

# 3D-KAUPUNKIMALLIAINEISTON KÄSITTELY JA ESITTÄMINEN LOD-TASOINA

Enbuska Markus  
Satta Santeri

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijät</b>	Markus Enbuska Santeri Satta	Vuosi	2019
<b>Ohjaaja</b>	Pasi Laurila		
<b>Työn nimi</b>	3D-kaupunkimalliaineiston käsittely ja esittäminen LOD-tasoina		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	42 + 3		

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli käydä läpi 3D-kaupunkimallinnusta ja sen käsittelyä ja tarkkuusluokittelua. Opinnäytetyössä perehdyttiin LOD-tasojen nykyisyyteen, tulevaisuuteen sekä tasojen laadullisiin eroihin.

Opinnäytetyö toteutettiin kahden opiskelijan parityönä. Opinnäytetyöllä ei ollut toimeksiantajaa.

Opinnäytetyössä selvitettiin kyselynä Suomen yli 40 000 asukkaan kuntien LOD-tasojen käyttöä 3D-kaupunkimallinnuksessa. Opinnäytetyössä haastateltiin Oulun kaupungin edustajaa, joka kertoi kaupunkimallintamisesta Oulun kaupungin näkökulmasta. Lisäksi lähteinä käytettiin internetin avoimia lähteitä.

Lopputuloksena saatiin selvitettyä tietoa LOD-tasoista sekä 3D-kaupunkimallinnuksesta. Opinnäytetyöstä saa käsityksen 3D-kaupunkimallinnuksen nykytilanteesta Suomen kunnissa sekä yleiskäsityksen kaupunkimallin eri tekijöistä.

**Avainsanat** LOD-tasot, tarkkuusluokka, 3D-kaupunkimallinnus, fotogrammetria, kunta, mittausmenetelmät, kaupunkisuunnittelu, UAV

Technology, communication and  
transport  
Bachelor of engineering

---

<b>Author</b>	Markus Enbuska	Year	2019
	Santeri Satta		
<b>Supervisor</b>	Pasi Laurila		
<b>Subject of thesis</b>	Processing and Presenting of 3D Urban Model as LOD Levels		
<b>Number of pages</b>	42 + 3		

---

The aim of this thesis was to discuss 3D urban modeling, its processing and accuracy classification. The thesis studied the present state of the LOD levels, their future and the differences in their quality.

The thesis was carried out in pairs of two students and the it had no commissioner.

The thesis studied the use of the LOD levels in 3D urban modeling in municipalities with over 40 000 inhabitants. A representative of the Oulu was interviewed about urban planning from the perspective of Oulu. In addition, open sources were used as sources.

As a result, information about the LOD levels and 3D urban modeling was discovered. The thesis gave an overview of the current situation of 3D urban modeling in the Finnish municipalities as well as various factors of the general city model.

**Key words** LOD levels, accuracy grade, 3D-urban modeling, photogrammetry, municipality, UAV

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	7
2 MÄÄRITELMÄT .....	8
2.1 LOD-tasot ja CityGML .....	8
2.2 3D-kaupunkimalli .....	15
2.3 CAD ja BIM .....	16
3 AINEISTOT JA PROSESSOINTI .....	19
3.1 Sovellusohjelmat .....	19
3.1.1 MicroStation .....	19
3.1.2 ContextCapture .....	20
3.1.3 Terrasolid-tuoteperhe .....	21
3.1.4 Pix4D .....	22
3.1.5 Trimble Locus .....	23
3.1.6 Trimble Novapoint .....	24
3.2 UAS-kartoitus .....	25
3.3 Laserkeilaus .....	25
4 KYSELYTUTKIMUS .....	27
4.1 Johdanto .....	27
4.2 Toteutus .....	27
4.3 Tulokset .....	28
4.4 Johtopäätökset .....	33
5 HAASTATTELU .....	36
5.1 Johdanto .....	36
5.2 Tulokset .....	36
6 POHDINTA .....	38
LÄHTEET .....	39
LIITTEET .....	43

## ALKUSANAT

Kiitämme Oulun kaupungin paikkatietoinsinööriä Taneli Hiltusta haastattelumahdollisuudesta sekä kaikkia kyselytutkimukseen vastanneita kuntia. Haluamme myös kiittää Lapin ammattikoulun lehtoria Leena Ruokasta opinnäytetyömme rakenteellisesta ohjeistamisesta.

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

2D	Two Dimensional
3D	Three Dimensional
CAD	Computer-Aided Design
BIM	Building Information Modeling
GPS	Global Positioning System
LOD	Level of Detail
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

## 1 JOHDANTO

3D-kaupunkimallinnus on yleistynyt Suomen kuntien keskuudessa lähivuosina. Kaupunkimallien tarkkuus ja laatu ovat parantuneet huomattavasti kehittyneen teknologian ja laitteiston saatavuuden ansiosta. Tarvittava laitteisto on halventunut, jonka ansiosta kaupungeilla on paremmat resurssit 3D-kaupunkimallien luomiseen.

LOD-tasot ovat kaupunkimallien standardeja, joita voidaan käyttää tarkkuuden hahmottamiseen. LOD-taso standardi on yleisesti hyväksytty tapa ilmaista kaupunkimallin tarkkuustaso.

Opinnäytetyössä kerrotaan LOD-tasoista, kaupunkimallinnuksesta sekä tarvittavista resursseista mallin luomiseen. Opinnäytetyö perustuu haastatteluun, kyselytutkimuksen tuloksiin sekä internetistä kerättyihin lähdetietoihin.

## 2 MÄÄRITELMÄT

### 2.1 LOD-tasot ja CityGML

LOD-tasot ovat CityGML-standardin mukaisia tarkkuustasoja, joita käytetään 3D-kaupunkimallinnuksessa (Mukari 2019). Tarkkuustasoja on yhteensä viisi. LOD-tasojen ominaisuuksina ovat geometrisuus, topologisuus, semanttisuus ja visuaalisuus. Aiemmin mainituilla ominaisuuksilla määritellään topografisia kohteita kaupunkiympäristöstä (Lammi 2015). LOD-tasot helpottavat visualisointia ja tietojen analysointia (Open Geospatial Consortium 2006).

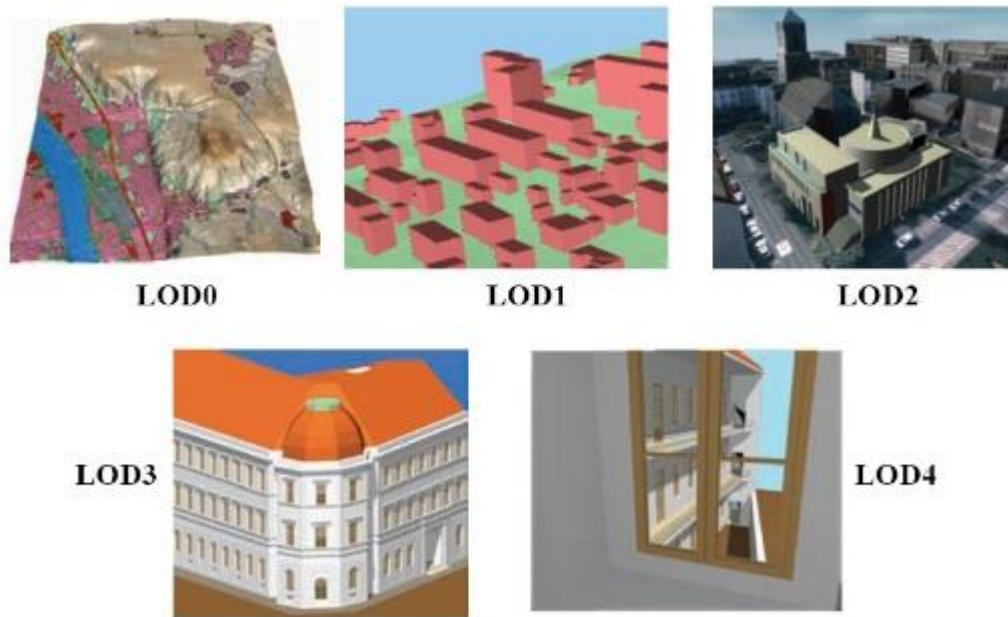
Karkein LOD-taso on LOD0, jonka käyttö rajoittuu kaksi- ja puoliulotteisen (2,5D) digitaalisen maastomallin kuvailuun. Ilmakuva tai kartta toimivat tason tekstuurina (Open Geospatial Consortium Inc. 2018). Ilmakuvia saadaan UAS:lla eli miehittämättömällä lennokkijärjestelmällä (Mitta Oy 2018).

LOD1:ssä rakennusten eri rakenteelliset yksiköt kootaan yhteen, eikä niitä eritellä yksityiskohtaisesti (Open Geospatial Consortium 2006). LOD1-tason rakennukset ovat laatikkomaisia suorakulmioita, eikä niihin ole sommiteltu tekstuureja. Rakennuksien katot ovat tasaisia tasojia, joissa ei ole kaltevuutta (Kuvio 2).

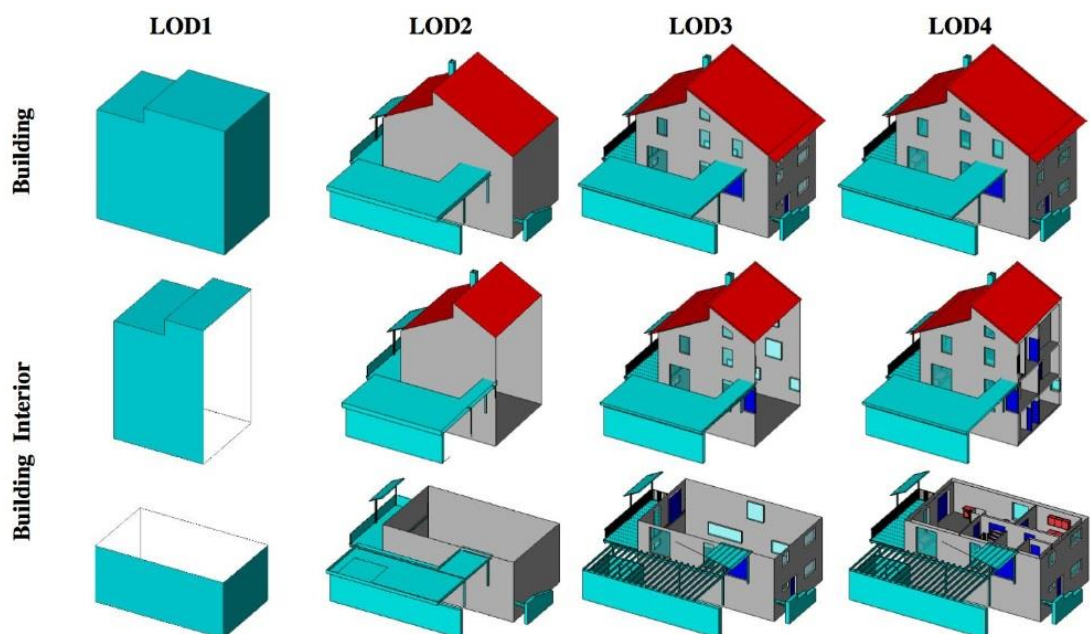
LOD2-tasossa rakennuksissa on olemassa kattorakenteet, ja rakennuksissa voi olla erimuotoisia pintoja. Rakennuksien ulompi julkisivu voidaan erotella semanttisesti BoundarySurface- ja BuildinInstallation-luokkien mukaan. BoundarySurface on osa rakennuksen ulkovaippaa, jolla saadaan rakennukseen hahmotettua muun muassa seinä ja katto. BuildinInstallation-luokkaa käytetään rakennuksen elementteihin, kuten savupiiput, parvekkeet ja ulkoiset portaikot (Open Geospatial Consortium 2006). Taso voi sisältää pintatekstuuria (Kuvio 2).

LOD3-tasossa rakennusten arkkitehtuurillinen julkisivu sisältää yksityiskohtaiset seinä- ja kattorakenteet, parvekkeet, syvennykset ja ulokkeet. Rakennuksen tekstuurien pinnat ovat tarkempia LOD2:een verraten. LOD3:ssa BoundarySurface-objektien, kuten ovet ja ikkunat, aukot voidaan esittää temaattisina kohteina. Tasossa voi olla yksityiskohtaista kasvillisuutta.

LOD4-tasossa on rakennuksiin lisätty sisärakenteet, joita ovat esimerkiksi huoneet, portaikko, huonekalut ja sisäovet. Ulkoisen rakennuksen kuoren suhteen LOD4 on identtinen LOD3:n kanssa (Open Geospatial Consortium 2006).



Kuvio 1. CityGML standardin mukaiset viisi eri LOD-tasoa (Open Geospatial Consortium 2008, 9)



Kuvio 2. Rakennuksen tietomallitasot CityGML (Lammi 2015, 7)

CityGML on avoin kansainvälinen 3D-kaupunkimallinnuksen tiedonsiirrossa ja tallentamisessa käytettävä standardi. Sen on hyväksynyt Open Geospatial Consortium (Lammi 2015), joka tekee maailmanlaajuisesti avoimia standardeja paikakatietoyhteisöön (Open Geospatial Consortium 2018).

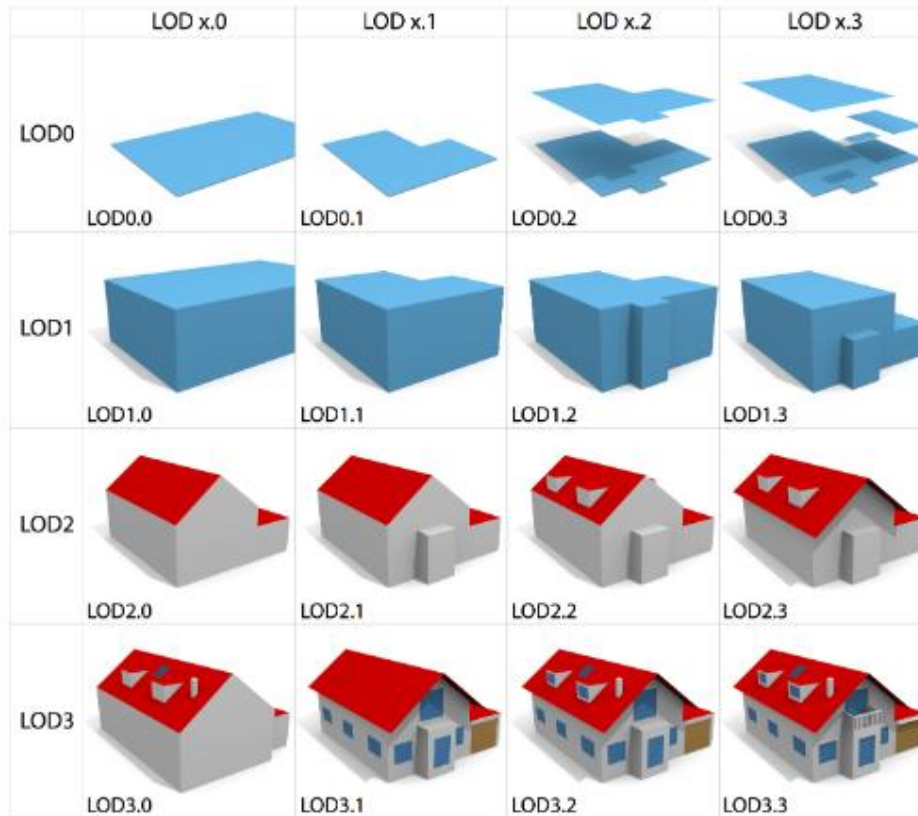
CityGML kuvaa pääasiassa erilaisten 3D-kaupunkikohteiden geometriaa, ominaisuuksia ja semantiikkaa, joita voidaan täydentää tekstuureilla ja väreillä. Tallennetut objektityypit ryhmitellään eri moduuleihin (CityGML 2018).

Taulukko 1. CityGML-standardin mukaiset vaatimukset viidelle LOD-tasolle  
(Open Geospatial Consortium 2008)

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Tasomallin kuvaus	Alueellinen, maisema	Kaupunki, alue	Kaupunginosat, hankkeet	Arkkitehtuurimallit (ulkopuolella), maamerkit	Arkkitehtuurimallit (sisältä)
Tarkkuusluokka	Alin	Matala	Keskitaso	Korkea	Erittäin korkea
Absoluuttinen 3D-pisteen tarkkuus (sijainti / korkeus)	Alempi kuin LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Yleistys	Suurin yleistäminen (maankäytön luokittelu)	Lohkojen ominaisuudet; >6*6m/3m	Yleisten esineiden ominaisuudet; >4*4m/2m	Esineet todellisina ominaisuuksina; >2*2m/1m	Rakennuselementit ja aukot ovat esitettynä
Rakennuksen asennukset	-	-	-	Ulkoiset vaikutelmat	Todellisessa muodossa
Katon muoto/rakenne	Ei ole	Tasainen	Katon muotoinen ja suuntainen	Todellisessa muodossa	Todellisessa muodossa
Katon ylittävät osat	-	-	Ei sisälly	Ei sisälly	On
Kaupungin kalusteet	-	Tärkeät kohteet	Prototyypit	Todellisessa muodossa	Todellisessa muodossa
Yksittäiset kasvillisuuskohteet	-	Tärkeät kohteet	Prototyypit, >6m	Prototyypit, >2m	Prototyypit todellisessa muodossa
Kasvien peite	-	>50*50m	>5*5m	<LOD2	<LOD2
...jatketään standardin muissa ominaisuusaiheiden osioissa					

CityGML 2.0 on 1.0-versiosta päivitetty standardi, ja se sisältää lisäyksiä ja uusia ominaisuuksia CityGML:n temaattiseen malliin. 2.0-versioon on lisätty mm. siltojen ja tunnelien temaattiset moduulit, jotka puuttuivat 1.0-versiosta. Lisäksi rakennuksien katto ja pohja voidaan päivityksen myötä esittää reunoista monikulmioina LOD0-tasossa. Aiemmin mainittu mahdollistaa olemassa olevien 2D-tietojen hyödyntämisen ja helpottaa katon asettamisen 3D-kaupunkimalliin ilmakuvista (Open Geospatial Consortium 2012).

Open Geospatial Consortiumin laatiman CityGML 2.0 -standardin tarkkuustasot on tarkoitettu erottamaan semanttiset 3D-kaupunkimallit monikerroksisista esityksistä. Konsepti on käytännössä mallien geometrinen yksityiskohtien tarkentamista lähinnä rakennusten osalta. Tutkimusryhmä Alankomaiden Delftin teknillisestä yliopistosta on tehnyt hyväksytyt käsikirjan, jossa tutkimusryhmä esittelee CityGML 2.0 -standardien mukaisesti 4 visuaalista versiota kullekin LOD0-3:lle. Tutkimusryhmän mukaan viisi LOD-tasoa ovat riittämättömiä ja niiden eritelmat ovat epäselviä (Biljecki, Ledoux & Stoter 2016, 2).



Kuvio 3. Tutkimusryhmän tekemä visuaalinen esimerkki CityGML 2.0 -version standardeihin perustuviin asuinrakennuksiin (Biljecki, Ledoux & Stoter 2016, 8)

Taulukko 2. Tutkimusryhmän 16 eri LOD-tason vaatimukset (Biljecki, Ledoux & Stoter 2016, 16).

Vaatimukset	Tarkennetut tasot															
	0.0	0.1	0.2	0.3	1.0	1.1	1.2	1.3	2.0	2.1	2.2	2.3	3.0	3.1	3.2	3.3
Yksittäiset rakennukset	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Suuret rakennuksien osat (>4m, 10m <sup>2</sup> )	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X
Pienet rakennusosat, syvennykset ja laajennukset (>2m, 2m <sup>2</sup> )			X	X			X	X		X	X	X	X	X	X	X
Yläpinta <sup>(0)</sup>			Y	U	Y	Y	Y	U								
Selvät katon ylitykset (jos >0.2m)											X		X	X	X	
Katon päällysrakenteet <sup>(1)</sup> (suuremmat kuin 2m, 2m <sup>2</sup> )										X	X		X	X	X	
Muut katon yksityiskohdat, esim. savupiiput (>1m)													X	X	X	
Aukot (>1m, 1m <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>													K	S	X	X
Parvekkeet (>1m)													X	X	X	
Syvennykset ja muut julkisivun ja katon yksityiskohdat, ja pienemmät ikkunat (>0.2m)																X

<sup>(0)</sup> Sovellettavissa vain LOD0- ja LOD1-tasoille.

Y – Yksi yläpinta, U – Useita yläpintoja, jos rakennuselementtien korkeuden ero on merkittävä (enemmän kuin 2m).

<sup>(1)</sup> Sisältää vinokaton pystyikkunat ja vastaavankokoisia ominaisuuksia, kuten erittäin suuret savupiiput.

<sup>(2)</sup> K – Vain katon aukot, S – Vain seinien aukot (Pystyikkunat eivät lukeudu K:on)

## 2.2 3D-kaupunkimalli

"3D-kaupunkimalli on kolmiulotteinen digitaalinen malli, joka esittää maastoa, rakennuksia, kasvillisuutta, infrastruktuuria ja muita kaupunkikohteita" (buildingSMART Finland). 3D-kaupunkimalleja käytetään esimerkiksi suunnittelussa, niiden havainnollistamisessa ja osallistavassa kaupunkisuunnittelussa (Mukari 2017). Kaupunkisuunnitteluun 3D-kaupunkimalleista saadaan tietoa moniin eri tarkoituksiin, esimerkiksi varjostusanalyysiin, näkyvyysanalyysiin, tulvien torjuntasuunnitteluun ja melulaskentaan (Suomisto 2013). 3D-kaupunkimallien käyttöalue on laajentunut teknisen kehityksen mukana (GIM International 2018).



Kuvio 4. Helsingin tuomiokirkko ja sen ympäristä ovat LOD3-tasolla (Helsingin kaupunki 2019)

3D tarkoittaa kolmiulotteisuutta, ja on lyhenne englannin kielen sanoista three dimensional. Kolmiulotteisuuden tekijöinä ovat leveys, korkeus ja syvyys (pituus) (Media College).

Kolmiulotteisuutta voi hyödyntää esimerkiksi kohteiden visualisoinnissa. Visualisointi saadaan havainnollistettua pisteiden avulla kolmessa ulottuvuudessa (Autodesk).

Kolmiulotteinen mallinnus on pintamallien tai erilaisten objektien luomista kolmiulotteiseen esitysmalliin käsittelemällä aineistoa 3D-tilassa. 3D-mallinnusta tehdään manuaalisesti 3D-sovellusohjelmilla (Lifewire 2018). Digitaalisen tekniikan kehityksen myötä 3D-rakennusmallit ja renderöinnit ovat nykyisin yleisiä menetelmiä, joita käyttävät useat arkkitehtuuri- ja insinööritoimistot. (Designblendz 2018). Renderöinti on prosessi, jossa luodaan 2D-kuva, joka perustuu kolmiulotteiseen objektiin (3dRender 2019).

### 2.3 CAD ja BIM

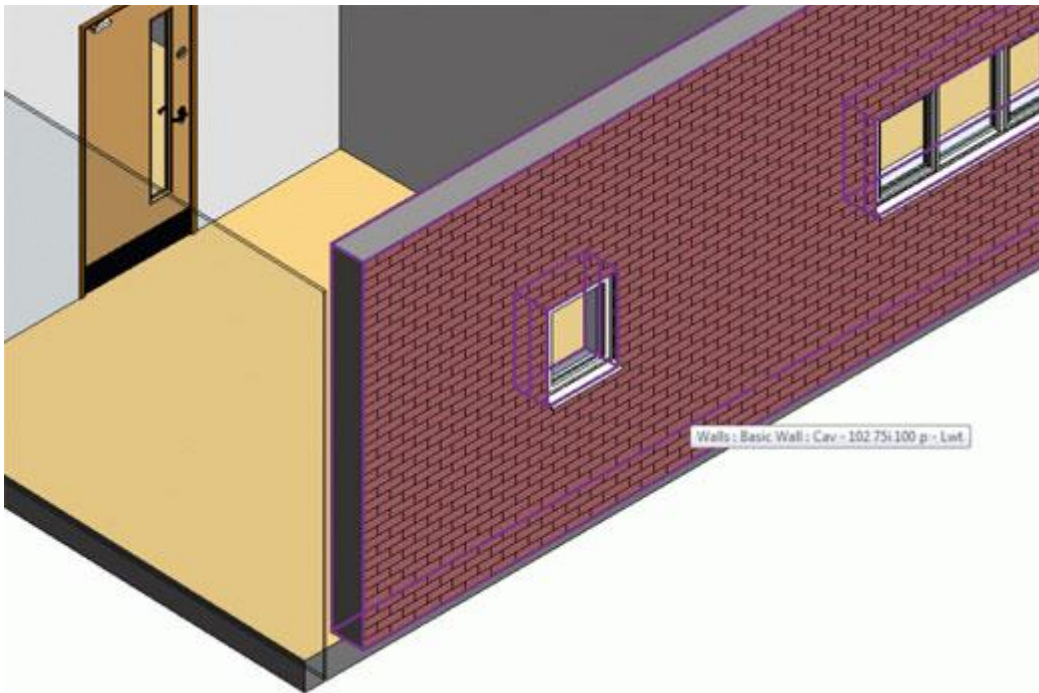
CAD on lyhenne englannin kielen sanoista Computer-Aided Design ja tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua. Erilaisilla CAD-sovellusohjelmilla voi mallintaa, analysoida, visualisoida ja dokumentoida kaksi- ja kolmiulotteisia graafisia esityksiä. Tietokoneavusteista suunnittelua käytetään tavanomaisesti erilaisissa suunnitteluprosesseissa, tuotesuunnitteluissa, valmistusmenetelmien määrittelyissä, sekä suunnittelumallien kokeilussa. CAD-sovellusohjelmat nopeuttavat ja helpottavat suunnittelua (Siemens).

Tietokoneavusteiseen suunnitteluun tarkoitettuja sovellusohjelmia on useita, mm. AutoCAD, DraftSight, MicroStation, Trimble SketchUp ja Vertex. Sovellusohjelmat- ja kyselytutkimusosioissa on kerrontaa eri ohjelmista.

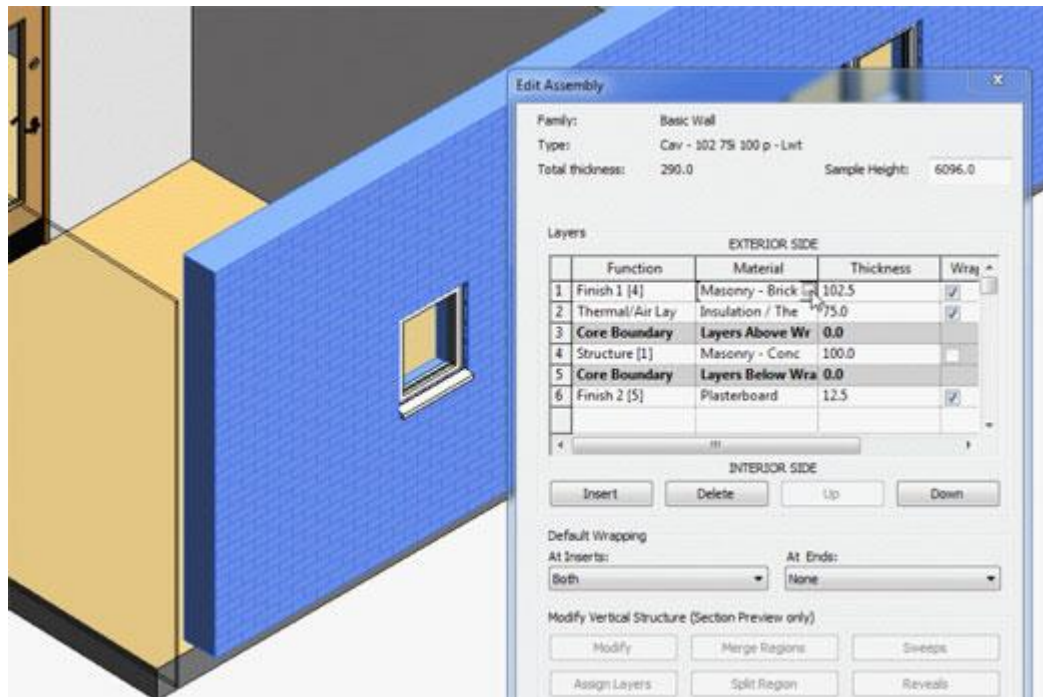
BIM on lyhenne englannin kielen sanoista Building Information Modeling, joka tarkoittaa suomeksi tietomallintamista. Tietomallintamisessa rakennuskohteista saadaan tärkeää tietoa niiden ominaisuuksista, kuten esimerkiksi geometriasta, mitoista ja pinta-alasta. CAD-ohjelmistolla tietomallinnettavia kohteita käsitellään objekteina, ja sijoittamalla ne yhteen malliin, objektit saadaan liitettyä yhteiseen kokonaisuuteen. Kun malli täydentyy objekteista, voi objektien välisiä suhteita

tarkastella ja näin ollen ennakoida esimerkiksi rakenteiden ristiriitaisuuksia. Lisäksi malleista voi helposti etsiä tietoa rakennuskohteista, kun objektit itsessään sisältävät ominaisuudet ja tiedot (Symetri 2017).

Tietomallilla ei tarkoiteta ainoastaan 3D-mallinnusta. Tietomallin avulla saadaan 3D-mallien osista eli tietomallinnuksessa objekteista tietoa. Ilman tietomallia, 3D-mallinnuksessa olevat kappaleet eivät sisällä niiden ominaisuuksista tietoa (Hamil 2011).



Kuvio 5. 3D-malli, jossa rakennuksen kohteet eivät sisällä tietomallia (Hamil 2017)



Kuvio 6. 3D-malli, jossa voi saada tietomallinnetuista rakennuksen objekteista tietoa (Hamil 2017)

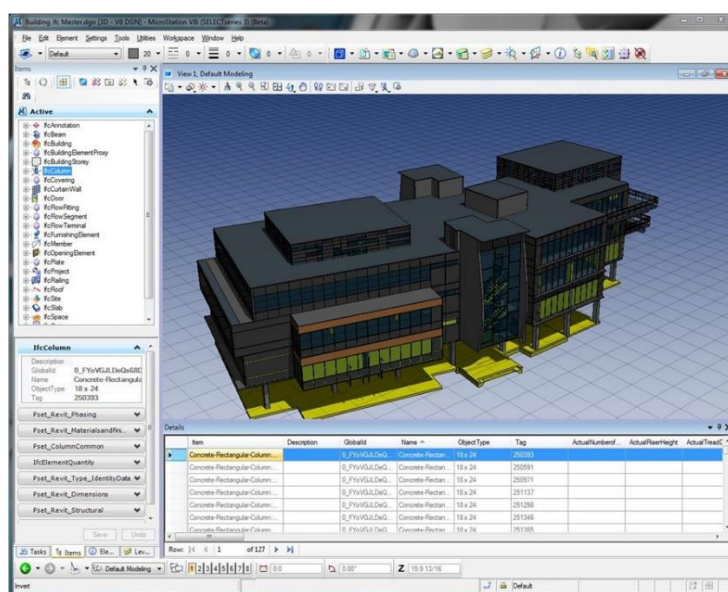
### 3 AINEISTOT JA PROSESSOINTI

#### 3.1 Sovellusohjelmat

Kaupunkimallinnuksen tärkein työkalu on sovellusohjelmat. Ohjelmia on nykyään iso valikoima, joista käyttäjä valitsee mieluisimmat tai parhaiten yhteen sopivat. Kyselytutkimuksen mukaan Suomen kunnat käyttävät kolmesta kuuteen eri ohjelmaa 3D-kaupunkimallin tekemisessä. Tässä luvussa käydään läpi osa käytetyistä ohjelmista ja niiden ominaisuuksista.

##### 3.1.1 MicroStation

MicroStation ohjelma on yksi käytetyimmistä CAD-ohjelmistoista (Civilax 2017). Sen avulla käyttäjä voi luoda valmiita BIM-malleja. MicroStationin vahvuuksia ovat automatisoitu tuotosten jakaminen, todenmukainen mallinnus, luontainen koordinaattijärjestelmä, käytännölliset työkalut sekä ”hypermallinnus”, jonka avulla käyttäjä voi luoda selityksin varustettuja 3D malleja (Bentley 2019a). MicroStation ohjelma kuuluu Vuonna 1984 perustetun Bentley Systemsin tarjomiin sovelluksiin. Bentley Systems tarjoaa kokonaisvaltaisen tiedonsiirron sen eri avoimen datan ohjelmistojen välillä, luoden vahvat työkalut teknisen infrastruktuurin eri tarpeisiin (Bentley 2019b).



Kuvio 7. MicroStationilla luotu tietomalli (Civilax 2017)

### 3.1.2 ContextCapture

ContextCapturella käyttäjä voi luoda haasteellisia 3D-malleja valokuvien, pistepilvien tai molempien avulla. Näiden mallien avulla saadaan tarkka kuvaus olemassa olevasta suunnitelmasta tai rakennuksesta projektin eri vaiheissa.

ContextCapture Editor antaa työkalut manipuloida malleja, luoda poikkileikkauksia ja luoda ortokuvista 3D-malleja. Käyttäjä voi yhdistää pistepilven GIS aineiston kanssa, joka tuo mahdollisuuksia navigointiin, visualisointiin sekä animaatioon (Bentley 2019c).



Kuvio 8. Bentleyyn esimerkki 3D-malli tehtaasta (Bentley 2019d)

### 3.1.3 Terrasolid-tuoteperhe

Terrasolid kehittää sovelluksia ilmakuvauus- ja LiDAR-datan prosessointiin. Sovelluksista on olemassa kokonaisia ja kevyt versioita, joita voidaan yhdistää tilaajan tarpeiden mukaan. Lisäksi Terrasolid tarjoaa sovelluksista versioita, jotka on kehitetty käsittelemään pelkästään UAV:lla kerättyä dataa.

Useimmat Terrasolidin sovelluksista käyttävät Bentley Systemin avointa dataa alustanaan. Terrasolidilla voi prosessoida pistepilviä, kuvia ja mittausaineistoa, käsitellä LiDAR aineistoa ja kuvia, visualisoida isoja pistepilviä tai luoda ja päivittää infrastruktuuri kohteita (Terrasolid 2019a).

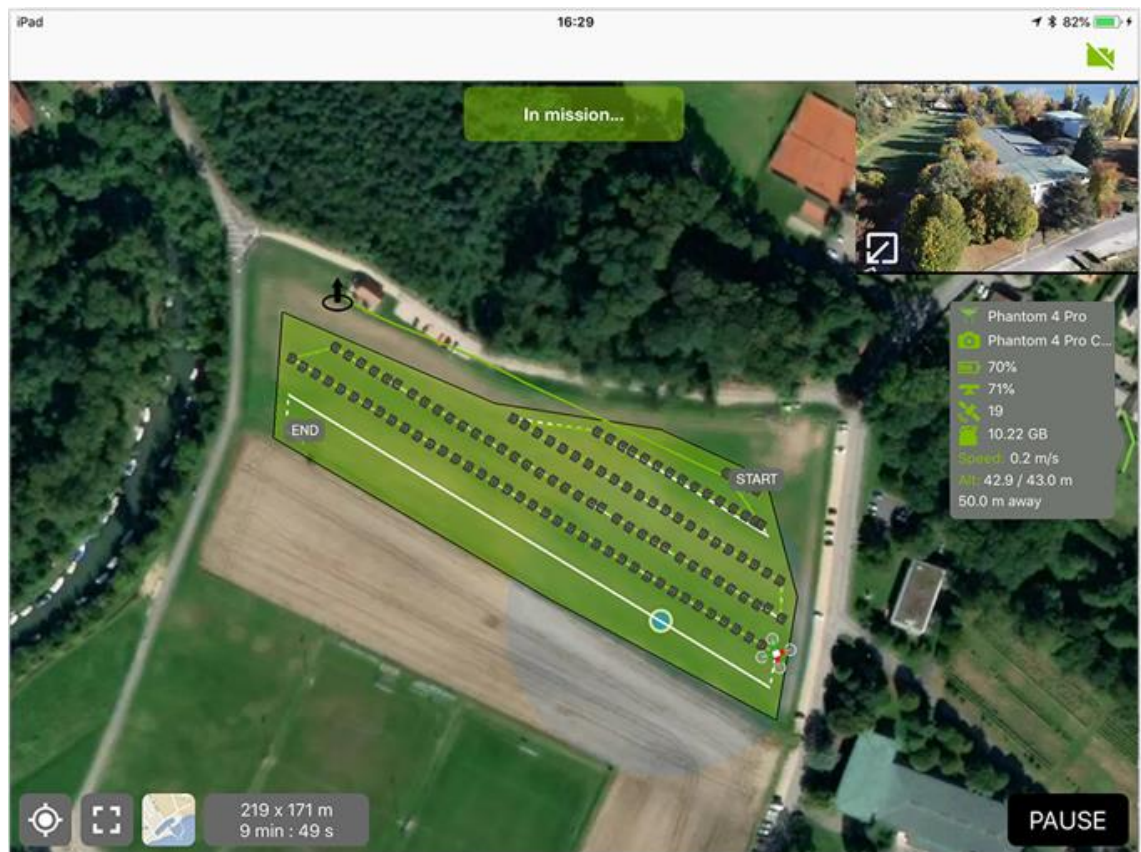


Kuvio 9. Terrascanin pistepilven esitystapoja (Terrasolid 2019b)

### 3.1.4 Pix4D

Pix4D tuoteperheeseen kuuluu Pix4Dcapture sekä Pix4Dmapper. Pix4Dcapture on ilmaisohjelma Android- sekä Apple käyttöjärjestelmille, joka tukee DJI-, Parrot- sekä Yuneec-merkkisiä droneja.

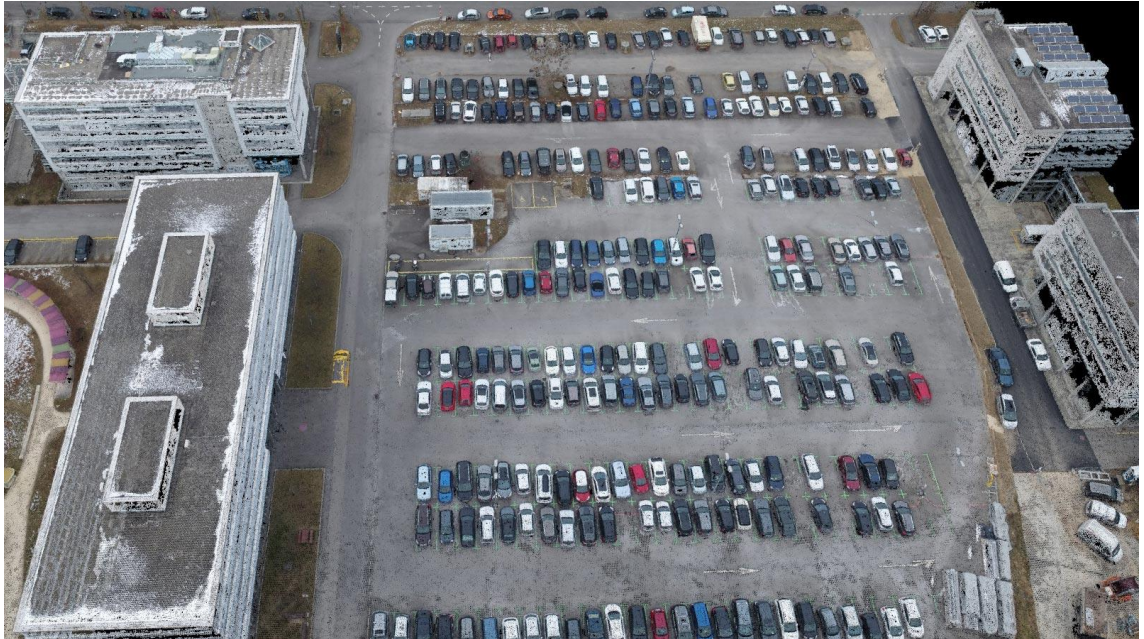
Pix4Dcapturessa on viisi eri lentotyyliä suunniteltuna eri tarpeisiin. Ohjelmalla voi määrittää esimerkiksi lentoalueen, kameran kulman sekä dronen nopeuden. Mitä taustalennon aikana ohjelmalla voi seurata reaaliajassa kamerakuvaa, akutilaa, satelliittien määrää sekä dronen korkeutta. Pix4Dcapture antaa käyttäjän tarkistaa kuvien laadun paikan päällä heti kuvauksen päätyttyä (Pix4Dcapture 2019a).



Kuvio 10. Pix4Dcapture sovelluksen ikkuna lennon aikana (Pix4D 2019)

Pix4Dmapperillä voi digitalisoida Pix4Dcapturella otetut kuvat 3D-malleiksi. Ohjelma antaa mahdollisuuden arvioida ja parantaa projektin laatua raportin, esikatsetelun sekä useiden muiden ominaisuuksien avulla. Pix4Dmapperillä voi mitata etäisyyksiä, alueita sekä tilavuuksia. Pix4Dmapperillä voi tuoda digitaaliset kartat

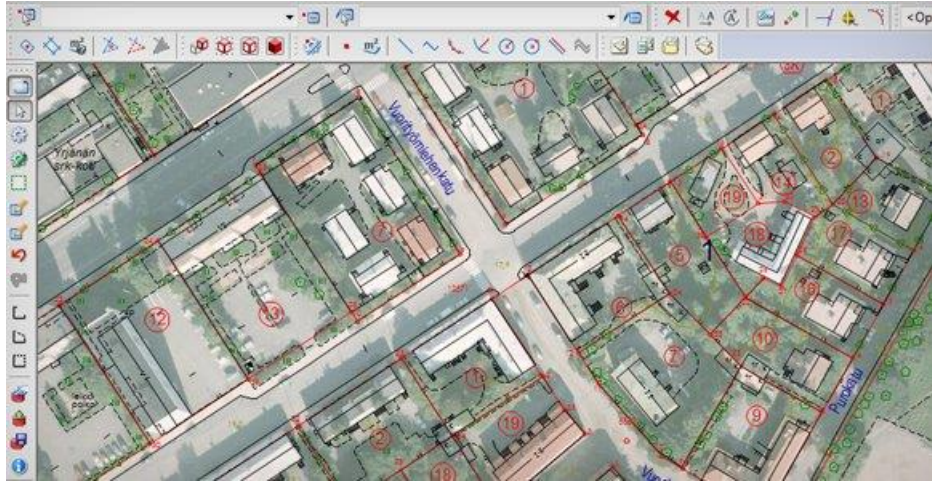
ja mallit eri tiedostomuotoihin, mahdollistaen kuvien muokkaamisen esimerkiksi värilliseksi pistepilveksi tai lämpökuvaksi (Pix4D 2019b).



Kuvio 11. Värillinen pistepilvi (Pix4D 2019)

### 3.1.5 Trimble Locus

Trimble Locus on kunnille suunnattu perustietojärjestelmä, jonka avulla käyttäjä luo ja hallitsee 3D-paikkatietoja sekä karttoja. Trimble Locusen ominaisuuksiin kuuluu kaavoitus kaavarekisteriä käyttämällä, ajantasaiset kiinteistönmuodostus tiedot ja työkalut, automaattisesti päivittyvä rakennuslupien hallinta, ympäristövalvontaan tarvittavien tietojen sekä lupien helppo saatavuus sekä vaativien teemakarttojen ja tilastollisten analyysien luonti paikkatietoanalyysin avulla (Trimble 2019a).



Kuvio 12. Kuvankaappaus Trimble Locus ohjelmasta (Trimble 2019b)

### 3.1.6 Trimble Novapoint

Trimblen Novapoint on laaja sovelluspaketti, millä käyttäjä voi tehokkaasti suunnitella teitä, rautateitä, siltoja sekä muita infrakohteita. Novapointin tuoteperheeseen kuuluu useita ohjelmistoja eri tarpeisiin, kuten asemakaavoille tehty Novapoint Area Planning, Novapoint Bridge Design 3D siltasuunnitteluun sekä Novapoint Landscape ympäristön 2D tai 3D suunnitteluun (Civilpoint 2019).



Kuvio 13. Novapointin työkaluilla luotu silta sekä kasvillisuus (Novapoint 2015)

### 3.2 UAS-kartoitus

UAS-kartoitus eli miehittämätön ilmakuvakartoitus on yleistynyt tapa hankkia maastotietoa isoilta ja vaikeakulkuisilta alueilta. Kuvaukset suoritetaan yleisimmin multikopterilla, joka ei tarvitse suurta aluetta laukaisemiseen, sekä useiden mahdollisuus muuttaa helposti lentonopeutta sekä korkeutta. Toinen ilmakartoituksessa käytettävä lennokki on kiinteäsiipinen kopteri, joka tarvitsee katapultin laukaisemiseen sekä suuremman lähtö- sekä laskualueen, mutta nopeutensa ansiosta kattaa yhdellä lennolla suuremman alueen multikopteriin verrattuna. Pilotilla on käytössä kauko-ohjain sekä maa-asema, joilla voidaan seurata sekä ohjata ilma-alusta.

Ilmakuvausta varten ilma-aluksessa on kiinni joko kamera tai kevyt laserkeilain. Lisäksi ilma-aluksiin kehitellään jatkuvasti erinäisiä sensoreita, jotka nopeuttavat mallien ja pistepilvien tekemistä sekä parantavat niiden tarkkuutta (Positio 2018).

### 3.3 Laserkeilaus

Laserkeilauksessa luodaan kohteesta pistepilvi. Pistepilvi koostuu kolmiulotteisista pisteistä, joiden tiheys vaihtelee mittaustavan mukaan. Mittaustapoina voi olla lentokoneessa oleva laserkeilain tai maassa oleva maalaserkeilain (MML 2018a). Tässä kappaleessa käsitellään pääsääntöisesti ilmalaserkeilausta, jota käytetään yleisemmin kaupunkimallin luomisessa.

Ilmalaserkeilaamisessa käytetään lentokoneessa tai helikopterissa kiinni olevaa lasertykkiä, joka on kiinni sitä kääntävässä keilainosassa. Laserkeilatessa keilauskulma pyritään pitämään 10-20 asteen kulmassa. Tätä korkeampi kulma saattaa heikentää keilausaineiston laatua ja lisätä varjoisia alueita.

Ilmalaserkeilauksessa lentokoneessa tai helikopterissa on GPS tai GNSS paikannin, jolla kone saa selville olinpaikkansa. Paikantimen lisäksi koneesta löytyy inertiamittausyksikkö, joka tarkastelee koneen asentoa antureiden ja gyroskoopin avulla (Laurila 2012). Lasertykki tuottaa laserpulsseja, jotka maahan osuessaan

kimpoavat takaisin ilmaisinosaan. Laserpulssin kulkuajasta ja koneen sijainnista tietokone laskee pisteen x-, y-, ja z-koordinaatit, jonka jälkeen kaikki lasketut pisteet yhdistetään isoksi pistepilveksi. Laserkeilausaineistosta voidaan luoda tämän jälkeen erinäisiä 3D-malleja ajamalla aineisto 3D-pelimoottoriympäristössä, josta se kehitetään paikkatietosovelluksille sopivaan muotoon (MML 2019b).

Isoja alueita Laserkeilatessa lennetään useita kertoja lentojonoissa, joissa keilattava aineisto osittain kulkee edeltävän keilauksen päältä, luoden yhtenäisen pistepilven (Laurila 2012).

## 4 KYSELYTUTKIMUS

### 4.1 Johdanto

Kyselytutkimus tehtiin aiheimmella LOD-tasot ja niiden käyttö 3D-kaupunkimallinnuksessa. Kyselytutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon Suomen kunnissa on käytössä tai tekeillä 3D-kaupunkimallinnusta, minkälaisia ne ovat tarkkuustasoiltaan, mitä resursseja kunnilla on ja miten ne hyödyntävät 3D-kaupunkimalliaineistoa.

### 4.2 Toteutus

Kyselytutkimus lähetettiin sähköpostitse Suomen yli 40 000 asukkaan kunnille, joita oli kyselytutkimuksen lähettämispäivänä yhteensä 26. Kyselytutkimus toteutettiin Webropol -kyselytutkimustyökalulla, joka toimii selaimessa. Tutkimus lähetettiin kunnille 3.12.2018, ja vastaukset tallennettiin 8.1.2019.

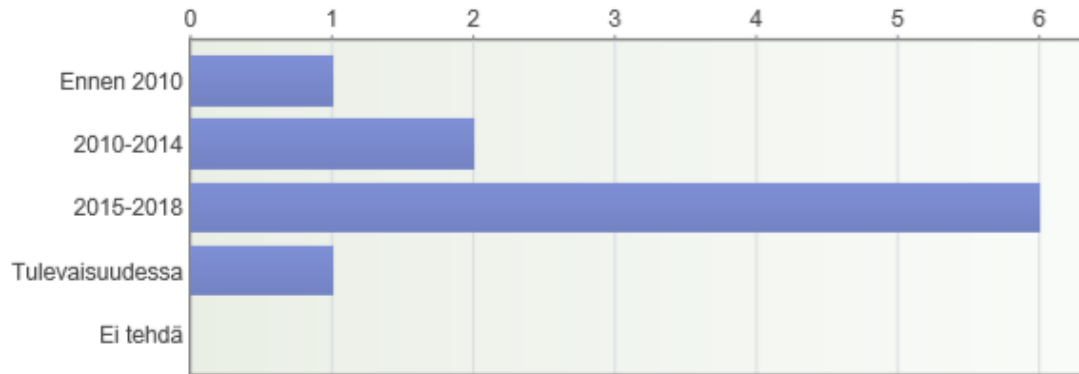
Tutkimus oli kahden sivun mittainen, ja sisälsi yhteensä yhdeksän kysymystä. Kolmessa kysymyksessä vastaukset syötettiin avoimeen tekstikenttään ja kuudessa kysymyksessä oli vastausvaihtoehdot. Jokainen kysymys oli pakollinen.

Vastauksia saatiin yhteensä kymmeneltä kunnalta, mikä on lähes 40 % kyselytutkimuksen vastaanottajista.

### 4.3 Tulokset

#### 1. Milloin kunta alkoi tekemään 3D-kaupunkimallia?

Vastaajien määrä: 10



Kuvio 14. Milloin kunta alkoi tekemään 3D-kaupunkimallia?

Ensimmäisessä kysymyksessä aiheena oli 3D-kaupunkimallin aloittamisajankohta. Suurin osa vastanneista kunnista oli aloittanut 3D-kaupunkimallin tekemisen vuosien 2015-2018 välissä. Noin 12 % vastanneista oli aloittanut ennen vuotta 2015, ja yksi kunta oli aikeissa tehdä sitä tulevaisuudessa.

## 2. Mitä ohjelmaa tai ohjelmia käytätte 3D-kaupunkimallin luomiseen?

Vastaajien määrä: 10

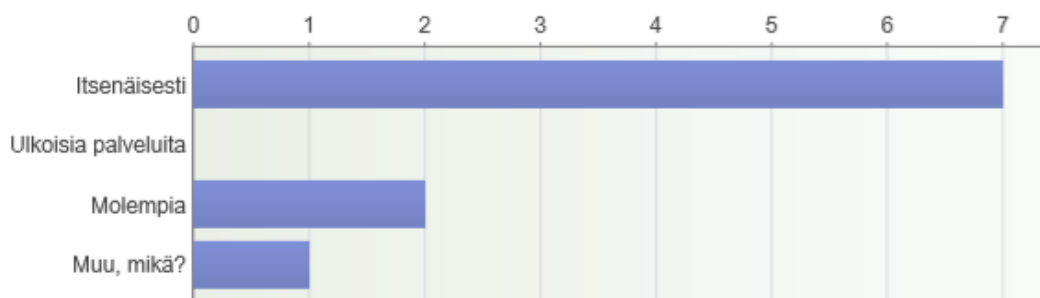
- Microstation v8i sekä microstation Connecticut, Terra Solis tuotteet terrascan sekä terraphoto.
- Pix4D, Trimble Locus, FME, Terrasolid, Vianova Novapoint
- Terrasolid
- Trimble Locus
- mahdollisesti FME
- Trimble Locus.
- Pistepilvien käsittelyssä ja vektoroinnissa TerraSolid.
- Drone aineistojen käsittelyssä Pix4D.
- TerraScan Lod-mallit + MicroStation
- ContextCapture Mesh-malli
- SketchUp, TerraScan, TerraPhoto, Microstation, Trimble Locus
- Trimble Locus, FME, Microstation Terra
- Kaupunkimallin ylläpito: Trimble Locus paikkatietojärjestelmä
- Microstation & Terrasolid: Pistepilviaineistojen käsittely
- Trimble Locus, Terrascan, FME
- TerraScan / MicroStation / MicroStation Descartes / Pix4Dmapper / Drone2Map /

Kuvio 15. Mitä ohjelmaa tai ohjelmia käytätte 3D-kaupunkimallin luomiseen?

Avoimessa kysymyksessä kunnat listasivat sovellusohjelmia, joita ne käyttävät 3D-mallinnuksessa. Tätä kohtaa käytettiin apuna opinnäytetyön sovellusohjelmat osiossa.

## 3. Tekeekö kunta 3D-kaupunkimallia itsenäisesti, vai käyttääkö se ulkoisia palveluita?

Vastaajien määrä: 10



### Avoimet vastaukset: Muu, mikä?

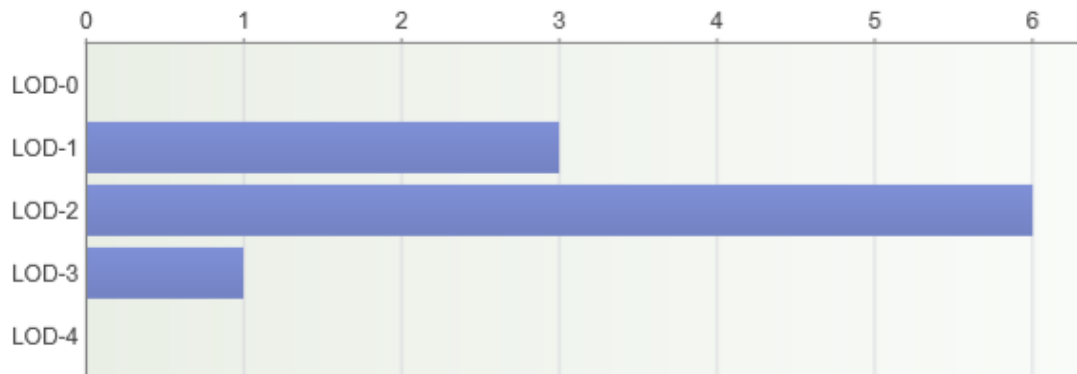
- Kattovektoreiden lisäys locukseen mahdollisesti konsulttityönä

Kuvio 16. Tekeekö kunta 3D-kaupunkimallia itsenäisesti, vai käyttääkö se ulkoisia palveluita?

Lähes kaikki vastanneista tekevät 3D-kaupunkimallia itsenäisesti. Kaksi kuntaa käyttävät lisäksi ulkoisia palveluita.

#### 4. Missä LOD-tasossa kunnan 3D-kaupunkimalli tällä hetkellä on?

Vastaajien määrä: 10

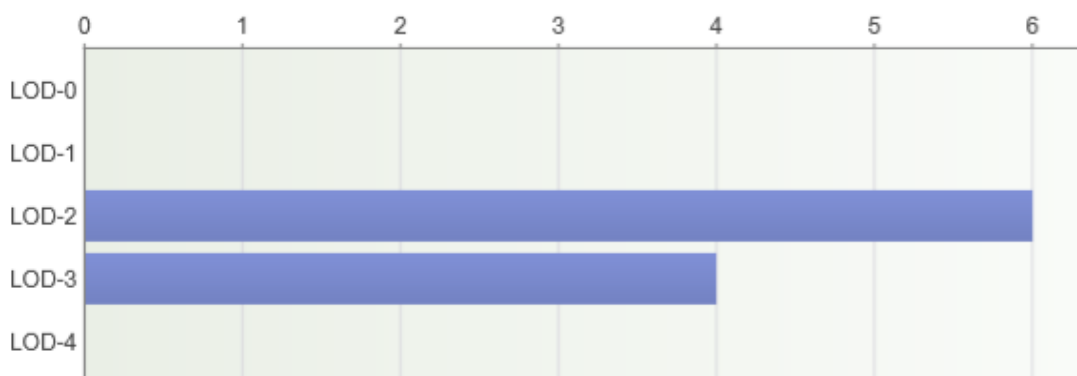


Kuvio 17. Missä LOD-tasossa kunnan 3D-kaupunkimalli tällä hetkellä on?

Suurin osa kunnista oli kyselytutkimuksen aikana LOD2-tasossa. Yksi kunnista oli yltänyt LOD3-tasoon, ja kolmella kunnalla tarkkuustaso on LOD1.

#### 5. Mihin LOD-tasoon kunta pyrkii pääsemään lähitulevaisuudessa?

Vastaajien määrä: 10

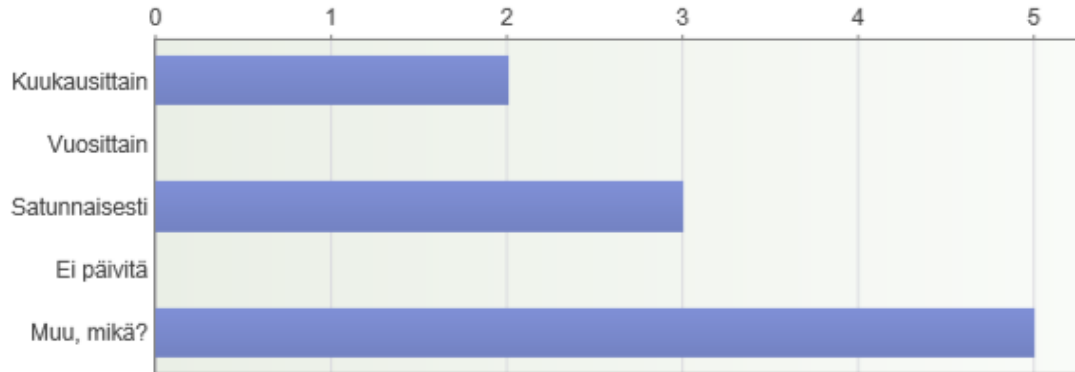


Kuvio 18. Mihin LOD-tasoon kunta pyrkii pääsemään lähitulevaisuudessa?

Lähitulevaisuudessa kyselytutkimuksen perusteella olisi Suomessa yhteensä neljä LOD3-tason 3D-kaupunkimallia. LOD2-taso pysyy yleisimpänä tarkkuustasona.

## 6. Kuinka useasti kunta päivittää 3D-kaupunkimallia?

Vastaajien määrä: 10



### Avoimet vastaukset: Muu, mikä?

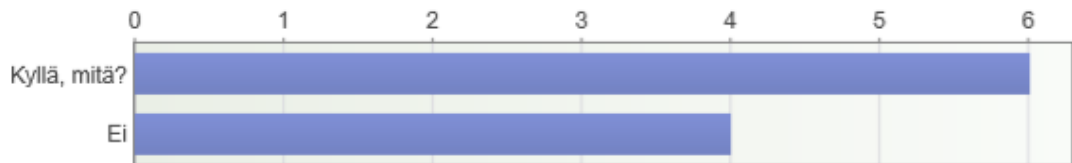
- Vähän auki vielä
- Jatkuvasti kantakartan ylläpidon yhteydessä
- jatkuva ylläpito pohjakartan ylläpidon yhteydessä
- Tarkoitus on päivittää kaupunkimallia jatkuvasti koska kaupunkirakenne muuttuu koko ajan
- Tulee jatkuvaan ylläpitoon osaksi kantakartta-aineistoa

Kuvio 19. Kuinka useasti kunta päivittää 3D-kaupunkimallia?

Kunnat päivittävät jatkuvasti kaupunkimalliaan kantakartan ylläpidon yhteydessä. Yksi kunnista päivittää 3D-malliaan satunnaisesti ja yksi oli epävarma.

## 7. Onko kunta hankkinut mittauskalustoa 3D-kaupunkimallia varten?

Vastaajien määrä: 10



### Avoimet vastaukset: Kyllä, mitä?

- Drone
- Drone
- Drone-hankinta
- Drone
- Trone, ajoneuvokeilain, käsin kannettava keilain
- Drone

Kuvio 20. Onko kunta hankkinut mittauskalustoa 3D-kaupunkimallia varten?

Yhteensä kuusi kuntaa oli hankkinut dronen mallintamisen avuksi. Neljä kuntaa ei ole hankkinut mittauskalustoa 3D-kaupunkimallinnusta varten.

## 8. Mihin kunta käyttää 3D-kaupunkimallia?

Vastaajien määrä: 10

- Kaupunkimalliaineistoa hyödynnetään kaavoituksessa sekä kunnallistekniikan suunnitteluhankkeissa. On myös muita pieniä hankkeita kuten näkymätarkastelut sekä kattojen aurinkoenergiapotentiaalilaskennat.
- Suunnittelun alustaksi ja visualisointiin, lupaviranomaisen apuväline.
- Tällä hetkellä käyttöä löytyisi lähinnä kaavoituksessa, kaavojen ja suunnitelmien visualisointiin
- Kaavoitukseen, muuhun suunnitteluun
- Suunnitteluun, analyyseihin, Virtuaalilaboratorio => eri perimootoreihin
- Maankäytön suunnitteluun.
- Suunnittelun pohja-aineistona, markkionointiin..
- Kaavoitushankkeet
- Suunnitelmien visualisointi
- Kaupunkilaisten osallistaminen
- Päätöksen teon tukena
- Suunnittelun ja visualisoinnin lähtöaineistona
- Toistaiseksi käyttö vielä vähäistä. Käytetty lähinnä uudiskohteiden soveltuvuudesta ympäristöön korkeusselvitykset. Jonkun verran käytetty uusien kiinteistöjen suunnittelussa.

Kuvio 21. Mihin kunta käyttää 3D-kaupunkimallia?

Kunnat käyttävät aineistoa pääsääntöisesti erilaisiin suunnitteluihin. Kaavoitus on merkittävimpiä käyttökohteita.

## 9. Lyhyesti, mikä on 3D-kaupunkimallinnuksessa haasteellisinta?

Vastaajien määrä: 10

- Helppo vastaus on ylläpito. Kaupunkimalliaineistoa ylläpito on teknisestä haasteellista. Se on myös kustannustekijä, joka vuosi ei voida ilmalaserkeilata kaava-alueita.
- Tiedonsiirto järjestelmien välillä
- Kattovektoreiden korjaus Terrasolidilla
- Tuleva ylläpito
- Osin puutteelliset työvälineet.
- Pätevä henkilöstö.
- Mallien tekstuurit
- Riittävien henkilöresurssien järjestäminen mallintamiseen.
- Puhtaan julkisivutekstuurin tuottaminen.
- Koska kaupunkirakenne muuttuu koko ajan, mallintaminen ja kartoitus on aina jäljessä verrattuna todelliseen tilanteeseen maastossa. Haasteena kaupunkimallin ajantasaisuus ja päivittäminen.

Ohjelmistojen automatiikasta huolimatta kaupunkimallintamisessa on vielä paljon ns. "käsityötä".

Kaupunkisuunnittelijoiden/kaupunkilaisten/päätäjien vaatimustaso tarkan kaupunkimallin suhteen on korkealla. LOD-2 tasoinen malli ei riitä kuin yleispiirteisiin visualisointeihin. LOD-3-4 -tasoiset kaupunkimallit tarvitsevat huomattavan työmäärän ylläpidon kannalta jotta julkaistava kaupunkimalli olisi ajan tasalla.

Valtakunnalliset käytännöt/ohjeistukset muiden kuin rakennusten mallintamiseen (sillat, kaupunkirakenteen varusteet) vielä työn alla.

Kunnilla itsellään henkilökunnan osaamisessa rajoitteita 3D-aineiston hyödyntämisessä.

- Kustannustehokkaiden menetelmien löytäminen ja kehittäminen.
- Reusurssien puute, työtä tehdään muun työohessa. Osaamisen laajentaminen hyötykäyttäjille. Tarvitaan riittävän yksinkertaiset sovellukset loppukäyttäjille heidän tarpeisiinsa.

## Kuvio 22. Lyhyesti, mikä on 3D-kaupunkimallinnuksessa haasteellisinta?

3D-kaupunkimallinnuksessa oli havaittavissa erinäisiä haasteita. Ylläpito, erilaiset ohjelmien vaiheet, osaaminen sekä resurssit olivat vastauksien kulmakivinä.

### 4.4 Johtopäätökset

3D-kaupunkimallinnus on Suomen suurimmissa kunnissa vielä uusi menetelmä, sillä 60 % vastanneista olivat aloittaneet 3D-mallintamisen vuosien 2015-2018 aikana, ja vain yksi kunnista oli aloittanut ennen vuotta 2010. Vaikka kyselytutkimuksen mukaan 3D-kaupunkimallinnus on alkanut hiljattain Suomessa, niin sitä hyödynnetään jo paljon erilaisissa suunnitteluissa ja kunnat käyttävät resursseja 3D-mallintamiseen, joten voidaan arvioida 3D-kaupunkimallinnuksen yleistyvän lähivuosina.

Kunnat käyttivät hyvin paljon samoja ohjelmia. Suurimmassa käytössä kyselytutkimukseen pohjautuen olivat Trimble Locus, Terrasolid, FME ja MicroStation. Drone oli yleinen kalustohankinta, sillä 60 % vastanneista olivat hankkineet dronen 3D-kaupunkimallinnusta varten. Voidaan siis arvioida, että kunnilla on ollut jo tarpeenmukaiset mittauskalustot 3D-kaupunkimallinnukseen, kun lähes ainoa hankinta oli drone.

LOD2-taso oli yleisin tarkkuus, ja LOD1-tasossa oli kyselytutkimuksen aikana yhteensä kolme kuntaa. Vain yksi kunnista on LOD3-tasossa. Lähitulevaisuudessa kuusi kyselyyn vastanneista kunnista olisivat LOD2-tasossa, ja LOD3-tasossa olisi neljä kuntaa. Vastauksista voidaan todeta 3D-kaupunkimallien tarkentuvan entisestään, pohjautuen myös siihen, että suurin osa kunnista päivittivät 3D-kaupunkimalliaan jatkuvasti kantakartan ylläpidon yhteydessä. Ulkoisia palveluita ei ole koettu tarpeeksi, sillä vain kaksi kuntaa käyttivät omien resurssien lisäksi ulkoisia palveluita.

3D-kaupunkimallia kunnat käyttivät yleisesti suunnitteluun ja sen visualisointiin. Kaupunkimalliaineistoa hyödynnettiin kyselytutkimuksen mukaan hyvin monessa asiassa kuten kaavoituksessa, kunnallistekniikan suunnitteluhankkeissa, näkyvätarkasteluissa, aurinkoenergiapotentialilaskennoissa, kaavoituksen ja muiden suunnittelujen visualisoinnissa, korkeusselvityksissä, maankäytön suunnittelussa ja markkinoinnissa. Kun LOD2-taso oli yleisin tarkkuus kunnissa ja 3D-kaupunkimalleja hyödynnettiin hyvinkin useaan eri suunnitteluun, voidaan arvioida 3D-kaupunkimallien hyötyjen ja tarpeellisuuden vielä kasvavan 3D-mallinnuksen kehittyessä.

Kyselytutkimuksessa 3D-kaupunkimallinnuksen haasteina koettiin ylläpito, ajan tasaisuus, tiedonsiirto järjestelmien välillä, sovellusohjelmien eri työvaiheet ja niiden käyttö, osaaminen, henkilöresurssit ja tarkkuuden vaatimustasot. Haasteista voidaan päätellä 3D-mallintamiseen kuluvan aikaa eri teknisten asioiden vuoksi, ja vaikka ohjelmistot olivat vahvasti automatisoituja, koettiin niiden käytössä olevan vielä paljon niin sanotusti ”käsityötä”. Kaupunkisuunnittelijat, kaupunkilaiset ja päättäjät halusivat korkealaatuisia kaupunkimalleja, mikä miellettiin haasteena

henkilöresursseissa, sillä vaaditun tasoisiin kaupunkimalleihin tarvittiin huomattavaa työmäärää ylläpidon kannalta. Ajantasaisuudessa todettiin haasteena kaupunkirakenteen jatkuva muuttuminen, minkä seurauksena mallintaminen ja kartoitukset ovat aina jäljessä ympäristön todellisesta tilanteesta.

## 5 HAASTATTELU

### 5.1 Johdanto

Haastattelun tarkoituksena oli selvittää Oulun kaupungin 3D-kaupunkimallintamisen ja LOD-tasojen tekemistä ja käyttöä. Haastateltavana oli Oulun kaupungin paikkatietoinsinööri Taneli Hiltunen. Haastattelu toteutettiin 8.2.2019. Haastattelussa käytävät asiat käsittävät ainoastaan Oulun kaupungin toimia 3D-kaupunkimallintamisessa.

### 5.2 Tulokset

Oulun kaupunki päätti alkaa tehdä 3D-aineistoa asemakaavoituksen ja hankkeiden tueksi. Kaupunki tilasi konsultilta erillisen SketchUp-mallin keskustasta, jota on päivitelty uusien ja purettujen rakennuksien myötä. Kaupunkitietomallia on lähdetty kehittämään osana Trimble Locus –paikkatietojärjestelmää, jossa rakennusten ylläpidettävät rekisteri- ja karttatiedot ovat tuotettavissa kaupunkimallia-aineistoksi.

Paikkatietojärjestelmän 3D-kaupunkimalli koostuu maanpintamallista, kantakartan kohteista, kattomuotojen vektoreista sekä rekisteritiedoista. Maanpintamalli on tuotettu Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoon perustuen. Rakennusten mallintamisessa käytetään kantakartalla olevia rakennuksen niin sanottuja ”kivijalkaviivoja”, joiden perusteella rakennukselle muodostuu seinät maanpinnasta xy-tasossa ylöspäin. Paikkatietojärjestelmässä rakennukseen kytketyt kattomuotovektorit muodostavat rakennuksesta räystäslipallisen LOD2-tasoisin mallin. Ne rakennukset, joista kattomuotoja ei ole mallinnettu, muodostuvat rakennuksen rekisteritiedoissa olevan kerroslukutiedon perusteella oletuskorkeuksin LOD1-tasoisiksi rakennuksiksi.

Kaupungilla on käytössään erilaisia aineistoja, kuten laserkeilausaineistoa, fotogrammetrista pistepilviaineistoa ja maastomittausaineistoa. Oulun kaupunki käsittelee laserkeilausaineistoa Terrasolid-ohjelmalla, jolla pistepilviaineistosta saadaan luotua vektoriaineistoa. Vektoriaineisto tallennetaan paikkatietojärjestelmään, jossa ne yhdistetään olevaan kantakartta-aineistoon.

Korkeampi LOD-taso luo parempia suunnittelumahdollisuuksia, sillä tarkempi malli kuvastaa maaston todellista tilannetta paremmin. Korkeampi LOD-taso tuo mukanaan tarkempaa ympäristön visualisointia. 3D-kaupunkimalliin voi esimerkiksi sommitella kirjastomallissa valmiina olevia puita. Tarkalla nykytilanteesta kuvaavalla mallilla saadaan mm. hahmoteltua kaavahankkeiden alustavia rakennusmalleja helpommin, ja voidaan toteuttaa esimerkiksi varjoanalyysjä.

Oulun kaupungilla on ollut käytössä webpohjainen Mapgets, jolla se on voinut havainnollistaa eri kaavahankkeiden esitysmalleja. Mapgetsillä on yhdistetty visuaalisesti suunniteltuja hankkeita jo olemassa olevaan ympäristöön, minkä avulla kaupunki on voinut selvittää ihmisten mielipiteitä hankkeista.

3D-kaupunkimallinnuksen myötä mallinnusta tekevät ovat joutuneet käymään lisäkoulutusta TerraSolid-ohjelman käytöstä, sekä sen ylläpitopuolellista osaamisesta. Aineistot ovat kehityksen ja tietynlaisen murroksen kohdalla, kun laserkeilausaineisto halventuu ja mittalaitteita tulee koko ajan lisää, sekä järjestelmät uudistuvat. Kaikki edellä mainittu tuo paljon uutta ja lisää opittavaa.

Rakennuksien ulkomuoto määrittää hyvin pitkälti mallintamisen ajallisen keston. Rakennuksia lähdetään mallintamaan vektoreiden avulla. Harjakattoisen ja muutoinkin tavanomaisen talon muotoja käsittävän rakennuksen mallintamisen saa tehtyä lähestulkoon kokonaan ohjelmistojen automatiikan avulla, ja siihen ei kulu paljoa aikaa. Tämänlaisten rakennuksien mallintaminen on helpoimpia vaiheita 3D-kaupunkimallinnuksessa. Vuorostaan monimuotoisten rakennusten mallintaminen on enemmän aikaa vievää. Haasteina monimuotoisten rakennuksien mallintamisessa on niiden vektoreiden hahmottaminen ja muodostaminen yhtenäiseksi malliksi, sillä vektorit eivät ole paikkatietojärjestelmässä yhtenäisiä komplekseja, vaan yksittäisiä leijuja viivoja, joita voi olla hyvin paljon (Hiltunen 2019.)

## 6 POHDINTA

Kaupunkimallintamisesta on tulossa tärkeä apuväline kunnille. 3D-kaupunkimalleja käytetään paljon kaavahankkeiden suunnittelussa, sekä kaupunkimalleja apuna käyttäen voidaan luoda erinäisiä kaupunkianalyysejä.

3D-kaupunkimallit ovat vielä uusi apuväline kunnille. Kaupunkimallit eivät suurimaksi osaksi ole sillä tasolla, että niitä voitaisiin hyödyntää parhaalla mahdollisella tavalla. Tähän yhtenä vaikuttavana tekijänä on kuntien vähäinen resurssien käyttö 3D-kaupunkimallinnukseen. Muina vaikuttajina ovat mallintamisen ylläpito sekä osaaminen.

Laitteiston halventuminen pienentää kuntien kynnystä alkaa työstämään kaupunkimallia. Sovelluksien laaja tarjonta antaa työkalut kaupunkimallien luontiin sekä niiden hyödyntämiseen.

LOD-tasojen standardit ovat karkeita, mutta antavat selvät tavoitteet kaupunkimallin tarkkuuksiin. Opinnäytetyössä oleva kuvio 3 on meidän mielestä hyvä tarkennus LOD-taso luokitukseen. Kuvio 3:n luokittelu voisi olla tulevaisuudessa ajankohtaisempi, mikäli kaupunkimallinnus kehittyisi nykyisen tahdin mukaisesti.

## LÄHTEET

3dRender, 3D Rendering. Viitattu 10.1.2019 <http://www.3drender.com/glossary/3drendering.htm>.

Autodesk. What is 3D CAD software. Viitattu 13.1.2019 <https://www.autodesk.com/solutions/3d-cad-software>.

Bentley 2019a. MicroStation. Viitattu 12.1.2019 <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/microstation>.

-2019b. About Bentley Systems, Incorporated. Viitattu 12.1.2019 <https://www.bentley.com/en/about-us>.

-2019c. ContextCapture. Viitattu 16.1.2019 <https://www.bentley.com/en/products/product-line/reality-modeling-software/contextcapture>.

Biljecki, F., Ledoux, H., Stoter, J. 2016. An improved LOD specification for 3D building models. Viitattu 17.1.2019 [https://3d.bk.tudelft.nl/hledoux/pdfs/16\\_ceus\\_lod\\_specs.pdf](https://3d.bk.tudelft.nl/hledoux/pdfs/16_ceus_lod_specs.pdf).

buildingSMART Finland. Kaupunkimallinnuksen ohjekirja. Viitattu 11.1.2019 <https://buildingsmart.fi/kaupunki/kaupunkimallinnuksen-ohjekirja/>.

CityGML 2018. Viitattu 8.11.2018 <https://www.citygml.org/about/>.

Civilax 2017. Getting Started with MicroStation. Viitattu 12.1.2019 <https://www.civilax.com/getting-started-microstation/>.

Civilpoint 2019. TRIMBLE NOVAPoint. Viitattu 14.1.2019 <https://civilpoint.fi/ohjelmistot/trimble/novapoint/>.

Designblendz 2018. Why engineers and architects need to use 3D building models. Viitattu 10.1.2019 <https://www.designblendz.com/blog/why-engineers-and-architects-need-to-use-3d-building-models>.

GIM International 2018. Characterising Activities in 3D City Modelling. Viitattu 13.1.2019 <https://www.gim-international.com/content/article/characterising-activities-in-3d-city-modelling>.

Hakala, T., Honkavaara, E., Nevalainen, O. Positio 1-2018. Ilma-alus kohteen mukaan. Viitattu 17.2.2019 [https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2018/03/Positio\\_1-2018\\_korjattu.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2018/03/Positio_1-2018_korjattu.pdf).

Hamil 2011. Isn't BIM just 3D CAD? Viitattu 13.1.2019 <https://www.thenbs.com/knowledge/isnt-bim-just-3d-cad>.

Helsingin kaupunki 2019. Helsinki 3D, Viitattu 14.1.2019 <https://kartta.hel.fi/3d/mesh/>.

Hiltunen, T. 2019. Oulun kaupungin paikkatietoinsinöörin haastattelu 8.2.2019.

Lammi 2015. Kaupunkimallit ja CityGML. Viitattu 8.11.2018 [https://www.sfs.fi/files/7740/Lammi\\_Kaupunkimallit\\_ja\\_CityGML.pdf](https://www.sfs.fi/files/7740/Lammi_Kaupunkimallit_ja_CityGML.pdf).

Laurila 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Viitattu 20.11.2018 <http://www.ramk.fi/loader.aspx?id=7fe99c68-3849-4fa8-a563-9327cf51ea79>.

Lifewire 2018. What Is 3D Modeling? Viitattu 10.1.2019 <https://www.lifewire.com/what-is-3d-modeling-2164>.

Maanmittauslaitos. 3D-mallinnus ja virtuaalimaailmat. Viitattu 20.11.2018 <https://www.maanmittauslaitos.fi/node/1854>.

Maanmittauslaitos 2018. 3D-teknologian uudet sovellukset mullistavat tulvasuojelun. Viitattu 17.1.2019 <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/3d-teknologian-uudet-sovellukset-mullistavat-tulvasuojelun>.

Maanmittauslaitos 2019. Ympäristön 3D-mallinnus. Viitattu 8.1.2019. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/ympariston-3d-mallinnus>.

MediaCollege.com. What is 3D? Viitattu 13.1.2019 <https://www.mediacollege.com/3d/intro.html>.

Mitta OY 2019. UAV-lentopalvelut. Viitattu 12.11.2018 <http://www.mitta.fi/palvelut/mittauspalvelut/uav-lentopalvelut/>.

Mukari, T. Databusiness – Virtuaalikaupunkimalli Oulusta. Viitattu 10.1.2019 <https://www.databusiness.fi/fi/blogi/virtuaalikaupunkimalli-oulusta/>.

Mukari, T 2017. Tivi-lehti, Avoimet 3D – virtuaalikaupunkimallit käyttöön. Viitattu 10.1.2019 [https://www.tivi.fi/Kumppaniblogit/6aika\\_avoin\\_data/avoimet-3d-virtuaalikaupunkimallit-kayttoon-6668836](https://www.tivi.fi/Kumppaniblogit/6aika_avoin_data/avoimet-3d-virtuaalikaupunkimallit-kayttoon-6668836).

Nordic Geo Center Oy. Lennokit – UAV –RPAS. Viitattu 20.11.2018 <http://www.geocenter.fi/project/uav-rpas/>.

Novapoint 2019. Trimble Acquires Vianova Systems to Expand its Civil Engineering Infrastructure Software. Viitattu 13.1.2019 <https://www.novapoint.com/trimble-acquires-vianova-systems-expand-its-civil-engineering-and-infrastructure-software-0>.

Open Geospatial Consortium Inc. 2006. Candidate OpenGIS® CityGML Implementation Specification. Viitattu 12.11.2018 [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=16675](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=16675).

Open Geospatial Consortium 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Viitattu 17.1.2019 [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=47842](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842).

Open Geospatial Consortium 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Viitattu 17.1.2019 [https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=47842](https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842).

Open Geospatial Consortium 2018. Etusivu. Viitattu 8.11.2018 <http://www.opengeospatial.org/>.

Pix4D 2019a. Pix4Dcapture. Viitattu 13.1.2019 <https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>.

-2019b. Pix4Dmapper. Viitattu 13.1.2019 <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>.

-2019c. What file types does Pix4Dmapper deliver? Viitattu 13.1.2019 <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper/outputs>.

Siemens 2019. Computer-aided Design (CAD), Viitattu 16.1.2019 <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>.

Suomisto 2013. Kaupunkien tietomallit Euroopassa. Viitattu 10.1.2019 <https://docplayer.fi/8002544-3d-kaupunkimallinnuksen-kehitys.html>.

Symetri 2017. Mikä BIM? Viitattu 13.1.2019 <https://www.symetri.fi/uutiset/mikae-bim/>.

Terrasolid 2019a. Terrasolid Products. Viitattu 12.1.2019 <http://www.terrasolid.com/products.php>.

2019b. TerraScan – software for LiDAR Data Processing and 3D Vector Data Creation. Viitattu 11.1.2019 <http://www.terrasolid.com/products/terrascan-page.php>.

Trimble 2019a. Trimble Locus. Viitattu 13.1.2019 <https://kunnat.trimble.fi/trimble-locus.html>.

-2019b. Ohjelmistot. Viitattu 13.1.2019 <https://kunnat.trimble.fi/tuotteet.html>.

LIITTEET

LIITE 1 KYSELYLOMAKE (osia 2)

# LAPIN AMK



## Lapland University of Applied Sciences

### LOD-tasot ja niiden käyttö 3D-kaupunkimallinnuksessa

**1. Milloin kunta alkoi tekemään 3D-kaupunkimallia?**

- Ennen 2010
- 2010-2014
- 2015-2018
- Tulevaisuudessa
- Ei tehdä

**2. Mitä ohjelmaa tai ohjelmia käytätte 3D-kaupunkimallin luomiseen?**

**3. Tekeekö kunta 3D-kaupunkimallia itsenäisesti, vai käyttääkö se ulkoisia palveluita?**

- Itsenäisesti
- Ulkoisia palveluita
- Molempia
- Muu, mikä?

**4. Missä LOD-tasossa kunnan 3D-kaupunkimalli tällä hetkellä on?**

- LOD-0
- LOD-1
- LOD-2
- LOD-3
- LOD-4

**5. Mihin LOD-tasoon kunta pyrkii pääsemään lähitulevaisuudessa?**

- LOD-0  LOD-1  LOD-2  LOD-3  LOD-4

**6. Kuinka useasti kunta päivittää 3D-kaupunkimallia?**

- Kuukausittain  
 Vuosittain  
 Satunnaisesti  
 Ei päivitä  
 Muu, mikä?

**7. Onko kunta hankkinut mittauskalustoa 3D-kaupunkimallia varten?**

- Kyllä, mitä?   
 Ei

**8. Mihin kunta käyttää 3D-kaupunkimallia?**

**9. Lyhyesti, mikä on 3D-kaupunkimallinnuksessa haasteellisinta?**