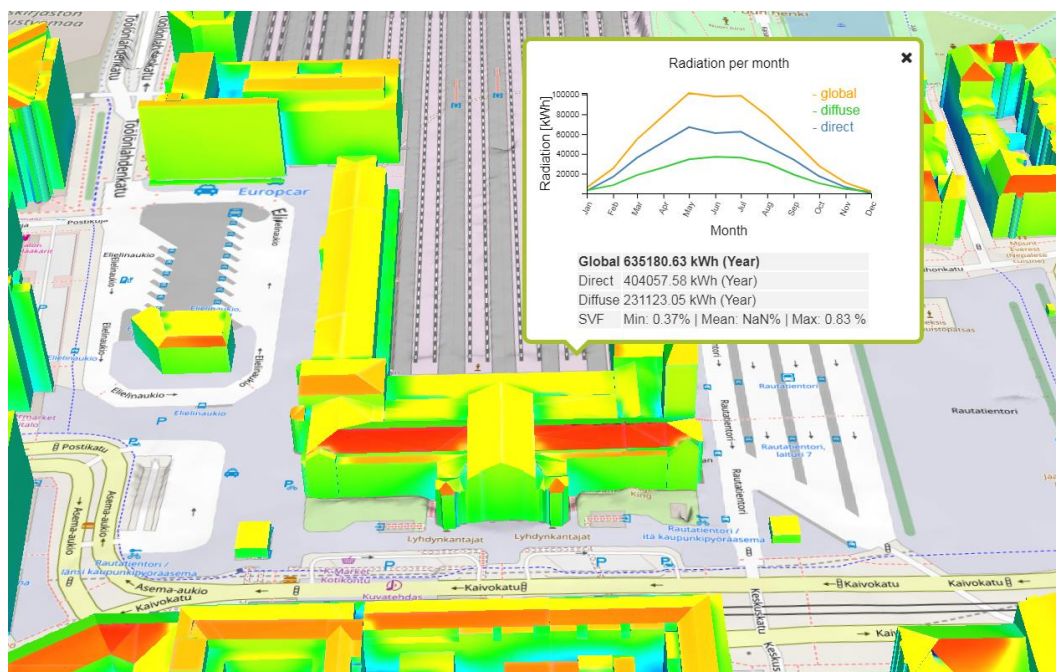
	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	no	no	yes	representative exterior features	real object form
Roof structure/representation	yes	flat	differentiated roof structures	real object form	real object form
Roof overhanging parts	yes	no	yes, if known	yes	yes
CityFurniture	no	important objects	prototypes, generalised objects	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	no	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	no	>50*50m	>5*5m	<LOD2	<LOD2
...to be continued for the other feature themes					

3 3D-KAUPUNKIMALLIN KÄYTTÖKOhteET

Kaupunkimalli antaa geometrisesti ja visuaalisesti erittäin tarkan kuvan kaupunkiympäristöstä. Tämä auttaa ihmisiä hahmottamaan suunnitelmia ja analyyskejä paremmin, sillä näiden tukena on nyt myös kolmiulotteinen visuaalinen näkökulma. Jotta kaupunkimallin kanssa voidaan hyödyntää muita kartta- ja paikkatietoaineistoja, sekä tehdä tarkkoja mittauksia kaupunkimallin mistä tahansa kohteesta, tulee kaupunkimallin olla georeferoitu johonkin tunnettuun koordinaatistoon (Airaksinen 2017, 9–10,17,68).

Semantiikan lisääminen kaupunkimalliin tekee kaupunkimallista älykkään ja auttaa hahmottamaan paremmin kaupungin nykytilaa, sekä tulkitsemaan tehtyjä analyyskejä paremmin. Semantiikka nostaakin kaupunkimallin kaupunkisuunnittelun ja analyysien työkaluna on aivan eri tasolle aikaisempiin 2D-karttoihin verrattuna.

Kaupunkitietomallia voidaan hyödyntää kaupunkisuunnittelun lisäksi erilaisissa analyyseissa, simuloinneissa, esimerkiksi aurinkoenergiälaskennassa (Kuvio 5) ja erilaisten sovellusten pohjana, kuten pelit ja matkapuhelinsovellukset (Liukkonen 2015, 21).



Kuvio 5. Aurinkoenergia potentiaali (Helsingin kaupunki 2018)

4 SALON KAUPUNGIN LÄHTÖKOHDAT 3D-MALLINNUKSELLE

4.1 Salon kaupunkistrategia 2026 ja brändi

Salon kaupunkistrategia 2026:ssa on kuvattu kaupungin pitkänaikavälin toiminta ja tavoitteet. Kaupunkistrategialla ohjataan kaupungin toimintoja ja resurssien käyttöä ja se määrittelee, millainen kaupunki Salo haluaa olla tulevaisuudessa. Salon kaupunkistrategia 2026:ssa on esitetty myös strategian painopistealueet. Painopistealueita ovat: sujuvat prosessit ,aktiivinen yrittäjyys, luova edelläkävijä ja osaava henkilöstö. Painopistealueiden tarkoitus on taata palveluiden katkeamaton ketju, taata hyvät toimintaedellytykset yrityksille, olla mukana monipuolissa tuotekehityskumppanuuksissa ja varmistaa osaavan henkilöstön sitoutuminen työnantajaan ja työhön.

Salon kaupunkistrategia 2026:een on listattu myös kärkihankkeet, joihin Salo kaupunki haluaa tulevaisuudessa painottaa vuosina 2018–2030. Kärkihankkeita ovat: Salo 2021-hanke, joka painottuu sote uudistukseen, Oppimisympäristöuudistus ja Oppiva Salo, Salo IoT-campus, Ekovoimalaitos ja kiertotalouspuisto, toimiva työyhteisö, kantatie-52 kehittäminen Salo kohdalla, Salo sairaalan tulevaisuus, tulevaisuuden liikkumisjärjestelmä ja tulevaisuuden asumisympäristöt (Salo kaupunki 2018b, 2–6).

Salo brändikäsikirja antaa henkilöstölle suunnan kaikelle tekemiselle ja viestinnälle. Brändikäsikirjassa on kerrottu Salo kaupungin historiasta teknologiakaupunkina ja kaupunkirakenteen muutoksesta matkapuhelinyhtiö Nokian kaupungista lähdön jälkeen. Yksi keskeisin viesti brändikäsikirjassa on, että Salo kaupunki haluaa olla elinvoimainen edelläkävijä ja älykäs teknologiakaupunki. Älykaupunki ajattelun keskipisteenä toimii Salo IoT-campus. (Salo kaupunki 2018a, 2–7.)

Mannerveden mukaan tulevaisuuden liikkumisjärjestelmät ja tietomallipohjainen suunnittelu tarvitsevat älykästä 3D-kaupunkimallia suunnittelun lähtötietoaineistoksi. Lisäksi Salo kaupungin tulee varautua tulevaisuuden älyhankkeisiin sekä

pyrkä pysymään digitalisaation kehityksessä mukana. Salon kaupungin tietovarannon tulee olla reaaliaikaista, joten sitä täytyy pitää jatkuvasti ajantasalla. (Mannervi 2018.)

4.2 Kantakartta, johtokartta ja rekisteritiedot

Salon kaupunki pitää 2D-kantakarttaa yllä Trimble Locus -sovelluksessa. Kantakarttaa on tuotettu monena eri vuosikymmenenä, monella eri menetelmällä. Tästä syystä kantakartan tarkkuus vaihtelee alueittain melkoisesti. Kartta-aineiston vanhin osa on Salon keskustan alueelta, jossa osa aineistosta on digitoitu vanhoilta muovikartoilta Locuseseen. Tämän johdosta nollakorkeuksia kantakartta-aineistossa on paljon. Vuoden 2009 kuntaliitoksen jälkeen, kaikkien yhdeksän liitokunnan kantakartta-aineistot liitettiin yhteen. Pienempien liitos kuntien kaavan pohjakarttaa on pitänyt yllä eri konsultit, joten kartta-aineistoja on eri tasoisia johtuen eri kartan valmistajista ja tavoista. Uusimmat kartat ovat vuodelta 2015, Blom kartta Oy:n tuottama pohjakartta-aineisto.

Salon kaupungilla ei ole erikseen johtokartan ylläpitoon tarkoitettua sovellusta, vaan sitä ylläpidetään yhtenä kantakartan tasona. Johtokartta käsittää vesi- ja viemärijohdot, kaukolämpöjohdot ja sähköverkonjohdot. Johtokartta sisältää sijainnin ja korkeuden lisäksi johtojen ominaisuustietoja putkien koosta, rakennusvuodesta ja materiaaleista. Johtokartoissa pätee sama ongelma kuin kantakarttassakin. Se on paikoitellen epäluotettavaa ja kaikilla kohteilla korkeustietoa ei ole lainkaan, saati ominaisuustietoa.

Trimble Locus toimii myös rekisterinpitovälineenä Salon kaupungissa. Trimble Locusen tietokannasta löytyy seuraavat rekisterit: Rakennus- ja huoneistorekisteri, kiinteistörekisteri, kaavarekisteri, sekä maaomaisuus ja viheralue rekisteri.

4.3 Ortokuvat ja pintamallit

Salon kaupunki on teettänyt koko kaupungin alueelta ilmakuvaus vuonna 2015. Projektin tuotoksina syntyi georeferoitu ortoilmakuva 10 cm pikselikoolla ja viistoilmakuvat neljästä eri ilmansuunnasta 8–10 cm pikselikoolla. Ortoilmakuvat

ovat tuotettu ECW- ja TIFF-formaatissa. Viistoilmakuvien käytön tekee haasteelliseksi se, että Salon kaupunki ei ole ottanut niitä omaan käyttöönsä, vaan niitä käytetään erillisen BlomWebViewer-palvelun kautta. Jotta viistoilmakuvat saataisiin käyttöön muulla tavoin, pitäisi niistä tehdä erillinen sopimus Blom kartta Oy:n kanssa.

Salon kaupungin kaupunkisuunnitteluyksikkö on lisäksi teettänyt koko kaupungin kattavan TIN- kolmioverkko pintamallin, joka perustuu maanmittauslaitoksen avoimeen laserkeilausdataan. Pintamalli on tallennettu DWG- ja DGN-formaateihin ja sen korkeustarkkuuden keskivirhe on enintään 15 cm ja tasotarkkuus keskivirhe on enintään 60 cm. Tarkkuus on siis sama kuin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistossa. Pintamallin on tuottanut Blom kartta Oy vuonna 2017. (Alhoke 2018.)

Maanmittauslaitokselta on ladattavissa avoimen aineiston latauspalvelusta ilmaista pistepilviaineistoa. Laserkeilausaineisto Salon kaupunki alueelta on vuodelta 2011. Sen pistetiheys on 0,5 pistettä neliömetrillä, korkeustarkkuus 15 cm ja tasosijaintitarkkuuden keskivirhe enintään 60 cm. Pistepilvet on tallennettu palveluun LAS-formaatissa. Maanmittauslaitos aloittaa uuden Laser2020 kansallisen laserkeilaus ohjelman, jossa Suomea laserkeilataan kolmen vuoden sykleissä. Uuden laserkeilausaineiston pistetiheys tulee olemaan n. 8 pistettä / m². (Kareinen 2018.)

4.4 Aineiston hyödyntäminen 3D-mallinnuksessa

Kantakartan aluekohteet on mahdollista nostaa digitaalisen maanpintamallin tasolle. Kantakartan tiedot riittävät sellaisenaan LOD 0-2-tason kaupunkimallin tekemiseen. Jos kantakartassa kuvatut rakennukset sisältävät korkeustietoa, kuten tiedon kerrosluvusta tai rakennuksen korkeudesta, voidaan rakennukset nostaa LOD1-tasolle. Kerroslukua käytettäessä tarvitsee rakennuksille määrittää kerroskorkeus, jotta rakennuksen korkeus saadaan laskettua (Liukkonen 2015, 71). Salon kaupungin kantakartassa olevat rakennukset, joilla on rakennustunnus, ovat

muodostettu alue kohteiksi. Kantakartasta löytyy myös rakennuksia, joilla ei rakennustunnusta ole, eikä niitä näin ole alueiksi muodostettu. Nämä kohteet ovat ensin muodostettava alueiksi, jotta ne voidaan mallintaa 3D-rakennuksiksi.

Maanmittauslaitoksen avoimesta laserkeilaus aineistosta voidaan muodostaa maanpintamalleja. Esimerkiksi Trimble Locus tukee LAS- ja LAZ-formaatteja, joihin Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto on tallennettu. (Trimble Locus 2018a, 14.)

CityGML:ssä tiet kuvataan 3D-alueina. Tämä tarkoittaa sitä, että tiet ja kadut pitää olla kuvattuna alueina eli polygoneina. Salon kaupungin aineistossa kadunreunat ovat viivoina, joten jotta ne voitaisiin nostaa 3D-tasoksi, on ne muodostettava ensin polygoneiksi. Toinen huomioitava asia kantakartan viivamaisissa kohteissa kuten kadunreunoissa on, että CityGML-standardi ei tue kaarimaisia kohteita. Näitä kohteita Salon kaupungin kantakartta-aineistossa on paljon mm. kadunreuna kohteissa. Kaarimaiset kohteet pitää muuttaa murtoviivoiksi, jotta ne olisivat CityGML-standardin mukaisia (Liukkonen 2015, 71).

Jos kaupunkimallia halutaan tuottaa LOD 3-tasoisena tai tarkempana, pelkkä kantakartta-aineisto ei enää riitä vaan lisäksi tarvitaan joko laserkeilaus- tai fotogrammetrista pistepilviaineistoa. Tämä johtuu siitä, että LOD 3-tasosta lähtien rakennuksen seinä- ja kattomuodot on mallinnettu yksityiskohtaisemmin ja niitä ei pelkästä 2D-kantakartta-aineistosta pysty määrittämään (Liukkonen 2015, 71). Trimble Locusesta löytyvät rekisteritiedot pystytään liittämään 3D-kohteisiin, tehden näin kaupunkimallista semanttisen.

5 SALON KAUPUNGIN ASETTAMAT VAATIMUKSET KAUPUNKIMALLILLE

Salon kaupunki on asettanut vaatimukset tuotettavan 3D-kaupunkimallinnuksen suhteen. Asetettujen vaatimusten on tarkoitus rajata mallinnukseen käytettyjä menetelmiä. Menetelmien tulee olla yhteensopivia Salon kaupungin käyttämän Trimble Locus -paikkatietojärjestelmän kanssa. Lisäksi rakennusten- ja kaupunkisuunnittelun siirtyessä enemmän ja enemmän digitaaliseen muotoon, on kaupunkimalliin oltava mahdollista lukea sisään kolmiulotteisia IFC- ja BIM-rakennusmalleja. Käytettävistä menetelmissä pitää olla myös CityGML-kirjoitus mahdollisuus, sillä CityGML on valikoitunut kansainvälisesti ja kansallisestikin yleiseksi kaupunkimallien tiedonsiirto standardiksi. Salon kaupunki on mukana Kuntaliiton vetämässä 3DKunta -hankkeessa, jossa määritellään Suomeen yhteistä CityGML-määrittelyä.

Salon kaupungin ensisijainen tavoite on tuottaa jatkuvasti ylläpidettävää 3D-kaupunkitietomallia. Työskentelytavat vanhan 2D-kantakartan ylläpitämisestä muutetaan vastaamaan 3D-kantakartan ylläpitoa. Tavoite tarkkuudeksi rakennusten mallinnuksen osalta asetetaan LOD 3-tasolle. Keskustan osalta rakennuksiin lisätään myös tekstuurit. Keskustan ulkopuoliset alueet mallinnetaan LOD 2-tasoon (Laiho 2018).

6 KYSELY KAUPUNKIMALLINNUKSEN KEINOISTA

6.1 Kyselyn sisältö

Sähköinen kyselykaavake luotiin Google Forms -kyselysovelluksen avulla (Liite 1). Kyselyn vastaanottajat rajattiin ns. Trimble-kuntiin eli niihin kuntiin, joiden paikkatietojärjestelmänä on Trimble Locus. Lisäksi nämä kunnat ovat aloittaneet kaupunkimallinnuksen tai mallinnus on suunniteltuna aloitettavaksi. Kysely lähetettiin kaiken kaikkiaan 21 kuntaan: Turku, Espoo, Jyväskylä, Oulu, Kouvola, Pieksamäki, Kauniainen, Kuopio, Lahti, Riihimäki, Hämeenlinna, Rovaniemi, Lappeenranta, Pori, Joensuu, Varkaus, Kajaani, Seinäjoki, Rauma, Nurmijärvi ja Forssa. Kyselyyn vastasi 16 kaupunkia, joten vastaus prosentti oli näin 76 %. Vastanneista kunnista 14 oli aloittanut kaupunkimallintamisen ja loput kaksi oli vasta käynnistelemässä mallintamista.

Kyselyssä pyydettiin vastaamaan kuuteen kysymykseen kaupunkimallinnuksen keinoista ja käyttökohteista:

- Edustamanne organisaatio?
- Minkälaista aineistoa mallinnukseen on käytetty? Mitä lähtöaineistoa on käytetty, miten sitä on tuotettu ja mihin tarkoitukseen aineistoa on käytetty?
- Millä ohjelmilla kaupunkimallia on tuotettu? Millä ohjelmilla mallinnusta on tehty ja sen käyttötarkoitus. esim. "Terra Solid: Tekstuurien lisääminen rakennuksiin ym."
- Miten kaupunkimallia on hyödynnetty? Kaupunkimallin käyttökohteet esim. kaupunkisuunnittelu.
- Onko kaupunkimallia julkaistu? Onko kaupunkimalli julkaistu esim. avoimeksi karttapalveluksi tai rajapinnan kautta?
- Millä tavalla kaupunkimallia on julkaistu?
- Muuta huomioitavaa.

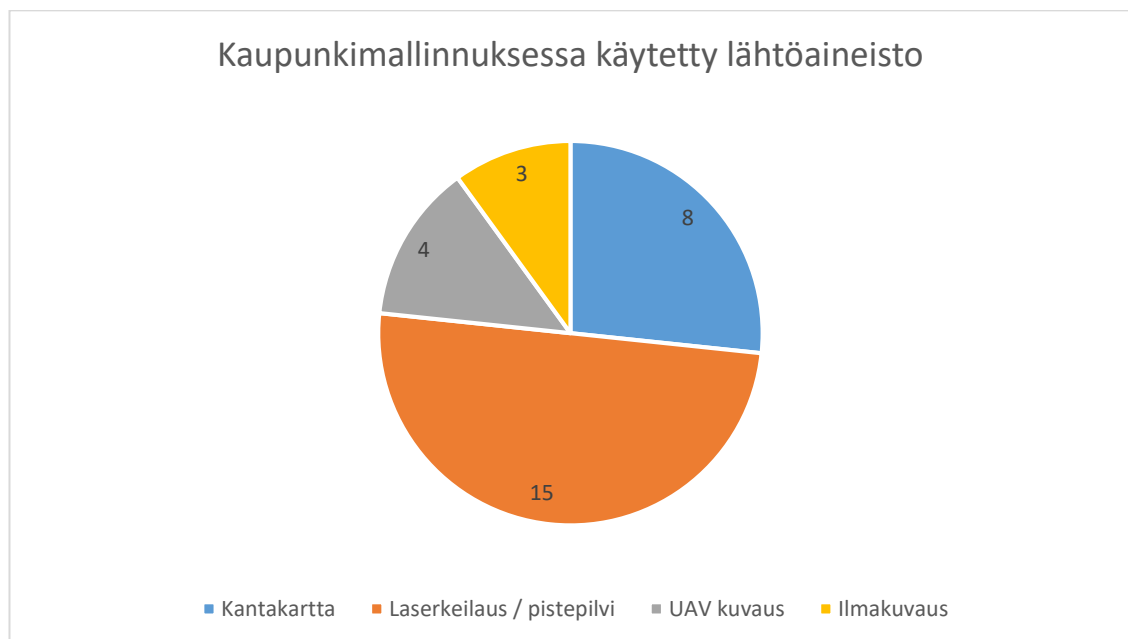
6.2 Kaupunkimallinnuksessa käytetty lähtöaineisto

Kyselyn toinen kysymys koski kaupunkimallinnuksessa käytettyä lähtöaineistoa (Kuvio 6). 15 kuntaa, eli lähes jokainen vastasi käyttäneensä joko laserkeilalla tai fotogrammetrisesti tuotettua pistepilviaineistoa mallinnuksen lähtöaineistona. Pistepilviaineistosta on luotu maanpinta malleja, muodostettu rakennusten kattovektoreita, sekä mallinnettu kasvillisuutta.

8 kuntaa vastasi käyttäneensä Trimble Locus -tietokannasta eli kantakartasta löytyvää rakennusten kivijalka vektoria-aineistoa. Myös tietokannasta löytyviä rekisteri ja ominaisuustietoja on käytetty mallinnuksen lähtötietoina.

Orto- ja viistoilmakuvista on tehty tekstuureita rakennusten katto- ja seinäpinoille. 4 kuntaa vastasi käyttäneensä UAV-kuvausta kaupunkimallinnuksessa. UAV-kuvausta on käytetty lähinnä yksittäisten kohteiden mallintamiseen ja kaupunkimallin täydentämiseen.

3 kuntaa vastasi käyttäneensä ilmakuvia lähtöaineiston luomisessa. Orto- ja viistoilmakuvista on luoto fotogrammetrisiä pistepilviä ja viistoilmakuvista tekstuureja esim. rakennusten pinnoille.



Kuvio 6. Kaupunkimallinnuksessa käytetty lähtöaineisto

6.3 Kaupunkimallinnuksessa käytetyt sovellukset

Kyselyn kolmannessa kysymyksessä kysyttiin, minkälaisilla ohjelmilla kaupunkimallia on tuotettu (Kuvio 7). Valtaosassa kyselyyn vastanneissa kunnissa oli käytössä Trimble Locus, FME ja Terra Solid Oy:n ohjelmat kaupunkimallin tuottamiseen.

12 kuntaa oli maininnut käyttävänsä Terrasolid Oy:n sovelluksia mallinnuksessa. Terra Solidin ohjelmistot toimivat Bentelyn Microstation alustalla. Terra Solidin Oy:n ohjelmat on kehitetty pistepilvien käsittelyyn, vektorointiin, kuvien käsittelyyn, sekä kuvien hyödyntämiseen kaupunkimallissa. Terra Solid Oy:n ohjelmistoista TerraScan:ia on käytetty, joko laserkeilaimella tai fotogrammetrisesti tuotettujen pistepilvien käsittelyyn ja luokitteluun ja rakennusten kattomuotojen vektorointiin pistepilviaineistosta.

TerraScan-ohjelmaan on mahdollista tuoda esim. rakennusten kivijalka vektoreita auttamaan vektorointi prosessissa. Kivijalkavektorit auttavat ohjelmaa tunnistamaan pistepilviaineistosta rakennuksen kattopisteet, sekä havaitsemaan mahdolliset poikkeamat kantakartan kivijalkavektoreiden ja pistepilviaineiston välillä. TerraPhotolla sen sijaan on lisätty tekstuureja rakennusten seinä- ja kattopinnoille. TerraPhotolla voidaan myös muodostaa ortomosaiikkeja ilmakuvauksista. TerraPhoto:ssa voidaan visualisoida esimerkiksi suunnitelmia 3D-kaupunkimallin pohjalle. TerraCityä on käytetty tiedonsiirtoon TerraScanin ja 3DCityDB:n välillä. TerraScan pystyy kirjoittamaan 3D-kaupunkimallin CityGML-formaatissa, jolloin 3D-kaupunkimallin tallentaminen 3DCityDB-tietokantaan on mahdollista (Soukki 2018).

Trimble Locus oli toiseksi yleisin sovellus kaupunkimallintamiseen. 16 kunnasta 9 ilmoittivat käyttävänsä Locusta kaupunkimallinnuksessa. Trimble Locus on pääsääntöisesti ollut kaupunkimallin ylläpito-ohjelma. Locuksella onnistuu myös rakennusten ja maanpinnan mallintaminen Maastomalli ja 3D-visualisointi sovellusta käyttäen. Maastomalli sovellus tukee LAS-, LAZ-, XYZ-, GT-, ASCII-muotoisia aineistoja. Rakennukset voidaan Locuksessa mallintaa hyödyntämällä kan-

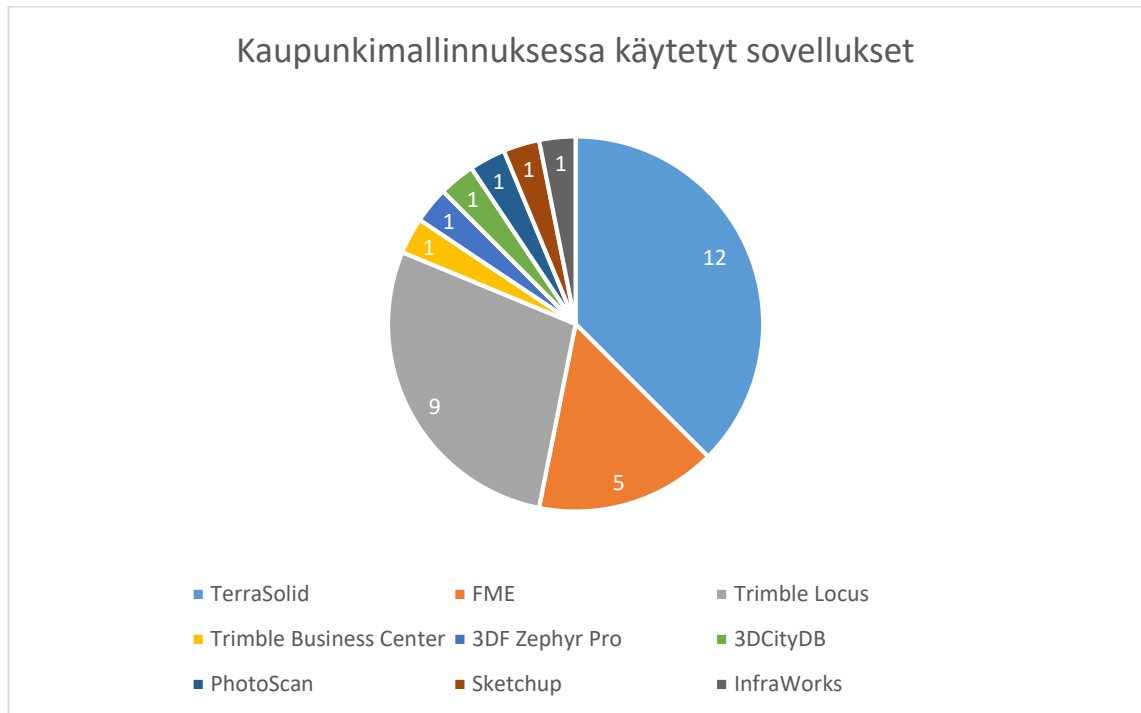
takartan kivijalkavektoreita. Rakennuksen korkeuden määrittämiseen on eri vaihtoehtoja. Rakennusten korkeus voidaan määrittää käyttämällä attribuuttitiedoista löytyviä tietoja kuten kerroslukua, rakennuksen korkeutta tai kerroskorkeutta ja muodostaa rakennukset ns. massamalleiksi. Toinen vaihtoehto on mallintaa kattorakenteet Tekla Civil 3D-toiminnallisuutta käyttäen ja nostamalla rakennuksen seinät mallinnettuun kattoon. Rakennusten ja maanpintamallin pinnat ovat myös mahdollista teksturoida Locuksessa. Locus tukee JPEG-, GIFF- ja PNG-rasteriformaatteja (Trimble Locus, Maastomalli ja 3D-visualisointi 17.1, 2-6,14). Rakennusten massamallit voidaan korvata myös erillisellä VRML 3D-objektilla. Näitä kohteita voivat olla esimerkiksi erityiset maamerkit. Myös muita kohteita voidaan visualisoida VRML-objektien avulla kuten puita. Locus versiosta 18.1 eteenpäin ohjelmaan on lisätty tuki myös CityGML- ja TrimBim- formaateille. CityGML formaatissa tuki on määritelty TerraSolid sovelluksissa tuotetuille aineistoille. Trimble Locus tukee myös ulkopuolisia referenssimalleja kuten IFC-, BIM-, SketchUp-, LandXML-, dgn- ja dwg-formaatteja (Trimble Locus 2018b, 4–5).

Rakennusten mallintamisessa on mahdollista käyttää apuna Terra Solid Oy:n ohjelmia, jolloin mallintamista saadaan automatisoitua. Jos mallinnuksessa käytetään apuna Terra Solid Oy:n ohjelmistoja, kattovektorit muodostetaan ensin TerraScan:ssa. Tämän jälkeen kattovektorit siirretään Locukseen, jossa varsinainen 3D-rakennus muodostetaan yhdistämällä kivijalkavektori ja kattovektorit toisiinsa. Jos rakennukseen halutaan lisätä tekstuurit, siirretään malli takaisin TerraPhotoon, jossa rakennuksen pinnoille lisätään tekstuurit. Tämän jälkeen rakennus siirretään takaisin Locukseen ja tallennetaan tietokantaan (Soukki 2018). Locuksesta löytyy lisäksi kohteisiin liitettävät ominaisuustiedot: Rakennus- ja huoneistorekisterin rakennustiedot, varustetiedot viheralueista ja -kohteista ja ominaisuustiedot johtokartoista.

FME on paikkatietojen yhdistämiseen, jakamiseen ja muokkaamiseen, kuten formaatti ja koordinaatisto muunnoksiin tarkoitettu sovellus. FME sisältää tietomallin kaikkia geometria- ja attribuuttityypit, jonka ansiosta tietomalli pysyy alkuperäisessä muodossaan formaattimuunnoksen aikana. FME tukee 335 eri formaattia esimerkiksi CAD-, GIS-, 3D-, BIM-, tietokanta- ja rasteriformaatteja. (Spatial-World 2018.) Kyselyn mukaan FME sovellusta onkin käytetty erilaisten kohteiden

kuten kattovektoreiden, rakennusten kivijalkojen ja rakennustunnusten kytkemisessä toisiinsa. Terrasolidin ohjelmistoihin saa myös integroitua FME-sovelluksen. FME-sovellusta ilmoitti käyttävänsä 5 kuntaa.

Harvinaisempia sovelluksia kaupunkimallin tuottamiseen kyselyn mukaan olivat 3DCityDB, InfraWorks, Sketchup, Trimble Business Center, 3DF Zephyr Pro ja PhotoScan. Nämä kaikki saivat yhden vastauksen kyselyssä.



Kuvio 7. Kaupunkimallinnuksessa käytetyt sovellukset

3DCityDB on avoimen lähdekoodin tietokantapalvelu CityGML-muotoisten kaupunkimallien julkaisemiseen, ylläpitoon ja tallennukseen viidessä eri LOD-tarkkuus tasossa. (3DcityDB 2018.) Kuopion kaupunki on tallentanut oman kaupunkimallinsa kyseiseen tietokantaan käyttäen TerraCity-sovellusta CityGML-standardin mukaisessa tiedonsiirrossa.

InfraWorks on AutoCad-pohjainen sovellus yhdyskuntainfrastruktuurin suunnitteluun. InfraWorks:llä voidaan suunnitella tietomallipohjaisia infrasuunnitelmia kuten teitä tai siltoja. Sovelluksella voidaan tehdä analyysyjä ja simulointeja 3D-mallien pohjalta. (Autodesk 2018.)

Trimble Business Center on mittaustietojen käsittelyyn suunnattu sovellus. Sovelluksella voidaan käsitellä mobiili- tai maakeilaimella tai fotogrammetrisesti tuotettuja pistepilviä ja kuva-aineistoja. Sovelluksella voidaan luoda myös ortomosaikkeja tai rasteroituja korkeusmalleja pistepilvi ja kuva-aineistoista. Trimble Business Center tukee myös BIM- ja CAD-malleja. (Trimble Business Center.)

3D Zephyr Pro-sovelluksella voidaan luoda automaattisesti 3D-malleja valokuvista. Sovelluksella voidaan luoda ortomosaikkeja ja digitaalisia pintamalleja, sekä laskea esimerkiksi korkeuskäyriä fotogrammetrisestä aineistosta. Pro-versiossa on mahdollista tuottaa myös fotogrammetrisiä pistepilviaineistoja. (3DFlow 2018.)

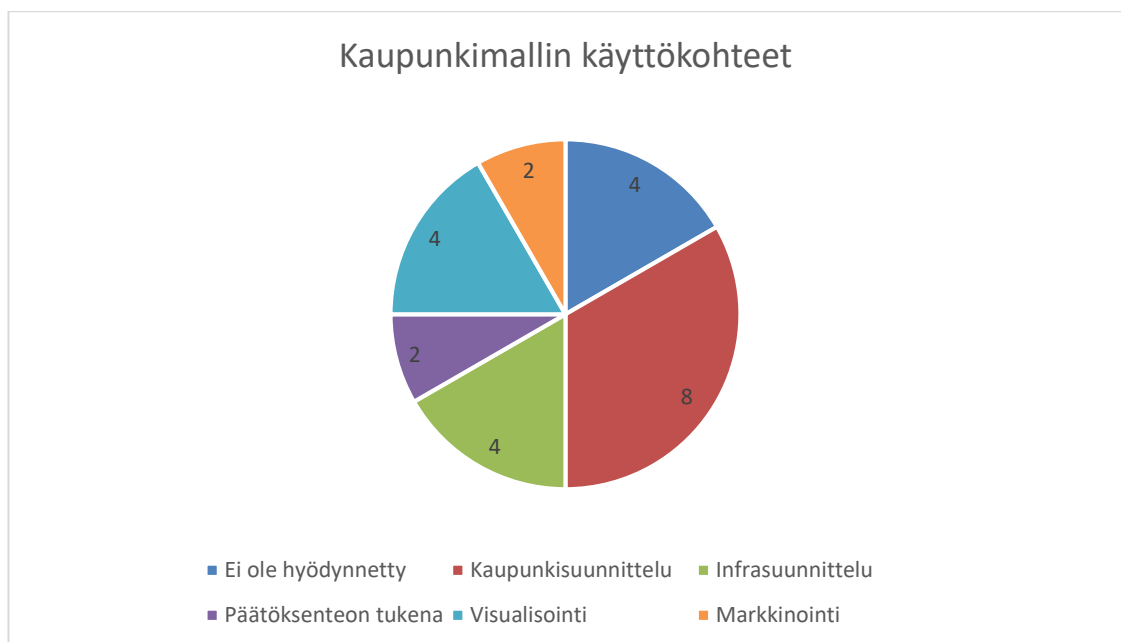
Sketchup on 3D-mallinnusohjelma, joka soveltuu arkkitehtuuristen 3D-mallien tekemisen kuten rakennukset ja huonekalut. Sillä pystytään mallintamaan myös maanpintaa ja ympäristöä, joten se soveltuu myös kaupunkimallinnukseen. Sketchup:sta on julkaistu kaksi versiota Sketchup Pro, joka on 3D-mallinnus sovellus, sekä Sketchup Free, jonka avulla voidaan tarkastella 3D-malleja. Sketchup on nykyisin osa Trimble -konsernia ja Locuksesta löytyykin Sketchup-formaatin uloskirjoitus. Sketchup:ia voidaan käyttää siis Trimble Locuksessa tuotetun kaupunkimallin tarkasteluun. (Sketchup Help 2018.)

PhotoScan-sovelluksella voidaan luoda fotogrammetrisiä 3D-malleja, ortomosaikkeja ja digitaalisia pintamalleja, joista voidaan tehdä erilaisia mittauksia. Sovellus tukee myös pistepilviaineistoja, joista voidaan luoda teksturoituja Mesh-malleja. PhotoScaniin voidaan lukea myös ulkoisia 3D-malleja useassa eri formaatissa kuten esimerkiksi Collada. (Agisoft PhotoScan 2018.)

6.4 Kaupunkimallin käyttökohteet

Kyselyn neljännessä kysymyksessä kysyttiin, miten kaupunkimallia on hyödynnetty (Kuvio 8). Kyselyn tuloksesta voidaan todeta, että kaupunkimallia hyödynnetään vielä melko vähän. Kaupunkisuunnittelussa hyödynnetään kaupunkimalleja yleisemmin.

Kyselyyn vastanneista kunnista 8 kuntaa on ilmoittanut kaupunkisuunnittelun kaupunkimallin käyttökohteeksi. Visualisointiin ja infrasuunnitteluun kaupunkimallia on hyödynnetty seuraavaksi eniten. 4 kuntaa oli vastannut käyttävänsä kaupunkimallia visualisoinnissa ja infrasuunnittelussa. Kaava- ja verkostohankkeita visualisoidaan kaupunkimallin pohjalle. Markkinoinnissa ja päätöksenteon tukena kaupunkimallia käytetään vielä sängen vähän, sillä vain 2 kuntaa 16:sta mainitsivat nämä käyttökohteiksi. Neljä kuntaa vastanneista, eivät olleet hyödynneet kaupunkimallia vielä mitenkään.

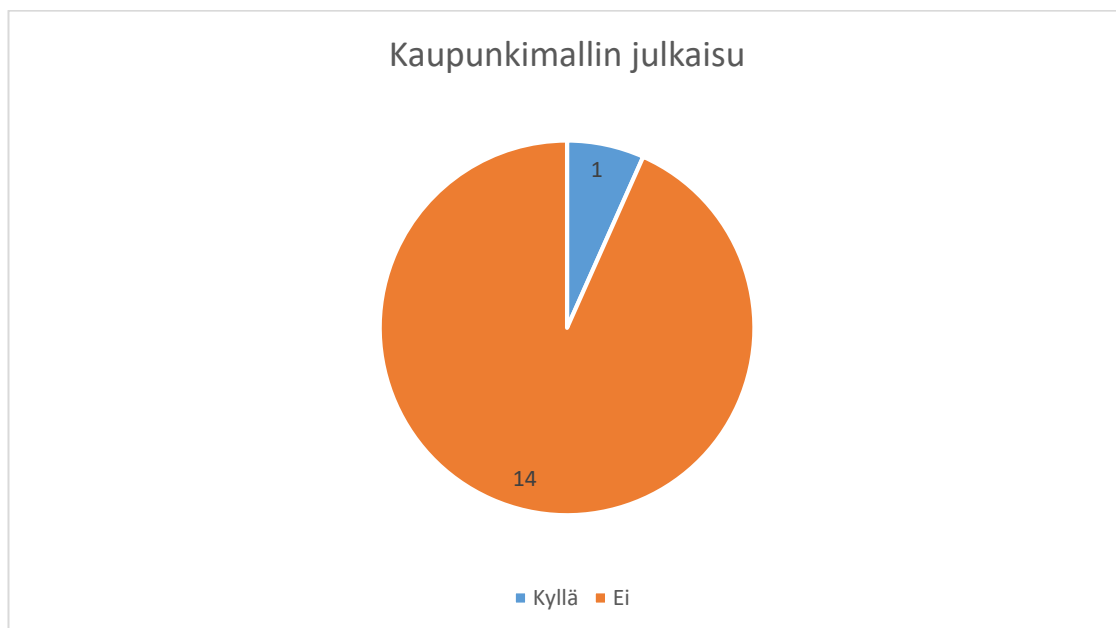


Kuvio 8. Kaupunkimallin käyttökohteet

6.5 Kaupunkimallin julkaisu

Kyselyn viidennessä ja kuudennessa kysymyksessä kysyttiin, onko kaupunkimallia julkaistu ja jos on julkaistu niin millä tavoin (Kuvio 9). Kyselyyn vastanneista kunnista ainoastaan Kajaanin kaupunki vastasi kysymykseen kyllä ja loput 15 vastasivat ei. Kajaanin kaupunkimalli on julkaistu YouTube-videona, eli varsinaista kaupunkimallia ei ole julkaistu. Espoon kaupungissa oli tavoitteena julkaista CityGML-skeeman mukainen kaupunkimalli WFS-rajapinnassa loppuvuodesta 2018. Vastauksen tulos kertoo siitä, että kaupunkimallintaminen kunnissa

ei ole vielä niin pitkällä, että kaupunkimallin julkaiseminen ei ole ollut ajankoh-
taista.



Kuvio 9. Kaupunkimallin julkaisu

6.6 Kyselyn tulosten yhteenveto

Kyselyn tuloksista voidaan päätellä, että kaupunkimallia on tuotettu kahdella eri tapaa. Kaupunkimalleja on tuotettu, joko itse ylläpitäen ja tuottaen tai sitten puhtaasti konsultin tekemänä. Vaikka 3D-kaupunkimallinnus on jo pitkään puheenaiheena, on itse mallinnustyö vielä hyvin alkuvaiheissa. Tästä kertovat myös kaupunkimallin hyödyntämiseen ja julkaisuun kohdistuneet kysymykset.

3D-kaupunkimallien hyödyntäminen on vielä melko pientä ja kaupunkimallien julkaisuun ei vielä ole mietitty keinoja. Valtaosa kyselyyn vastanneista kunnista on valinnut Trimble Locuksen kaupunkimallin ylläpitoon. Ainostaan Kuopion kaupunki on valinnut erilaisen lähestymistavan ylläpitää kaupunkimallia. Kuopion kaupunki on päättänyt tallentaa 3D-kaupunkimallinsa avoimen lähdekoodin 3DCityDB-tietokantaan.

Suuremmat kaupungit, joilla on paremmat resurssit, kuten Espoo ja Turku ovat päässeet mallinuksessa jo pitkälle. Tämä kertoo myös siitä, että 3D-kaupunki-

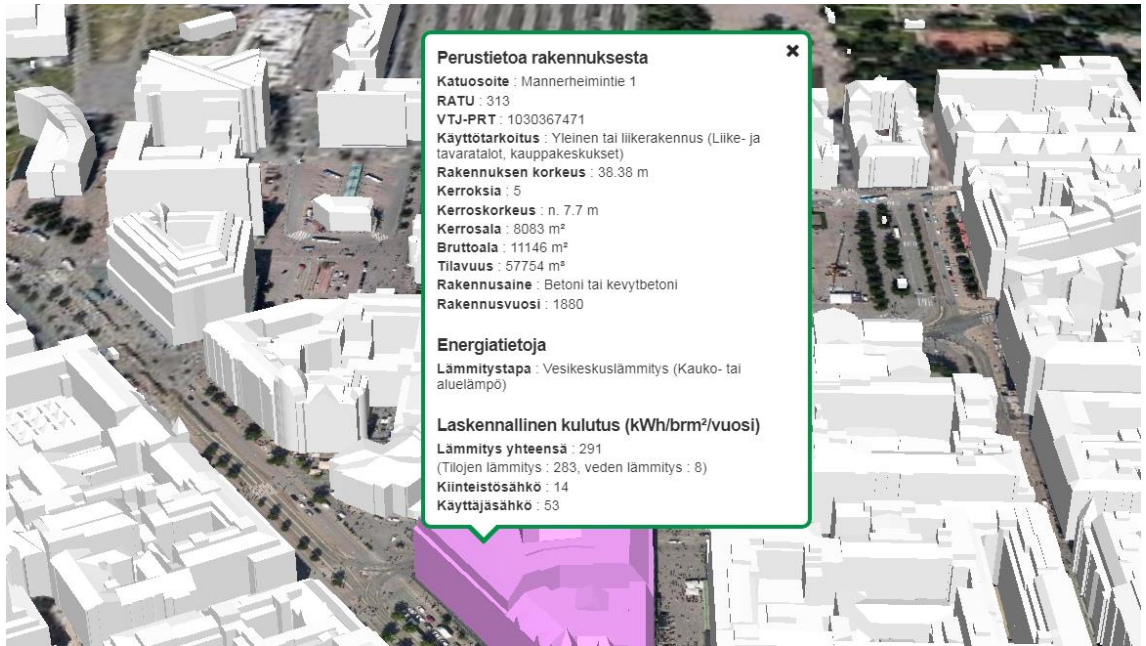
mallinnus vaati niin henkilö-, ja taloudellisia resursseja. Lisäksi vastauksista selviää, että ennen varsinaisen mallinnustyön aloittamista, on tärkeää hahmottaa kaupunkimallinnusprosessi, sekä määritellä minkälaista kaupunkimallia ollaan tekemässä. Mitä kaupunkimallilta halutaan ja miten sitä ylläpidetään? Nämä kysymykset vaikuttavat merkittävästi valitessa kaupunkimallinnus menetelmiä.

7 KAUPUNKIMALLIN JULKAISU

Kyselyn tuloksista voidaan todeta, että kaupunkimallien julkaiseminen ei ole vielä ollut ajankohtaista, sillä varsinainen kaupunkimallinnustyö on ollut tai on vielä kesken ja julkaisu mahdollisuuksia on vasta aloitettu kartoittamaan. Kyselyyn vastanneista kunnista, ainoastaan Espoon kaupungilla oli julkaisu ajankohta WFS-rajapinnassa suunniteltuna. Kuntaliiton 3D-kaupunki hankkeessa CityGML-skeema tullaan toteuttamaan siten, että kaupunkimallit ovat helposti julkaistavissa WFS-rajapinnassa. (3Dkunta 2018.) Juuri CityGML-standardi mahdollistaa kaupunkimallien tiedonsiirron rajapintojen kautta. (Liukkonen 2015, 67.)

Kyselyn ulkopuolelta voidaan todeta, että Suomessa Helsingin kaupunki on onnistunut julkaisemaan kaupunkimallinsa WFS-rajapinnassa sekä web-selainpohjaisessa karttapalvelussa. Kaupunkimalli on julkaistu kahtena eri versiona. Toinen on rakennusten ominaisuustietoa sisältävä 3D-kaupunkitietomalli ja toinen on pelkkä visuaaliseen tarkasteluun tarkoitettu 3D-kaupunkimalli ilman semantiikkaa. 3D-kaupunkitietomallissa voi myös hakea rakennuksia osoite- tai ominaisuustiedon perusteella. Helsingin kaupunki on julkaissut myös erillisen rakennus-, korjaus-, energiatietoihin perustuvan karttapalvelun, 3D-kaupunkitietomallin päälle rakennetun Helsingin energia- ja ilmastoatlaksen (Kuvio 10). Mallissa on mahdollista kysellä tietoja aurinkoenergian laskennasta eli siitä kuinka paljon rakennusten seinäpinnat tuottavat aurinkoenergiaa vuosi- ja kuukausi tasolla (Helsingin kaupunki 2018).

Helsingin kaupunki on tallentanut kaupunkimallinsa 3DCityDB:seen, josta se on julkaistu Cesium3D-nimiseen avoimen lähdekoodin alustalle kaupunkimallien julkaisuun. (Cesiumjs.)



Kuvio 10. Helsingin kaupunki, Energia- ja ilmastoatlas (Helsingin kaupunki 2018)

8 QGIS -SOVELLUKSEN SOVELTUVUUS MALLINNUKSEEN.

8.1 QGIS

QGIS:n suosio on kasvanut viime vuosina merkittävästi ja sen käyttö on yleistynyt myös kuntasektorilla. QGIS on ilmainen avoimen lähdekoodin paikkatietosovellus. Se soveltuu paikkatietoaineistojen analysointiin, visualisointiin ja julkaisuun. QGIS:iin on ladattavissa monia eri käyttäjien kehittämiä lisäosia. Lisäosat ovat käyttäjän vapaasti ladattavissa QGIS:stä löytyvän valikon kautta. Tämän opinäytetyön aikana on tarkoitus selvittää, soveltuuko QGIS 3D-kaupunkimallinnukseen.

Työssäni käytän QGIS versiota 3.4.1, joka on uusin saatavilla oleva versio opinäytetyön tekemisen aikana. 3.0-versiosta lähtien QGIS on pitänyt sisällään uuden 3D-näkymä toiminnon, jonka avulla vektorikohteita voidaan visualisoida kolmiulotteisena erillisessä 3D-karttanäkymässä. Tuettuja vektorikohteita ovat polygonit, pisteet ja viivat. Pisteitä voidaan kuvata palloina, kartiona, sylintereinä, levyinä, ikoneina ja valmiilla 3D-objekteilla. Symbolien koko ja väri ovat käyttäjän muokattavissa. Viivamaisia kohteita voidaan kuvata neliskulmaisina tankoina, mutta esimerkiksi pyöreitä muotoja putkille ei tässä toiminnossa ole saatavilla. Polygonit voidaan 3D-näkymässä nostaa maanpinnan tasosta halutulle korkeudelle antamalla Extrusion-kohtaan haluttu korkeusarvo.

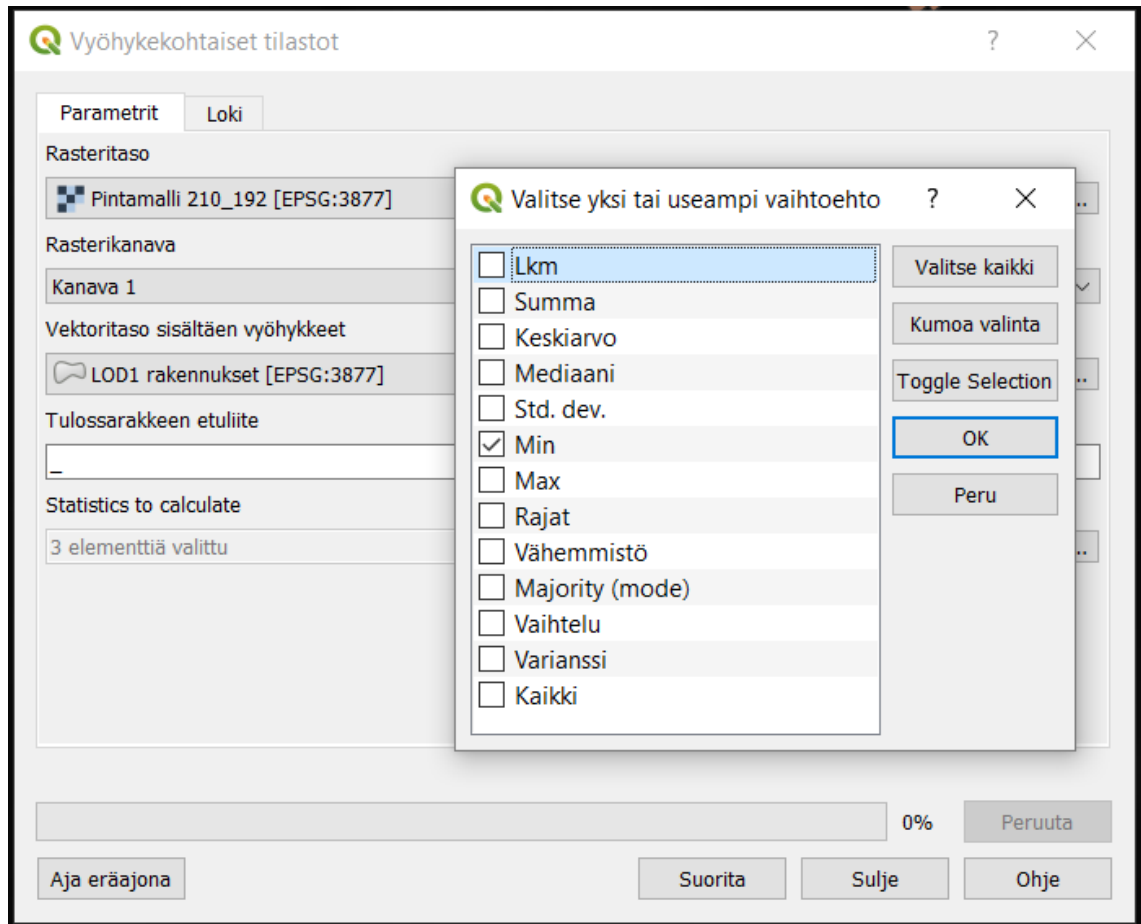
QGIS:iin on kehitetty qgis2threejs-lisäosan versio 2.2, jonka avulla voidaan visualisoida web-selaimessa DEM-pintamalleja sekä vektoridataa 3D-muodossa. Tuettuja vektorimuotoja ovat polygonit, pisteet ja viivat. Pisteitä voidaan kuvata qgis2threejs -lisäosassa palloina, kartiona, sylintereinä, levyinä, ikoneina ja valmiilla, Collada tai gITF 3D-objekteilla. Viivamaiset kohteet voidaan kuvata qgis2threejs -lisäosan avulla pyöreinä putkina, kartiona tai neliskulmaisina tankoina. Käyttäjä voi itse määritellä esim. putken halkaisijan. Qgis2threejs-lisäosan etuna on, että se mahdollistaa kaupunkimallin kirjoittamisen HTML-tiedostoksi, jolloin se saadaan myös julkaistua web-selain pohjaiseksi karttapalveluksi.

Opinnäytetyössäni käytän näitä molempia menetelmiä, sekä vertailen niiden toimintoja. Mallinnuksessa käytän apuna 3D-win-sovellusta, sillä se on valmiiksi jo Salon kaupungin käytössä. Tämän opinnäytetyön aikana luon molempia toimintoja hyväksi käyttäen 3D-kaupunkimallin Salon keskustan alueelta. Rakennuksen mallinnetaan LOD 1-tasoisena pois lukien kaupungintalon ympäristön rakennukset, jotka mallinnetaan LOD 2-tasoisena. Lähtöaineistona molemmissa malleissa käytetään olemassa olevaa TIN-kolmioverkkomallia, vektorikohteita Salon kaupungin kantakartasta kuten rakennukset, ajoradan reunat, puut ja valaisinpylväät. Jotta rakennuksista voidaan muodostaa 3D-malli, pitää rakennusten kivijalkavektorit olla alue muotoisia. Maanpintamalli teksturoidaan käyttämällä ortoilmakuvaa vuodelta 2015. Rakennusten kattomuodot digitoidaan ortoilmakuvasta ja kattokorkeudet Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistosta.

8.2 QGIS 3D-kaupunkimallinnus

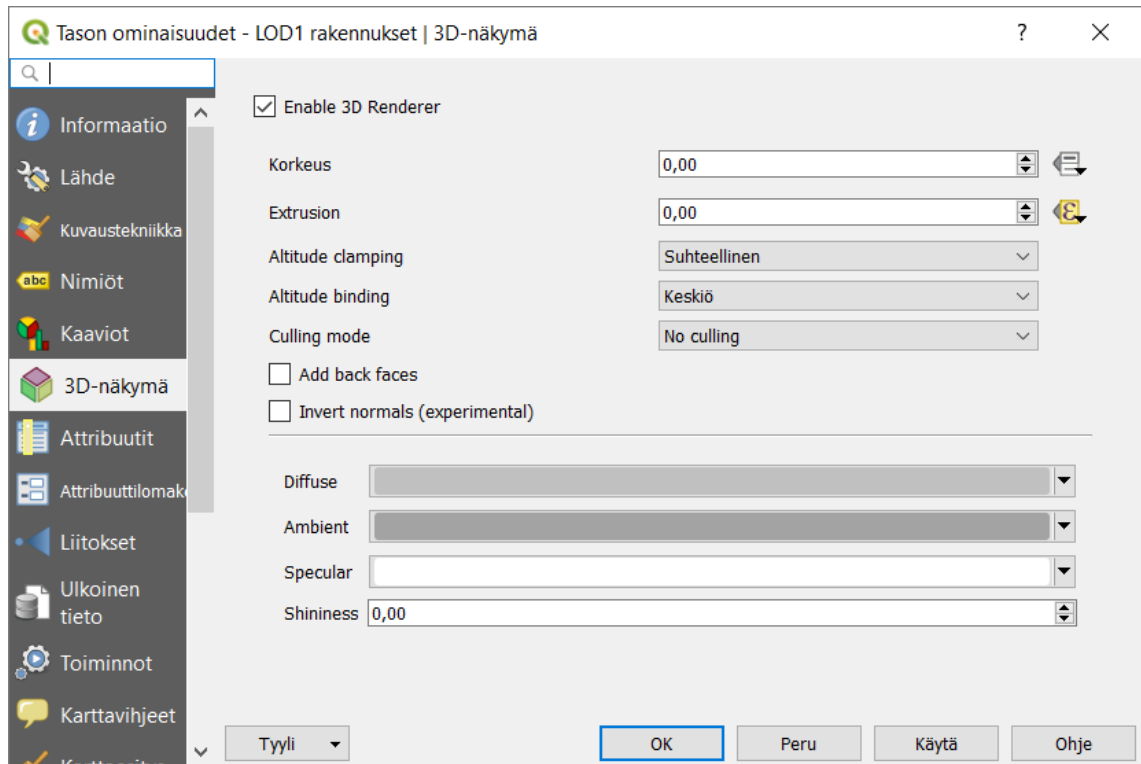
QGIS 3.4.1 version 3D-tuki mahdollistaa jopa LOD 2-tason kaupunkimallin tekemisen, sillä se tukee ns. 3D-shape muotoa. Tämä tarkoittaa sitä, että kun rakennuksista tai rakennelmista on muodostettu ns. solidi eli yhtenäinen 3D-malli, voidaan se visualisoida QGIS:n 3D-ikkunassa. Mallin pohjaksi tarvitaan ensin DEM-pintamalli, jonka pinnalle vektorikohteet nostetaan. Tässä opinnäytetyössä DEM-pintamalli on tehty Salon kaupungin teettämästä TIN-kolmioverkkomallista sekä käyttämällä QGIS:n interpolointi työkalua DEM-pintamallin luomiseen.

LOD 1-tason rakennukset voi luoda hyvinkin yksinkertaisesti QGIS:llä. Rakennusten kivijalkavektorit luetaan ensin omaksi vektoritasokseen. Jotta rakennusten korkeuden määrittäminen olisi mahdollisimman automaattista, luodaan toinen pintamallin rakennusten kattokorkeuksista Maanmittauslaitoksen pistepilviaineistosta. Seuraavaksi rakennusten kivijalkavektoreille määritellään maanpinnan korkeus ja keskimääräinen kattokorkeus vyöhykekohtaiset tilastot-toimintoa käyttäen (Kuvio 11). Maanpintamallista määritellään rakennuksille maanpinnan korkeus eli ”_min” arvo ja keskimääräinen kattokorkeus kattokorkeusmallista eli ”_mean” arvo.



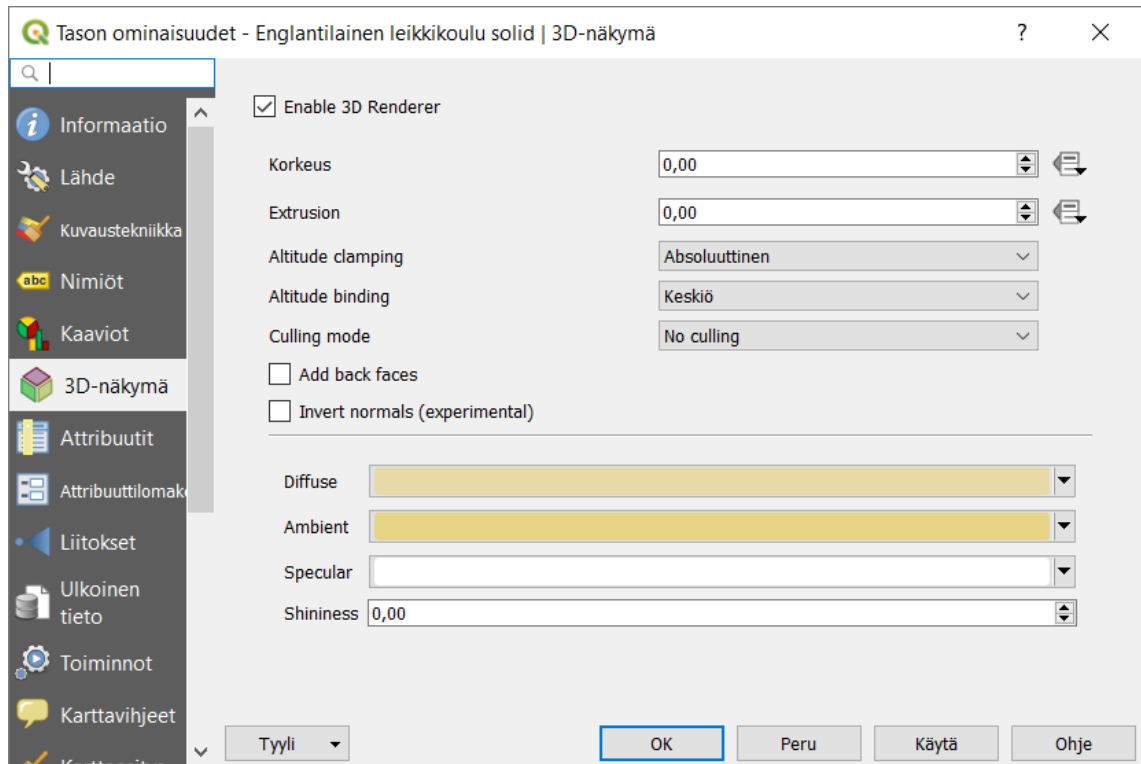
Kuvio 11. Vyöhykekohtaiset tilastot

Seuraavaksi vektoritason ominaisuuksista käydään kytkemässä 3D-muodostus päälle aktivoimalla enable 3D render-toiminto (Kuvio 12.). Rakennusten korkeus määritellään extrusion kohdassa antamalla yksinkertainen matemaattinen lauseke "_mean" - "_min". Näin ohjelma vähentää kattokorkeudesta maanpinnan korkeuden ja lopputuloksena on rakennuksen korkeus. Altitude Clamping kohdassa määritellään rakennuksen korkeusasema. Antamalla arvoksi "suhteellinen" rakennus sijoittuu maanpintamallin pinnalle. Altitude binding-kohdan arvon tulee olla "keskiö", jotta rakennusten kattopinnat ovat vaakatasossa, eivätkä mukaille maanpintamallin muotoja. Diffuse-, ambient-, specular- ja shininess-kohdissa määritellään kohteen visualisointi.



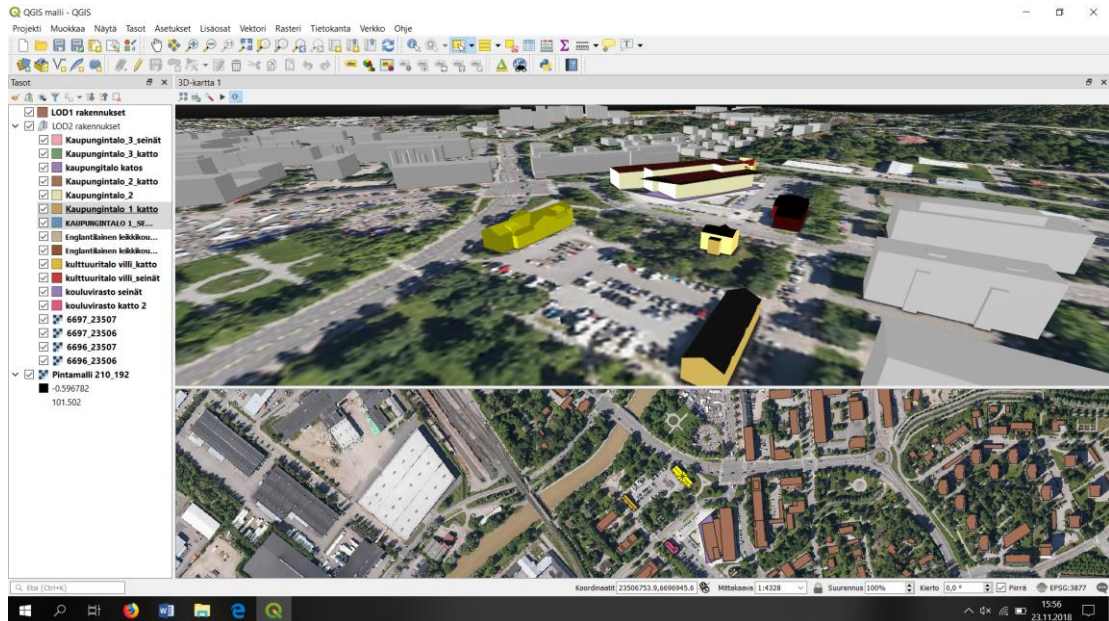
Kuvio 12. Vektoritason ominaisuudet

LOD 2-tason rakennusten solidi -mallit on luotu 3D-Win sovelluksella. Solidien luomisessa tärkeää on muistaa, että jokainen rakennuksen pinta täytyy olla muodostettu alueiksi. Rakennuksista mallinnetaan myös kattopinnat erikseen. Tämän jälkeen 3D-mallit kirjoitetaan shape-formaattiin, jonka jälkeen rakennukset ja katon luetaan omiksi tasoikseen QGIS:iin, jotta rakennukset pystytään visualisoimaan yksilöllisemmin mm. seinä- ja kattovärien suhteen. Jokaisen tason kohdalla käydään asetuksissa laittamassa enable 3D-renderer-toiminto päälle, jolloin 3D-mallit kuvautuvat 3D-ikkunaan (Kuvio 13). Asetuksissa määritellään myös mallien värit sekä korkeussuhde. Tässä työssä käytetyissä rakennusten solideissa on mukana todelliset korkeudet, joten altitude clamping-kohtaan valitaan arvo "absolute". Näin rakennus asettuu todelliseen korkeuteensa pintamallin tasolle. Seuraavaksi tasolle valitaan halutut värit (StackExchange 2018).



Kuvio 13. 3D-shape muotoisen vektoritason asetukset

Kun määrittelyt on tehty, voidaan avata 3D-näkymä mallin tarkastelemiseksi (Kuvio 14). 3D-näkymässä pitää ensin määrittellä käytettävä pintamalli korkeus kohdasta, jotta maanpinnan muodot tulevat näkyviin. 3D-näkymässä haluttu näkymä voidaan tallentaa monessa eri kuvaformaattissa esim. jpg-formaatissa. 3D-näkymää voidaan käyttää myös paikkatietoanalyysien visualisointiin, sillä kaikki valinnat mitä vektorikohteille QGIS:n käyttöliittymässä tehdään, kuvautuu myös 3D-näkymään.

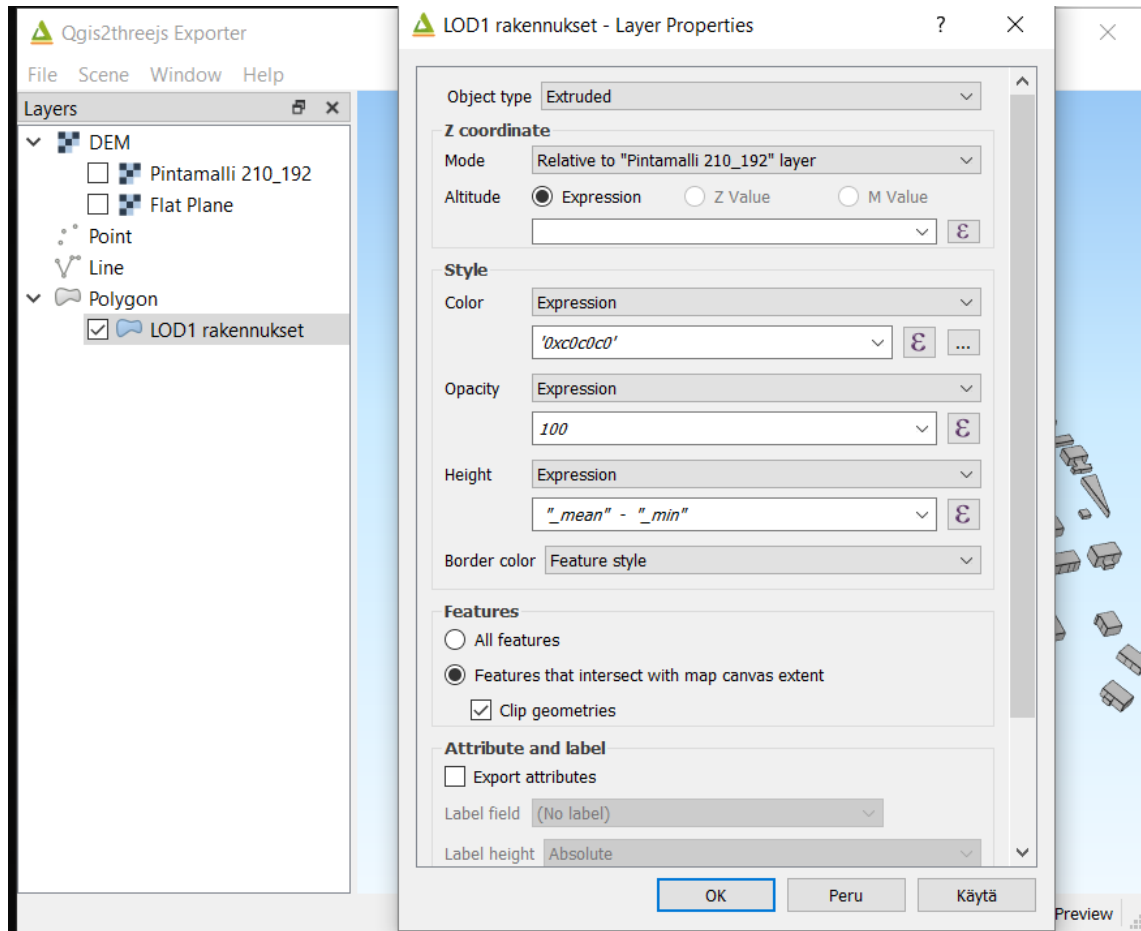


Kuvio 14. Kaupunkimalli QGIS 3D-näkymässä

8.3 Qgis2threejs 3D-kaupunkimallinnus

QGIS:iin ladattavan qgis2threejs-lisäosan avulla voidaan myöskin luoda 3D-malleja. Versiosta 2.2 lähtien qgis2threejs-lisäosa tukee myös 3D-mesh malleja, jonka avulla voidaan myöskin luoda LOD 2-tason kaupunkimalleja. Tässä työssä käytetään saamaa aineistoa kuin edellä tehdyssä QGIS-mallissa.

LOD 1-tason rakennusten asetusten määrittely tapahtuu Qgis2threejs exporter-asetuksista (Kuvio 15). LOD 1-tason rakennusten objekti tyypiksi valitaan extruded, jolloin kohteet kuvautuvat laatikkomaisina. Rakennusten korkeusasema määritellään mode-kohdassa arvolla "Relative to" halutun pintamallin tasolle. Rakennusten korkeuden määrittämisessä käytetään samaa matemaattista kaavaa "_mean" - "_min". Style -kohdassa määritellään kohteen visualisointi. Qgis2threejs-lisäosassa on mahdollista kirjoittaa myös ominaisuustiedot kohteille.

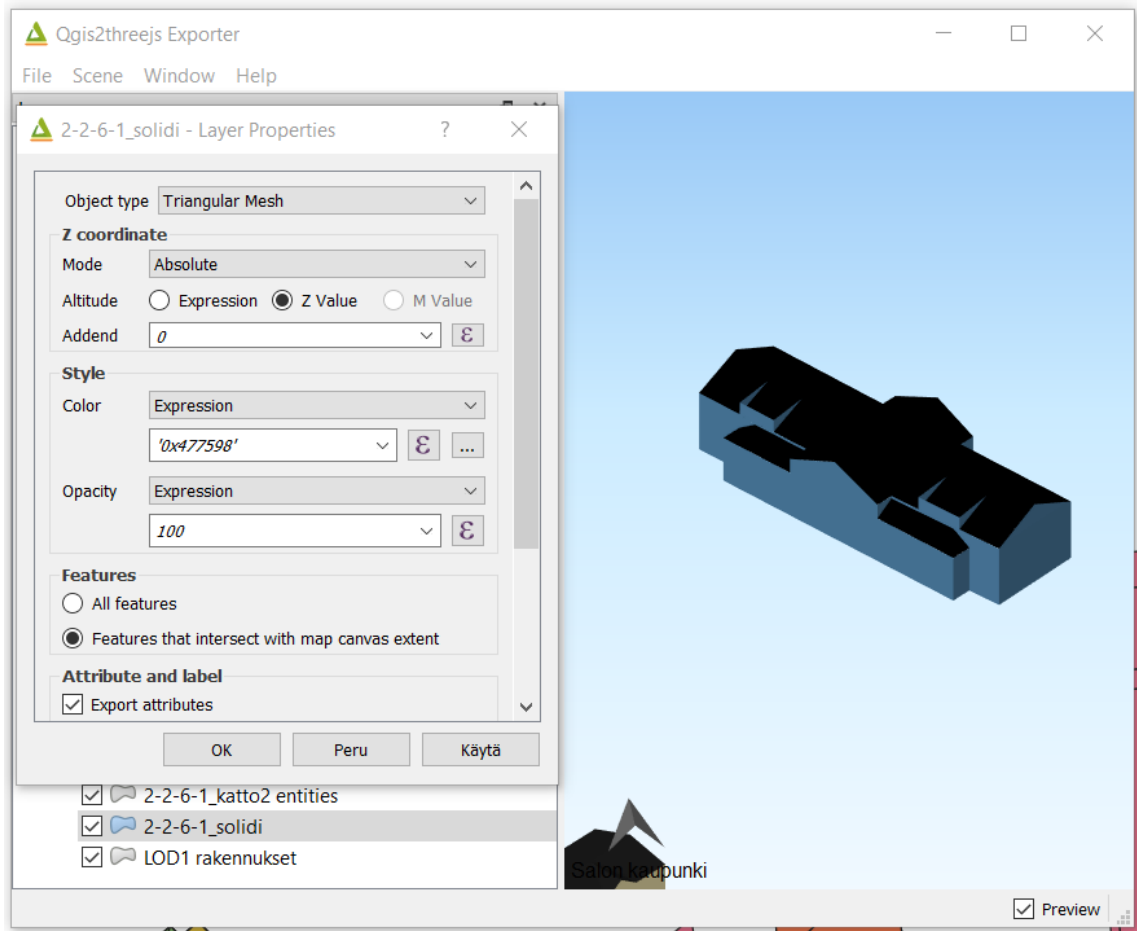


Kuvio 15. Qgis2threejs exporter, vektoritason asetukset

LOD 2-tason rakennusten mallintaminen eroaa hieman QGIS:ssä mallinnettavien LOD 2-rakennusten mallintamisesta. Qgis2threejs-lisäosa tukee triangular mesh -malleja eli ohjelma olettaa, että kaikki rakennuksen geometriat ovat kolmioita. Näin ollen rakennukset pitää kolmioida käyttämällä jotain toista mallinnusohjelmaa (GitHub 2018).

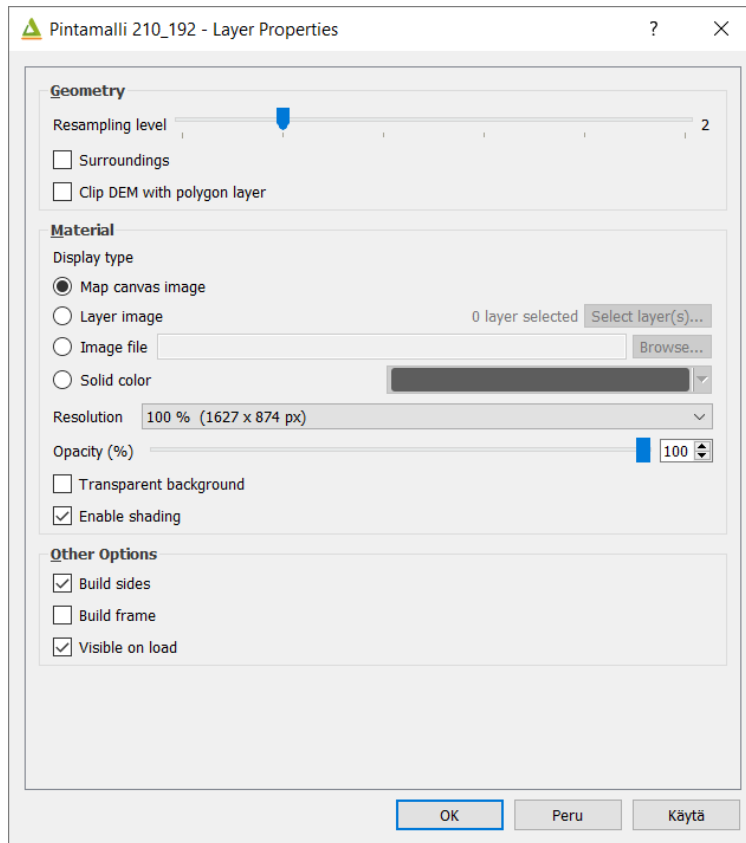
Qgis2three-lisäosan asetuksista määritellään objektin tyypiksi ”triangular mesh” (Kuvio 16). Rakennuksen korkeusasema on määritelty mallinnusvaiheessa, joten rakennuksen geometrialla on olemassa todelliset Z-koordinaatit. Tästä syystä Z-koordinaatin arvoksi valitaan ”absolute”. Style -kohdassa määritellään objektin visualisointi. Millä värillä kohde halutaan kuvata ja mikä on kohteen läpinäkyvyysarvo. Jos käytetään arvoa ”expression”, kohde kuvautuu tämän valikon asetusten mukaisesti. Jos taas arvoksi annetaan ”random”, valitsee lisäosa kohteen värin sattuman varaisesti. Feature style-arvolla kohteen visualisointi asetukset otetaan

projektin vektoritason kuvaustekniikasta. Attribute and label -kohdasta objektille voidaan kirjoittaa tunnus ja attribuuttiarvot.



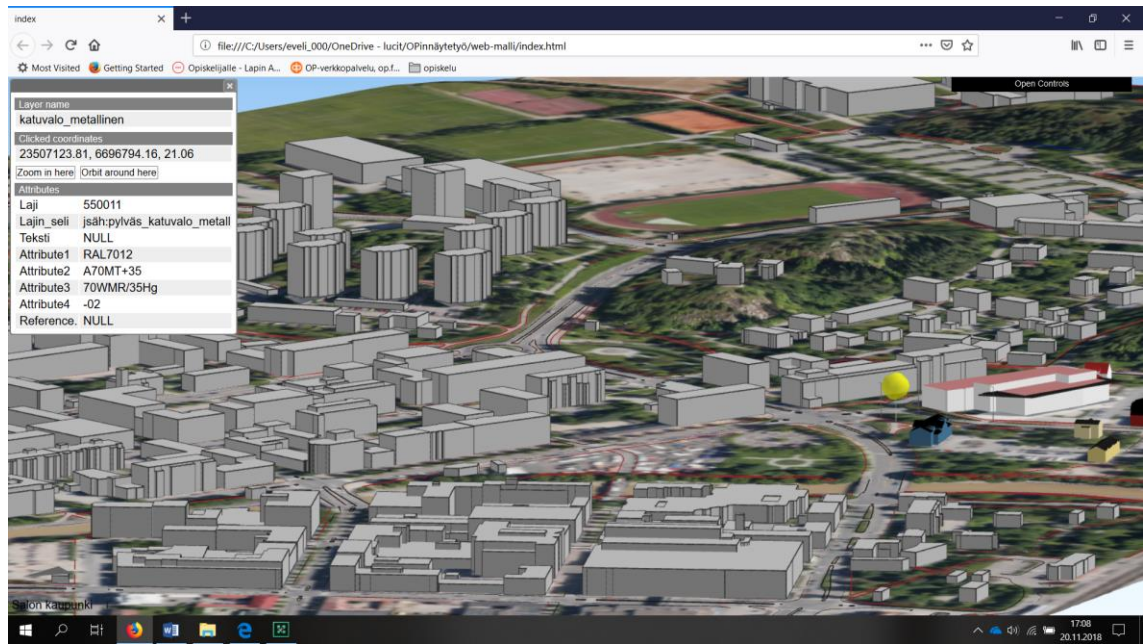
Kuvio 16. Qgis2threejs, vektoritason asetukset

Seuraavaksi määritellään käytettävä pintamalli (Kuvio 17). Pintamallin pinta voidaan teksturoida käyttämällä valokuvaa tai antamalla haluttu väriarvo. Valokuvan resoluutiota voidaan tässä vaiheessa säätää valmiilla arvoilla, joko 100-, 200, tai 400-prosenttiseksi, mutta mitä suurempi resoluutio on, sitä raskaampaa 3D-mallin pyörittäminen selaimessa on. Pintamallille voidaan määrittää reunat, jolloin ohjelma muodostaa pinnan alapuolelle laatikon. Jos halutaan visualisoida pinnan alapuolisia kohteita, on reunat syytä jättää pois. Pintamalli voidaan myös leikata halutun polygon-tason mukaan.



Kuvio 17. Qgis2threejs, pintamallin asetukset

Kun kaikki tasot ovat määriteltynä ja halutut pintamallit valittu käytettäväksi, voidaan valmis malli kirjoittaa Web-selaimessa näytettäväksi Export to web -toimintoa käyttäen (Kuvio 18). Toiminnossa on kolme eri mallivaihtoehtoa: 3D-viewer, joka on pelkistetty selain versio ilman toimintoja, 3D-viewer with dat-gui panel sisältää myös toimintovalikon. sekä mobile, joka taas on mobiililaitteisiin yhteensopiva kevyempi selainversio. 3D-malli voidaan tallentaa myös gITF- tai PNG-formaattiin save scene as -toimintoa käyttäen.



Kuvio 18. Qgis2threejs, valmis 3D-kaupunkimalli Web-selaimessa

9 SALON KAUPUNGIN TOTEUTUSSUUNNITELMA

3D-kaupunkimalli suunnitellaan toteutettavaksi kolmivaiheisena (Kuvio 19). Näin kustannukset saadaan jaettua usealle eri vuodelle ja työjärjestys pysyy selkeänä. Ensimmäisessä vaiheessa hankitaan Trimble Locukseen 3D-toiminnallisuus ja TerraScan-sovellus. Ensin mallinnetaan koko kaupunki LOD 0-tasolle. Maanpintamallina käytetään jo olemassa olevaa maanpintamallia tai Maanmittauslaitoksen tarjoamaa laserkeilausaineistoa. Rakennusten mallintaminen aloitetaan Salon kaupungin keskustan osalta LOD 2-tasoisena. Rakennusten kivijalka otetaan Salon kaupungin kantakartta-aineistosta ja nostetaan se maanpintamallin tasolle. Kattomuotojen mallintaminen tehdään TerraScan-sovelluksella pistepilviaineistosta. Tämän jälkeen katto- ja kivijalkavektorit yhdistetään käsin Locuksessa. Pistepilviaineistoa hankitaan joko dronella itse kuvaten tai vuonna 2019 tunnin juna hankkeeseen tehtävällä laserkeilauksella.

Toisessa vaiheessa keskustan LOD 2-tason rakennuksiin lisätään tekstuurit. Toisessa vaiheessa hankitaan myös Terra Solid Oy:n TerraPhoto -sovellus, jolla tekstuurien lisääminen rakennusten pinnoille onnistuu. Myös FME:n hankintaa katto- ja kivijalkavektoreiden yhdistämistä varten harkitaan. Toisen vaiheen aikana tutkitaan mahdollista osallistumista Maanmittauslaitoksen kansalliseen laserkeilausohjemaan, joka alkaa vuonna 2021.

Kolmannessa vaiheessa rakennusten mallintamista laajennetaan keskustan ulkopuolelle järjestelmällisesti keskustasta ulospäin kantakartta-alue kerrallaan. Keskustan ulkopuoliset alueet mallinnetaan LOD 2-tasoisena (Laiho 2018).



Kuvio 19. Salon kaupungin toteutussuunnitelma vuosille 2019 – 2022

10 POHDINTA

Opinnäytetyön keskeisimpänä tavoitteena oli selvittää, millä keinoin 3D-kaupunkimallia on tuotettu, minkälaista lähtöaineistoa on käytetty, miten kaupunkimallia on hyödynnetty ja julkaistu eri kaupungeissa. Selvitystyön pohjana oli Google Forms -kysely, joka lähetettiin Trimble Locus -paikkatietojärjestelmää käyttäville kaupungeille.

Opinnäytetyössä oli tarkoitus myös selvittää, mitä kaupunkimallit ovat ja minkä takia niitä tuotetaan. Työn aikana selvisi, että yhteiskunnan digitalisaatio, kaupunki- ja rakennussuunnittelun siirtyminen kolmiulotteiseksi, mallinnusmenetelmien kehittyminen ja kustannusten aleneminen antavat vahvat edellytykset 3D-kaupunkimallin tekemiseen ja ylläpitoon. Kuntien ja kaupunkien tulee pystyä tarjoamaan 3D-kaupunkimalleja suunnittelun, analyysien ja simulaatioiden lähtöaineistoksi vanhojen 2D-kantakartta-aineistojen sijaan. Kun kaupungit omistavat itse 3D-aineistoa, ei sitä tarvitse enää erikseen tilata jokaisen projektin pohjaksi. 3D-kaupunkimallit mahdollistavat suunnitelmien tarkemman tarkastelun visuaalisesti jo työasemalla vähentäen virheitä. Myös Salon kaupunkistrategia 2026 ja brändi tukevat tätä näkökulmaa. Salon kaupunki haluaa olla älykäs teknologia-kaupunki ja näin olla houkutteleva paikkakunta tuotekehityskumppanuuksille. Jotta älykaupungiksi itseään kutsuva Salon kaupunki olisi jatkossa vielä houkuttelevampi tuotekehityskumppani, tulee sillä olla tarjota älykästä 3D-kaupunkimallia yhteistyökumppanien käyttöön.

Ennen 3D-kaupunkimallinnus prosessin aloittamista, on tärkeää miettiä, mitä kaupunkimallilla halutaan, miten sitä ylläpidetään ja miten se soveltuu kaupungin omiin järjestelmiin ja prosesseihin. Halutaanko 3D-kaupunkimallin olevan vain visuaalinen työkalu vai halutaanko sen olevan älykäs ns. semanttinen kaupunkimalli. Jotta 3D-kaupunkimalli olisi visuaalisesti tarpeeksi tarkka on rakennukset mallinnettava vähintään LOD 2-tasoon, jolloin kattorakenteet mallinnetaan. LOD 2-tason rakennukset ovat tunnistettavampia ja tekevät 3D-kaupunkimallista helpommin tulkittavan.

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Salon kaupungin Kaupunkikehityspalveluiden osasto. Opinnäytetyön tavoitteena ja lopputuloksena oli löytää Salon kaupungille kustannustehokas tapa tuottaa jatkuvasti ylläpidettävää 3D-kaupunkitietomallia. Salon kaupunki on päättänyt siirtyä 2D-kantakartan ylläpidosta 3D-kantakartan ylläpitoon, jolloin 3D-kaupunkimallia ylläpidetään reaaliaikaisesti Trimble Locus -ympäristössä käyttäen apuna TerraScan- ja TerraPhoto-sovelluksia. Terra Solid Oy:n sovellukset on kehitetty juuri 3D-kaupunkimallinnusta varten, tehden mallinnustyöstä automatisoitua ja tehokasta. Salon kaupungin alueella on käynnissä kaksi projektia: Helsingin ja Turun välinen tunnin juna -hanke ja Maanmittauslaitoksen Laser 2020-hanke. Näiden hankkeiden tiimoilta on Salon kaupungissa alettu kyselemään yhteistyö mahdollisuutta lähtöaineiston hankkimiseksi. Työn tavoitteen saavuttamisessa onnistuin mielestäni mainiosti ja lopputuloksena syntyi 3 vuoden investointisuunnitelma 3D-kaupunkitietomallin tuottamiseen ja ylläpitoon.

Opinnäytetyössäni selvitin myös kaupunkimallin julkaisuun liittyviä kysymyksiä. Kyselyn tuloksena selvisi, että Suomessa kaupunkimalleja ei ole vielä paljoa julkaistu. Kansainvälisesti CityGML on valikoitunut yhtenäiseksi standardiksi kaupunkimallien tallentamiseen ja julkaisuun. Myös Suomessa on alettu kehittää yhtenäistä CityGML-skeemaa Kuntaliiton toimesta. Yhtenäinen kaupunkimallien määrittely helpottaa kaupunkimallien käyttöä suunnitelmien lähtöaineistona esimerkiksi valtakunnallisissa projekteissa, joissa mennään yli kuntarajojen. CityGML toimii rajapintojen kautta hyvänä julkaisukanavana viranomaisille ja suunnittelijoille, mutta jos kaupunkimallit halutaan koko kansan nähtäväksi, on ne julkaistava Web-selaimessa.

Avoimen lähdekoodin paikkatietosovellus QGIS on kasvattanut suosiotaan viime vuosina merkittävästi. Opinnäytetyössäni tutkin QGIS:n 3D-ominaisuuksia ja niiden soveltuvuutta kaupunkimallinnukseen. QGIS:llä pystyy toteuttamaan yksinkertaisia kaupunkimalleja melko helposti, mutta varsinaisia mallinnustyökaluja ohjelmassa ei ole. Opinnäytetyön aikana mallinsin muutaman LOD 2-rakennuksen 3D-Win ohjelmalla. 3D-Win ei ole paras mahdollinen työkalu mallintamiseen ja se valikoituikin työkaluksi sillä perusteella, että se oli jo Salon kaupungin ohjelmisto valikoimissa ja näin ylimääräisiä kustannuksia ei syntynyt. Jotta mallintaminen

olisi tehokasta olisi siinä syytä käyttää siihen tarkoitettua ohjelmaa. QGIS ei pidä sisällään vielä CityGML-uloskirjoitusta, joten se ei sovellu ylläpidettävän 3D-kaupunkimallin toteuttamiseen. Pienempiin 3D-visalisointeihin QGIS soveltuu mielestäni mainiosti. QGIS:n etuna on se, että se on avoimen lähdekoodin ohjelma ja yhteisön jäsenet voivat vapaasti kehittää siihen lisäosia, joten kaupunkimallinnuksen yleistyessä, QGIS:ssä saatetaan nähdä paremmat mallinnustyökalut tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Agisoft PhotoScan 2018. User Manual. Professional Edition version 1.4.

Airaksinen, E. 2017. Kaupunkien kolmiulotteiset mallinnusmenetelmät. Aalto yliopisto. Fotogrammetria ja kaukokartoitus. Diplomityö.

Alhoke, T. 2018. Korkeusaineistosta. Sähköposti jussi.sinervo@salo.fi. Tulostettu 15.10.2018.

AutoDesk 2018. InfraWorks. Viitattu 13.11.2018 <https://www.autodesk.com/products/infraworks/overview>.

CesiumJS. Mission. Viitattu 26.11.2018 <https://cesiumjs.org/about/>.

GitHub 2018. Qgis2threejs. Viitattu 6.11.2018 <https://github.com/minorua/Qgis2threejs>.

Helsingin kaupunki 2018. Helsinki 3D. Viitattu 29.10.2018 <https://www.hel.fi/Helsinki/fi/kaupunki-ja-hallinto/tietoa-helsingista/yleistietoa-helsingista/Helsinki-3d>.

Isotalo, K. 2017. Semantiikka mullistaa 3D-kaupunkimallin käyttömahdollisuudet. Positio 1/2017.

Laiho, M. 2018. Investointisuunnitelma 2019-2022 3D-kaupunkimallinnus, Salo. Sähköposti jussi.sinervo@salo.fi. Tulostettu 15.10.2018.

Laiho, M. 2018. Salon kaupunki. Keskustelu mittausinsinöörin kanssa 9.10.2018.

Liukkonen, O. 2015. Kuntien paikkatiedon polku kanta-kartasta 3D-kaupunkimalliin. Aalto yliopisto. Kartografia ja geoinformatiikka. Diplomityö.

Mannervesi, M., Vainio, A., Laiho, M. 2018. Kaupunkimallinnuskeskustelu 12.12.2018.

OGC. CityGML Encoding Standard, 2012.

Salon kaupunki 2018a. Salon brändikäsikirja.

- 2018b. Salon kaupunkistrategia 2026.

SketchUp 2018. How Can We Help. Viitattu 8.11.2018 <https://help.sketchup.com/en>.

Soukki, K. Terra Solid Oy:n ohjelmistojen esittely Salon kaupungille 30.10.2018.

SpatialWorld 2018. FME. Viitattu 13.11.2018 <http://www.spatialworld.fi/fi/fme/>.

StackExchange 2018. Geographical information systems. Viitattu 17.12.2018
<https://gis.stackexchange.com/questions/271292/load-3d-shapefiles-in-qgis-3-0-where-ground-wall-roof-solid-are-separated>.

Suomisto, J. 2014. 3D-tietomallit yleistyvät kaupungeissa. Positio 2/2014.

Trimble Business Center. Toimisto-ohjelmisto, tekninen esite.

Trimble Locus 2018a. Maastomalli ja 3D-visualisointi – käyttäjän käsikirja 17.1. 2018.

- 2018b. Versiohistoria 18.1.

QGIS 2018. A Free and Open Source Geographic Information System. Viitattu 5.10.2018 <https://www.qgis.org/en/site/>.

3Dkunta. Viitattu 5.10.2018 <http://www.3dkunta.fi/3dkunta/>.

3DFlow 2018. Welcome to 3DF Zephyr. Viitattu 13.11.2018
<https://www.3dflow.net/technology/documents/3df-zephyr-documentation/>.

LIITTEET

Liite 1. Google Forms -kysely, Kaupunkimallinnuksen keinot.

Edustamane-organisaatio?	Minkälaista lähtöaineistoa mallinnuksessa on käytetty?	Millä ohjelmilla kaupunkimallia on tuotettu?	Miten kaupunkimallia on hyödynnetty?	Onko kaupunkimallia julkaistu?	Millä tavalla kaupunkimalli on julkaistu?	Muuta huomioitavaa
Kouvolan kaupunki	Lähtöaineistona käytetään "kantakarttaa" lisättyinä kattovektoreilla, johtotiedoilla, maaperätiedoilla, varustetiedoilla, rekisteritiedoilla (mm. rahu), laserpistepilvillä, ortoilmakuvilla sekä viistokuvilla (tekstuurit)	Tehdään/testaillaan: Trimble Locus- lopullinen malli /Terra Solid -> tekstuurit, FME->kattovektorointi ja kytkentä	Alueelliset suunnitelmat /kaupunkisuunnittelu, keskustan valaisin suunnittelu/katu ja viher, esittely / asuntomessu-alue	Ei		Mallin tekeminen on vielä osin testivaiheessa vaikka aineistoa alkaa olla jo melko laajasti. Julkaisussa mietitään/testataan erilaisia vaihtoehtoja. Tavoite on että mallin ylläpito voitaisiin tehdä normaalin kartan ylläpitoprosessin mukana (ei siis erillistä kaupunkimallia).
Riihimäen kaupunki	Vuoden 2017 laserkeilausta, konsultti tehnyt ja kantakartan päivittämiseen.	Terra Solidilla ja Trimble Locuksella	Kaupunkisuunnittelu, yksityiset suunnittelijat	Ei		
Espoon kaupunki	stereotyö, laserkeilaus, uav-kuvaus	Espa (stereotyö), Terra (tekstuurit ja kattojen mallintaminen) Trimble Locus (mallinnus, tallennu, yhteydet rekistereissä olevaan tietoon)	kaupunkisuunnittelu, infra-suunnittelu, visualisointi	Ei	tullaan julkaistamaan CityGML:nä WFS-rajapinnan kautta loppuvuoden aikana	
Hämeenlinna kaupunki	Aiemmat stererokarttoitusaineistot, laserkeilaus tulossa. Hämeenlinnasakin vasta haetaan kustannustehokkaita menetelmiä. Valmista kaupunkimallia ei vielä ole.	Ainakin Terrasolidin ja FME on tarkoitus testata.	Ei vielä tuotantokäytössä, vasta testejä LOD1 aineistolla.	Ei		Kyselytulokset ja loppupäätelmät kiinnostavat.
Rovaniemen kaupunki	Pintamalli tullaan luomaan 2016 vuoden MML:n keilausaineistosta. Rakennusten katot vektoroidaan luultavasti samasta materiaalista. Tällä hetkellä luokittelemme kyseistä aineistoa ja automaattivektorointi Terra- ohjelmistolla olisi tarkoitus suorittaa lähiviikkoina.	Käytettävän pistepilven luokittelu, kattovektoreiden automaatio sekä korjaus käsin tehdään Terra -ohjelmistolla. Kattopintojen yhdistäminen rakennustunnukseen olisi tarkoitus tehdä FME -ohjelmalla suoraan tietokantaan, joko itse tai konsultin tekemänä. Trimble locuksessa suoritetaan viimeinen tarkistus ja korjaus.	Ei ole vielä hyödynnetty	Ei		Kiinnostava ja varmasti ajankohtainen aihe. Lukisin mielelläni valmiin opinnytteen!
Nurmijärven kunta	Konsultilla teetettyä laserkeilausaineistoa ja omia kopterikuvauksia	Terrasolid aineiston käsittely ja Locusiin. Tekstuurit vain muutama kokeeksi	Kaavoitus jonkun verran, mutta vielä aika vähäistä	Ei	Ei ole julkaistu	Tällä hetkellä paha tilanne kun Locusin taitaja vaihtaa firmaa
Lahden kaupunki	Maaston pinnanmuodot on tuotettu laserkeilausaineistosta, rakennukset Locusen kantakartta -ja rekisteritiedoista. Putkitiedot voisi ottaa Nis:ststä. (ei ole vielä määriteltä)	Perusaineisto ylläpidetään Locusella. Rakennusten kattomallinnusta tehdään parhaillaan konsulttityönä terrasolidin ohjelmistolla. valmis aineisto siirretään Locuseseen FME avusteisesti. Ensi keväänä on tarkoitus tehdä kaupunkiin viistokuvaus. EM. aineistosta on tarkoitus ottaa rakennuksiin tekstuurit. (Locus/Terrasolid)	Tällä hetkellä käyttö on pääasiassa kaupunkisuunnittelu. Locusen aineisto muodostetaan malliksi Sketchuppiin jossa mallia parannelaan samalla kun tehdään suunnittelua	Ei		Meillä on melko hyvät askelmerkit siihen miten aineistoa/mallia ylläpidetään Locusessa. Mallin/mallien julkaisu on selvityksessä samoin kuin se millä välineellä Locusen mallia ja suunnitelmamalleja yhdistellään. Mallien käyttö osallistamisessa on myös selvityksessä.

Kuopion kaupunki	Kuopion kaupunki-malli koostuu mallinnetuista rakennuksista, kasvillisuudesta sekä silloista. Kuopion kaupunkimalli rakennusten osalta on tuotettu ilmalaserkeilausaineistosta sekä olemassa olevista Trimble Locuksen kantakartan rakennuksen kivijalkatiedoista. Kasvillisuuden mallinnus kaupunkimallia varten on tuotettu ilmalaserkeilausaineistosta. Siltamallinnuksessa hyödynnetään ilmalaserkeilausaineistoa sekä Trimble Locuksen kantakartan siltatietoa.	Rakennusten mallinnus sekä teksturointi on tehty Terra Solidin Terrascan tuotteella. Varsinainen ylläpito hoidetaan 3DCityDB-tietokannassa(PostGIS). Tiedonsiirto TerraScanin sekä 3DCityDB-tietokannan välillä hoidetaan TerraCity tuotteella. Rakennusmallinnusprosessi on kuvattu varsin tarkasti Lapin AMK:ssa tehdyssä opinnäytetyössä: http://www.theseus.fi/handle/10024/139638 Kasvillisuuden mallinnus on tehty TerraScanin kasvillisuuden vektorointityökaluilla. Ylläpito on tällä hetkellä tiedostopohjaista. Jotta visuaalinen ilme olisi mahdollisimman realistinen on alettu tutkia myös siltojen mallinnusta. Siltamallinnus on tällä hetkellä vielä alkuvaiheissa, mutta Kuopion kaupunki tutkii eri vaihtoehtoja kuinka nykyiset sillat mallinnetaan eri hankkeita varten. Tavoitteena on, että sillat mallinnetaan 3DCityDB-tietokantaan vähintään LOD1-tasoisiksi malleiksi. Tässä työkaluina on käytetty Microstation ohjelmistoa, TerraScan ohjelmaa, FME-ohjelmistoa.	Rakennusmalleja hyödynnetään nykyisin kaikissa kaupungin tekeissä kaavoitushankkeissa, joissa tehdään hanketta kuvaavia havainnekuvia, aineistoa toimitetaan myös konsulteille kasvavissa määrin. Rakennukset on pääosin toimitettu ilman seinä ja katto-tekstuureja. Muutamien hankkeisiin on toimitettu myös rakennukset tekstuureilla. Kasvillisuusaineistoa hyödynnetään nykyisin melkein kaikissa asemakaavoitushankkeissa ja lisääntyvässä määrin myös katusuunnitelmien havainnekuissa.	Ei		Kuopion kaupunki ei hyödynnä Trimble Locuksen 3D-toiminnallisuuksia, eikä sitten mallinna kaupunkimallia Locuksen tietokantaan.
Kajaanin kaupunki	Maanmittauslaitoksen ortokuvaus ja keilaus v.2016(4,5pst/m2). Tästä keilauksesta MML teki aidot LOD2- tason rakennukset CityGML-muodossa. Lisäksi yksittäisiä kohteita on kuvattu omalla dronella. Kuvauksista on muodostettu piste-pilviä fotogrammetriest.	Infraworks esityksiin, Sketchup rakennusten luontiin, 3DF Zephyr Pro ja PhotoScan ohjelmistot pistepilvien/Mesh mallien luontiin.	Päätöstenteon tukemiseen.	kyllä	Youtube	Paikkatietojärjestelmien täytyisi pystyä tallettamaan aitoja 3D rakennuksia joilla olisi yhteys rakennustietoihin.
Kauniaisten kaupunki, maankäytöyksikkö	Yhdessä Espoon kanssa hankittu laserkeilausaineisto kesällä 2017. Käytetty monenlaiseen suunnitteluun.	Espoon tekemänä laserkeilausaineistosta katot TerraScan:lla. Kattojen, sokkeleiden ja rakennustunnusten kytkeminen yhteen ja apuseinäviivojen teko: Espoo teki FME:llä. Näiden lisäksi runsaasti käsityötä. Ei vielä tekstuureja seinille eikä katoille.	Ei vielä mihinkään. Vasta hiukan yli 5 % rakennuksista (LOD2) valmiina.	Ei		

Pieksämäen kaupunki	maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto, Pieksämäen kaupungin kartoittamat rakennukset (rakennuksen seinälinjat, maastokartoituksella) ja ilmakuvaus (Blom)	Blom tuottaa 3d-mallin kaupungille. Yrityksen käyttämiä ohjelmia voi tiedustella Blomista. Kaupunkimallin ylläpito tapahtuu trimble locuksessa.	Saamme kaupunkimallin käyttöömmme vuoden 2019 alusta. Tarkoituksena aineistoa on hyödyntää mm. kaupunki- ja verkostosuunnittelussa, päätöksenteon tukena (esim. rakennushankkeiden havainnollistaminen), markkinointi (tontti-markkinointi, videot).	Ei		
Rauman kaupunki	Kantakartta, Laserkeilaus katot "konsultti". Sokkelit maastomittaus/digitointi. Helikopteri-, Mobiili-, Lennokki ja käsiliikeilaus.	Trimble TBC/ Locus. Konsultti terrasolidilla	uusien rakennusten suunnittelu	Ei		
Turun kaupunki, kaupunkiympäristötoimiala	Keilauksen pohjalta tehty maanpintamalli + kantakartan rakennukset + pistepilvistä kattomuodot + RHR tiedot + käyttötarkoituksen mukaiset kohteet	Trimble Locus, Terrasolid, FME,	Yleispiirteinen ja yksityiskohmainen suunnittelu. Erilaiset esittelyt ja viisiot.	Ei	Kertakäyttömalleja on julkaistu mutta ei ylläpidettävää mallia, joka on kehityksen keskiössä.	Aluksi olisi hyvä tarkentaa kaupunkimalli käsitteenä. Eri yhteyksissä sillä tarkoitetaan usein eri asioita. Turun kaupunkimallin peruseriaate on ylläpidettävän paikkatiedon ja kartan esittäminen 3D-muodossa (Trimble Locus). Tästä älykkästä mallista voidaan sitten tuottaa eri tarkoituksiin sopivia aineistoja esim. kaavoitus, infrabimlähötietomalli jne. Kaupunkimallin pitää toimia myös toisinpäin, siihen tulee voida tuoda tarpeen mukaista aineistoa. Nykytilanteessa tehdään kanta- ja johtokartan peruskorjausta, kerätään puuttuvia korkeustietoja.

Varkauden kaupunki	Lähtöaineistoina kantakartta Locuksessa, luokiteltu laserkeilaus 10 pistettä / neliömetri ja ortoilmakuvat 15 cm mastopikselli.	Locus; kantakartan rakennusten "nosto" keilausten kattopisteiden tasolle. Muutama kokeilu tekstuurien (kuvien) liittämiseksi rakennusten seinille.	Tällä hetkellä vielä pieniä kokeiluja resurssipulasta johtuen. Tarkoitus käyttää kaavoituksen ja infra-suunnittelun apuna, sekä markkinoinnissa.	Ei		<p>3D kaupunkimalli vaatii omaa henkilöresurssointia, eli paneutumista aiheeseen.</p> <p>Lähtötietojen = kantakartan kohteiden sijaintiepävarmuudet tulee olla selvillä ja kirjattuina jokaisen kohteen metatiedoiksi, koska 3D kaupunkimallissa luodaan uusia numeerisia kohteita, joiden sijaintiepävarmuus periytyy eri aikakausien aineistoista. Mallinnusta tekevän tulee ymmärtää, että 3D mallinnettu kohde on lähtötietojensa summa ja siten ei koskaan sisällä "oikeita" malleja, eikä senttejä koordinaattiarvoissaan!</p> <p>Petri Kapanen</p>
Lappeenrannan kaupunki	Kantakartta + laserkeilauksesta automaattiluokituksen avulla tuotetut automaattiset kattovektorit	Terralla pistepilvien käsittely + kattovektorien tuottaminen. Siirto Locukseen + kytkentöjen generointi omalla ohjelmalla. Manuaalitarkistus käynnissä.	Kaupunkisuunnittelussa tulevien rakennusten istuttamisessa. Eli ollaan vasta alussa ja perustamisvaiheessa.	Ei		Ensi talven tavoitteena on saada valmiille (tarkastetuille) rakennuksille tekstuurit tämän kesän viestikuvauksesta (Terra+ Locus)