

MIKKO KUHNO

KAUPUNKIALUEEN 3D-  
MALLINTAMISEN KEVYET  
MENETELMÄT

Case Satamalahden alue SketchUpilla

Opinnäytetyö  
Tietotekniikan ko


Marraskuu 2012




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI

 <b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  30.11.2012				
<b>Tekijä(t)</b>  Mikko Kuhno	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b>  Tietotekniikan ko				
<b>Nimeke</b>  3D-mallintamisen kevyet menetelmät. Case Satamalahden alue SketchUpilla					
<b>Tiivistelmä</b>  <p>3D-kaupunkimallinnus tarkoittaa jonkin kaupungin tai kaupunginosan virtuaalista mallintamista joko demonstraatio- tai tutkimustarkoituksiin. Tämä opinnäytetyö pyrki selvittämään, miten SketchUp toimii kaupungin kokoisen alueen mallinnympäristönä.</p> <p>Teoriaosuudessa selvitettiin ensiksi, millaisia työkaluja kaupunkialueiden mallintamisessa käytetään ja miten rakennusten korkeustiedot voidaan selvittää. Pääpaino on valmiiden materiaalien sekä ilmaisten palveluiden hyödyntämisessä. Tämän lisäksi otettiin selvää miten maastodataa voidaan tuottaa ja miten valmiita maastodataa saadaan editoitavaan muotoon.</p> <p>Käytännön työssä käytiin läpi maaston sekä rakennusten mallintamisen eri vaiheet sekä menetelmät Trimble Sketchup ohjelmistolla. Työtä tehdessä tutkittiin sen soveltuvuutta suurien maastoalueiden, sekä lukuisten talomallien editoimiseen. SketchUpin todettiin olevan toimiva työväline pienten kaupunkialueiden mallintamiseen. Isompiin projekteihin, sekä tarkan maaston kuvaamiseen SketchUp ei sovellu.</p>					
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> 3D, visualisointi, maasto, kaupunkimallinnus, SketchUp					
<b>Sivumäärä</b>  37	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"><b>Kieli</b></td> <td style="width: 33%;"><b>URN</b></td> </tr> <tr> <td>Suomi, tiivistelmä englanniksi</td> <td></td> </tr> </table>	<b>Kieli</b>	<b>URN</b>	Suomi, tiivistelmä englanniksi	
<b>Kieli</b>	<b>URN</b>				
Suomi, tiivistelmä englanniksi					
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>					
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Harri Kosonen Esa Hannus	<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  Miktech Oy				

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  30. November 2012	
<b>Author(s)</b>  Mikko Kuhno		<b>Degree programme and option</b>  Information technology	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Light methods for city landscape modelling, case Satamalahti with SketchUp			
<b>Abstract</b>  <p>3D-city modelling refers to the virtual model of a city or an area within a city. These models can be made for entertainment, measurement, or informational purposes. This bachelor's thesis studied if SketchUp was a considerable modelling tool for city size modelling projects. First part covered through the basic modelling methods and finding out building height information. The other part clarified methods of finding out terrain height information.</p> <p>The practical part focused on how to get terrain data with minimum or no budget. It demonstrated how to use download services of the National Land Survey Of Finland and how to edit and import the terrain to Trimble SketchUp. Then this thesis demonstrated different methods of gathering building height information and how to model entire city using CAD layers imported to SketchUp. Finally the study went through adding textures to modelled buildings and dropping them to the imported terrain.</p> <p>The conclusion part determined that SketchUp is a good modelling tool for small size city models. Terrain was discovered to be the major problem to the software.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b> 3D, visualization, terrain, city modeling, SketchUp			
<b>Pages</b> 37		<b>Language</b> Finnish, Abstract in english	
<b>URN</b>			
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b>  Harri Kosonen Esa Hannus		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Miktech Oy	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	MAASTON JA RAKENNUSTEN 3D .....	2
2.1	Mallintamisen perusasiat .....	2
2.1.1	Mikä on 3D-malli.....	3
2.1.2	3D-mallintamisen eri menetelmät.....	3
2.1.3	LOD tasot.....	6
2.2	Maaston muodostamisen eri menetelmät.....	8
2.2.1	Laserkeilausaineisto.....	8
2.2.2	Stereoskopia.....	10
2.2.3	Google Earth .....	10
2.2.4	Korkeuskäyrät .....	12
2.2.5	Maanmittauslaitoksen maastodata .....	13
2.3	Rakennusten korkeuden selvittämisen eri menetelmät.....	13
2.3.1	Pistepilviluokitus.....	13
2.3.2	Rakennusnumerointi .....	14
2.4	Sovellusohjelmistot.....	15
2.4.1	SketchUp.....	15
2.4.2	Kaupunkimallinnusohjelmistot.....	17
2.4.3	Arkkitehtuuriohjelmistot.....	18
2.4.4	Perinteiset 3D-mallinnusohjelmistot.....	18
3	SATAMALAHDEN ALUEEN MALLINNUS .....	20
3.1	Maastodatan siirtäminen editointiohjelmaan .....	21
3.1.1	Latauspalvelun käyttö .....	21
3.1.2	Tiedostomuodon vaihto .....	22
3.1.3	Aineiston muokkaus Meshlabissa.....	23
3.2	Talojen mallintaminen .....	32
3.2.1	Talojen korkeuden määrittäminen .....	33
3.2.2	Tekstuurien lisääminen rakennuksiin .....	35
3.2.3	Talojen pudottaminen maastoon.....	36
4	YHTEENVETO .....	37
	LÄHTEET .....	39
	LIITE/LIITTEET	

- 1 Yksisivuinen liite
- 2 Monisivuinen liite

## 1 JOHDANTO

Kaupunkimallit ovat yleistynyt tapa havainnollistaa uusien alueiden suunnittelua, sekä kuvata olemassa olevaa asumisympäristöä. Tietotekniikan yleistymisen myötä kaupunkimalleja voidaan tehdä nopeammin ja tehokkaammin. Yleensä kaupunkimalli tilataan uuden kaupunginosan suunnittelun yhteydessä. Kaupunkimalli edesauttaa havainnollistamaan mahdolliset epäkohdat, näköesteet, tai viat rakenteista etukäteen. Kun viat voidaan korjata jo suunnitteluvaiheessa, säästetään rahaa uudelleenrakennukselta. Mikkelissä on käynnissä Satamalahden alueen uudelleensuunnitteluprosessi. Suuria osia satamalahden ympäristöstä aiotaan rakentaa uudelleen ja satamasta pyritään tekemään urbaani ja viihtyisä jatke Mikkelin keskustalle. Satamalahden alueesta on pyydetty 3D-malli, jota voitaisiin käyttää pohjana uusien alueiden esittelyssä.

Tämä opinnäytetyö kuvaa satamalahden alueesta tehtävän 3D-mallinnusprosessin. Malli tehdään Trimble SketchUp ohjelmistolla toimeksiantona Miktech Oy:lle sekä Mikkelin kaupungille. Mikkelistä on tehty jo yksi 3D-malli Novapoint Virtual Map ohjelmalla. Tässä työssä pyritään kuitenkin tekemään helpommin käsiteltävissä oleva kaupunkimalli. Työn tarkoituksena on ottaa selville, miten SketchUp toimii laajan kaupunkialueen mallinnustyön ohjelmistona. Käytännön osuudessa tarkoituksena on saada Maanmittauslaitoksen maastodatasta SketchUpissa toimiva maanpinta, minkä päälle voidaan pudottaa kantakarttojen avulla tehdyt talot. Pinnoille pyritään lisäämään fotorealistisia pintakuvia, eli tekstuureja (engl. *texture*), sekä geneerisiä rakennuksia kuvaavia tekstuureja. Valmiin mallin tulisi olla helposti integroitavissa uusien kaupunkiosasuunnittelujen taustamateriaaliksi. Lisäksi kaupunkimallin tulisi olla helposti muokattavissa jatkokäyttöä varten.

Teoriaosuudessa käydään läpi mallintamisen perusasioita, joita tarkastellaan kaupunkimallin luomisen näkökulmasta. Yleisesti kaupunkimallin tekeminen koostuu kahdesta erillisestä prosessista. Toinen on maaston ja toinen rakennusten mallintaminen. Näihin prosesseihin on olemassa niin yleispäteviä, kuin erikoistuneita ohjelmia. Ohjelmistot käydään läpi yleisellä tasolla, jonka jälkeen keskitytään varsinaisessa työssä käytettyihin ohjelmistoihin. Molemmat työvaiheet on esitelty teoriassa ja myöhemmin käytännössä. Päämallinnusohjelmistoksi valittuun Trimble SketchUpiin päädyttiin vertailemalla eri ohjelmistoja projektille oleellisten asioiden

kannalta katsottuna. SketchUpin lisäksi työssä on käytetty muun muassa CAD-katseluohjelmaa, Meshlabia sekä ArcMapia.

## **2 MAASTON JA RAKENNUSTEN 3D**

Suunniteltaessa kokonaisia uusia kaupunginosia on tärkeää, että kaikilla on hyvä mielikuva uuden alueen ulkonäöstä. Tällä saralla 3D-mallit eivät ole varsinaisesti mikään uusi juttu. Ensimmäisiä kolmiulotteisia pienoismalleja käytettiin tiedettävästi ensimmäisen kerran 1500-luvulla, jolloin italialaiset insinöörit rakensivat pienoismalleja sotilastarkoituksiin. Varsinaisen pienoismallien läpimurron teki Louis XIV hallintojaksollaan (1661–1715), jolloin hän määräsi rakennettavaksi pienoismalleja muun muassa juuri valtaamistaan kaupungeista. Mallien avulla pystyttiin suunnittelemaan puolustuksia venäläisten hyökkäyksien varalle. Nämä mallit olivat työläitä tehdä, sillä kaikki piti tehdä käsin. Kuitenkin mallien moniulotteisuus antoi parempaa visuaalista antia kokonaistilanteesta paperipiirroksiin verrattuna. (Relief models in History, 2010)

Pienoismalleja tehdään vieläkin käsin, vaikka niiden käyttökohteet ovat lähinnä viihteellisiä. Tietokoneiden kehityksen myötä 3D-visualisointi on siirtynyt fyysisistä virtuaalisiin malleihin. Nykytekniikalla 3D-mallien tekeminen on jo sen verran yksinkertainen prosessi, että kuka tahansa voi niitä halutessaan tuottaa. Tämän seurauksena 3D-visualisointi on muodostunut hyvin kiinteäksi osaksi kaupunkisuunnittelua. Renderöintiohjelmien tehokkuus ja monipuolisuus mahdollistavat sen, että tarvittaessa tietokoneella tehtyä kuvaa ei erota aidosta.

Seuraavaksi käydään tarkemmin läpi, miten maaston sekä rakennusten muodostaminen tapahtuu teoriassa ja miten nämä käytänteet eroavat toisistaan. Lisäksi listataan yleisimmät menetelmät niin maaston, kun rakennustenkin mallintamisessa.

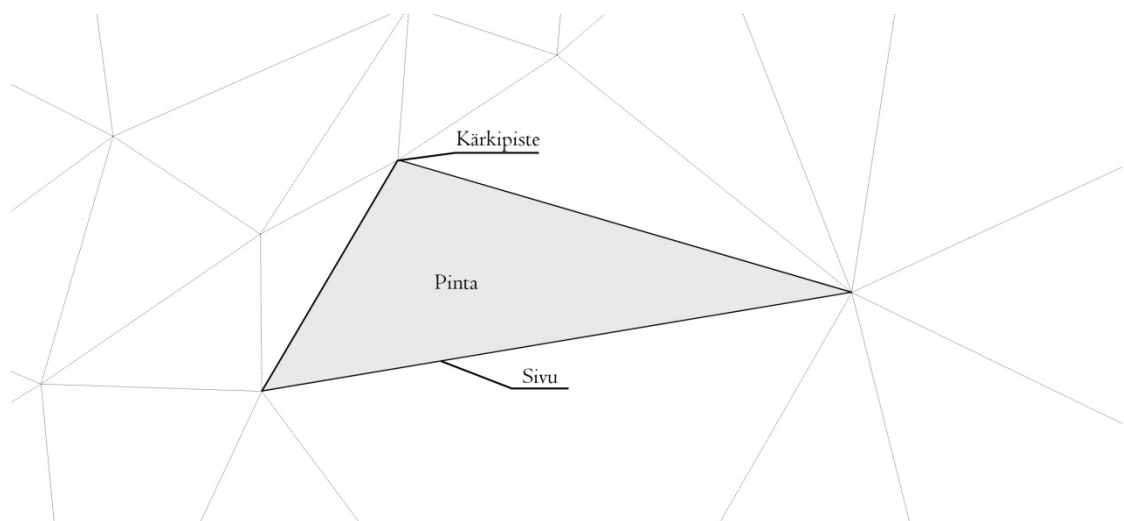
### **2.1 Mallintamisen perusasiat**

Ensimmäiseksi katsotaan hieman mallintamisen perusasioita. Aluksi käydään lyhyesti läpi mitä mallintaminen käytännössä tarkoittaa, millaisia erilaisia mallinnusmenetelmiä on olemassa, sekä mitkä näistä menetelmistä on hyödyllisiä, kun

tehdään kaupungin laajuista 3D-mallia. Mallintamisen lisäksi katsotaan mitä tarkoittaa level of detail, eli LOD-tasot ja miten niitä käytetään hyödyksi kaupunkimalleissa.

### 2.1.1 Mikä on 3D-malli

3D-malli tarkoittaa useimmiten mesh-verkosta rakennettua muotoa. Mesh-verkko koostuu pinnoista (face), joilla on sivut (edge), sekä kärkipisteet (vertex). Mesh-verkon pinnoilla on viereisen pinnan kanssa yhteinen kärkipiste. Tällaista mallia muokataan liikuttelemalla jotain edellä mainituista osista 3D-avaruudessa. 3D-malleja voidaan tehdä myös *NURBS*-käyristä (*Non-Uniform Rational B-Splines*). *NURBS*-tasot ovat spline-käyrien välille muodostettavia pintoja, joita hallitaan käyrien päätepisteiden avulla. 3D-mallien tarkkuutta mitataan yleensä *polygonilla* (engl. *polygon*). Polygon on symmetrinen suljettu muoto, jolla voi olla hyvinkin monta sivua. (Lehtovirta Pekka, Nuutinen Kari. 2000) Kuvassa 1 on kuva meshverkon osista



Kuva 1. Meshverkon osat

### 2.1.2 3D-mallintamisen eri menetelmät

Tietokoneella voi tuottaa 3D-malleja käyttäen monia erilaisia menetelmiä. Yleensä haluttu lopputulos määrittää mallinnusmenetelmän. Useimmat 3D-mallinnusohjelmistot osaavat useamman, kuin yhden mallinnustyylin. Seuraavaksi käydään läpi seitsemän yleisintä 3D-mallinnuksen muotoa.



Niin sanottu *laatikkomallinnus* on ehkä kaikista mallinnusmenetelmistä yleisin. Tässä toimintatavassa luodaan ensin perusmuoto eli *primitiivi* (engl. *primitive*), josta muokataan haluttu geometria. Perusmuotoja ovat esimerkiksi: laatikko, pallo, sylinteri, putki, jne. Mallinnusta jatketaan siten, että valittua perusmallia muokataan venyttämällä, kääntämällä, pintoja nostamalla ja halkomalla. Tällä tavoin mallista tehdään portaittain tarkempaa.

*Reunaviivamallinnuksessa* työ aloitetaan piirtämällä tärkeitä kohtia, kuten talon reunoja tai silmien muotoa. Pää-ääriviivojen väleihin lisätään polygoneja päämuotojen mukaan. Tällä tavalla saadaan nopeasti tarkempaa mallia sellaisista muodoista, mitä on perinteisellä laatikkomallinnuksella työlästä toteuttaa. Lisäksi esimerkiksi kasvoissa voidaan määrittää pääviivat jo alussa siten, että esimerkiksi animoinnissa 3D-mallin kasvot liikkuvat oikein.

NURBS-mallinnuksessa ei ole polygoneja ollenkaan, vaan mallinnuspinnat muodostuvat runkoviivojen muotojen mukaisesti. Näitä runkoviivoja kutsutaan joko Beziér-kurviksi tai runkoviivoiksi (engl. *spline*). Mallinnus tapahtuu siten, että ensiksi piirretään viiva jolla on vähintään lähtö- ja päätepiste. Näistä pisteistä lähtee ohjausviivoja joita siirtämällä pisteiden välistä viivaa saadaan kaarrettua halutun muotoiseksi. Beziér-kurvien välille voidaan muodostaa tasoja. Tasot mukailevat määritettyjen reunakurvien muotoja. Menetelmää kutsutaan loftaukseksi (engl. *lofting*), Kyseinen menetelmä on hyvin suosittua teollisessa muotoilussa, sillä mallin tarkkuus on kaavojen käytön ansiosta hyvin tarkka. NURBS-mallinnus olisi maaston mallintamisessa kätevä menetelmä siitä syystä, että silloin maastoon ei tulisi kolmioverkoille yleisiä teräviä kulmia ollenkaan. Kuitenkin todella harva ohjelmisto tukee NURBS-pohjaista maastomallinnusta. (Piegl Les, Tiller Wayne. 1996)

Uudempia mallinnustapoja edustaa *digitaalinen muovailu* (engl. *digital sculpting*). Termillä ei ole varsinaisesti virallista suomenkielistä nimeä. Käytän tässä työssä sanaa digitaalinen muovailu, koska se kuvastaa osuvasti kyseistä mallinnusprosessia. Tämä kyseinen muoto on ollut urauurtavaa hahmonkehityksessä, monimutkaisten ja orgaanisten muotojen mallintamisessa, sekä intuitiivisessa mallintamisessa. Menetelmä toimii siten, että esimerkiksi styluksen tai hiiren avulla muokataan valitun muotoista massaa. Menetelmä on tavallaan virtuaalista saven muovailua. Lopputuloksena on nopeasti luotuja, mahdollisesti hyvinkin pikkutarkkoja hahmoja

missä saattaa olla miljoonia polygoneja. Tämä prosessi on nopeuttanut hahmojen luontia valtavasti ja suunnittelijoilla on vapaammat kädet toteuttaa uusia ideoita nopeasti.

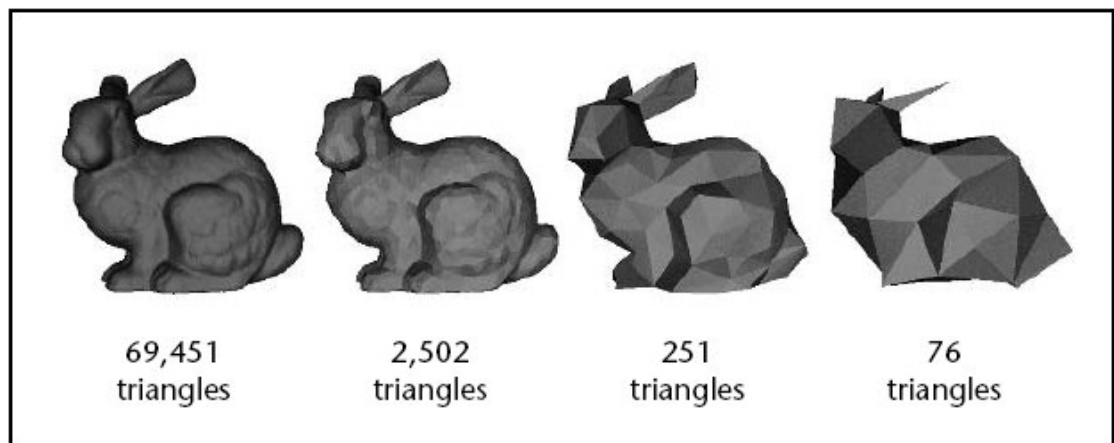
*Proseduraalisessa mallinnuksessa* ei vastaavasti varsinaista piirtotyötä ole oikeastaan ollenkaan. Käsien tekemisen sijaan ohjelmistolle syötetään haluttuja parametreja ja tietokone laskee näiden arvojen pohjalta mallin. Tätä mallinnusmenetelmää käytetään paljon maaston luontiin, sillä maaston monet pienet korkeuserot ja orgaaniset muodot ovat käsien tehtynä hyvin aikaa vievää puuhaa. Proseduraalista mallinnusta käytetään myös olemassa olevan kaupunkikuvan, sekä maaston mallintamiseen. Ohjelmistoihin voidaan tuoda korkeustietoja oikeasta maastosta. Esimerkiksi Esri City Engine ohjelmalla voi tehdä kokonaisia virtuaalikaupunkeja rakennuksineen eri parametrien avulla. Kaupungit voivat olla oikeasti olemassa olevia kaupunkeja tai täysin mielikuvituksen tuotetta. Kaupunkimalleja tehdään yleistyvissä määrin tällaisilla menetelmillä, sillä prosessi on nopea ja vaatii vähemmän miestyötunteja. Vastaavasti tällaiset ohjelmistot ovat kohtuullisen kalliita ja vaativat käyttäjältä kouluttautumista.

*Valokuvamallinnuksessa* 3D-informaatio saadaan nimensä mukaisesti kameralla otetuista kuvista. Hyvään tulokseen tarvitaan yleensä kalibroitu kamera, jolla kuvattavasta kohteesta otetaan monta kuvaa eri kuvakulmista. Tämän jälkeen kuvat tuodaan ohjelmistoon, jossa niistä etsitään kiintopisteitä joko manuaalisesti osoittamalla tai annetaan ohjelmiston laskea ne automaattisesti. Valokuvamallinnus on siinä mielessä tehokasta että objekteihin tulee pintakuva, eli *tekstuuri* (engl. *texture*) mallinnuksen yhteydessä. Esimerkiksi laatikkomallinnuksessa itse mallinnuksen jälkeen joudutaan käyttämään vielä paljon aikaa mallin teksturoimiseen. Mikäli mallinnettavaan esineeseen ei saa käsien koskea, on valokuvamallinnus tai laserskannaus oikeastaan ainoat järkevät tavat taltioida sen muodot tarkasti. Oikein tehtynä valokuvamallinnuksella saa kuvatusta esineestä hyvin tarkan virtuaalikopion.

Valokuvamallinnus perustuu *fotogrammetriaan*. Fotogrammetriaan perustuvat myös 3D-skannauslaitteet. Niiden toimintaperiaate on lähellä valokuvamallinnusta, mutta kuvan muotojen lukemisen sijaan etäisyystiedot otetaan mittaamalla joko ultraäänen, tai lasersäteiden aikaa kohteeseen ja takaisin. 3D-skannausta tutkitaan tarkemmin luvussa 2.2.1. (Justin Slick. 2012)

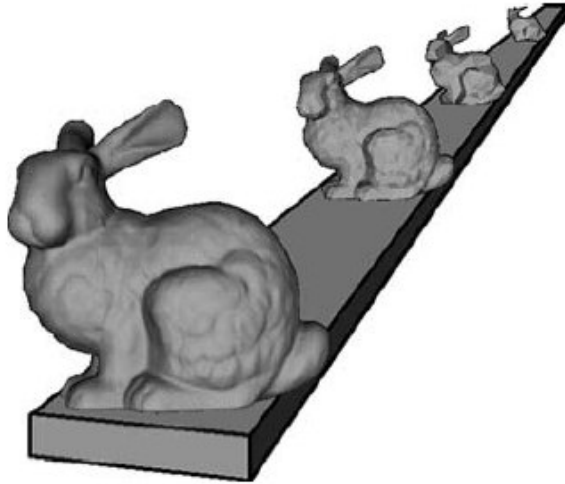
### 2.1.3 LOD tasot

3D mallinnuksessa käytetään laajasti tarkkuustasojärjestelmää. Nämä tarkkuustasot tunnetaan yleisesti *level of detail* (LOD) järjestelmänä. Tarkkuustasojärjestelmän ansiosta 3D-malleja voidaan esittää huomattavasti kevyemmin. LOD tasojen mukaan objekteille määritetään tietty esitystarkkuus niiden etäisyys huomioon ottaen. Mitä kauempana kohde on, sitä vähemmän siinä tarvitsee olla yksityiskohtia, Kohde näkyy kauempaa katsottuna muutenkin epätarkasti. (Luebke David, Reddy Martin. 2002) Lähemmäs tullessa kuitenkin kiinnitetään huomiota enemmän yksityiskohtiin, jonka takia kohteen tulisi olla tarkempi. Kuvassa 2 on neljä eri LOD tasoa rinnakkain.



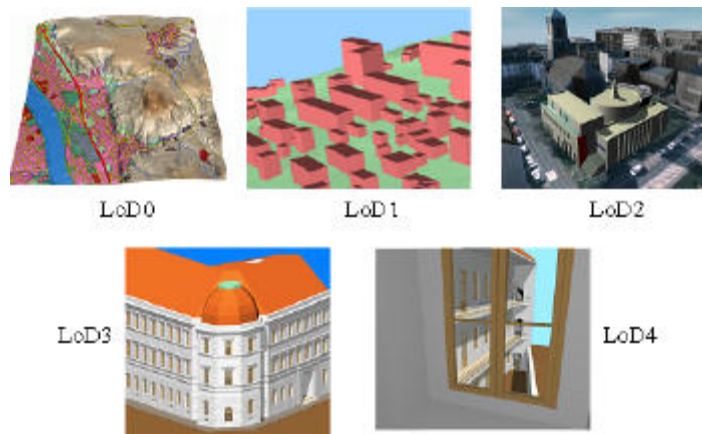
Kuva 2. Neljä LOD-tasoa (Luebke David, Reddy Martin. 2002)

Kun kohteen tarkkuutta jaetaan näin tasoihin, saadaan näytettävästä ympäristöstä paljon kevyemmin toimiva. Pelimoottorit toimivat tällä periaatteella ja laskevat niin esineiden, kuin maaston kolmioita eri LOD-tasoihin samalla, kun virtuaalimaailmassa edetään. Kuvassa 3 aikaisemmin esitetty jänis on laitettu oikeisiin katseluetäisyyksiin LOD-tasojen mukaan. Jänikset näyttävät nopeasti katsottuna yhtä tarkoilta. (Erving Anna. 2007)



Kuva 3. LOD tasot katseluetäisyyksissä (Luebke David, Reddy Martin. 2002)

Kaupunkimalleissa LOD-tasot jaetaan yleensä viiteen eri tasoon. Kaupunkimallin LOD-tasot perustuvat CityGML standardiin. CityGML standardissa kuvataan tarkasti, miten rakennukset tulee kuvastaa missäkin LOD-tasossa. Kuvassa 4 on esitelty CityGML pohjaiset LOD-tasot. LOD0 on taso, missä näytetään lähinnä ilmakuvaa tai karttakuvaa alueesta. LOD1 tasossa talot ovat laatikkomaisia ja ne ovat nostettu lähinnä talojen pohjapiirroksista suhteellisiin korkeuksiinsa. Taloissa voi olla toistuva, eli tiletekstuuri tai väri. LOD2 tasossa talot ovat vielä laatikkomaisia, mutta niihin on tehty jo erilaisia kattogeometrioita ja muita rakennukselle ominaisia muotoja. Tekstuuriin tulee olla jo rakennuksen omaa vastaava ja ympäristöön voidaan lisätä kasvillisuutta. LOD3 tason rakennusten on oltava jo hyvin yksityiskohtaisia. Niiden tulee sisältää kattorakenteita, parvekkeita, räystäitä jne. Lisäksi rakennuksissa tulee olla fotorealistiset tekstuurit. LOD3 tasoon kuuluu myös ympäristön, kasvillisuuden ja liikenteen yksityiskohtainen visualisointi. LOD4 on tarkin kaupunkimallinnuksen taso. Tässä tasossa ulkopuolen yksityiskohtia jatketaan rakennusten sisäpuolten kuvaamisella. Sisätilojen kuvaamiseen kuuluvat muun muassa ovet, ikkunat, huonekalut, sekä portaat. (Gröger Gerhard, Kolbe Thomas H. 2008)



Kuva4. CityGML LOD-tasot

## 2.2 Maaston muodostamisen eri menetelmät

Maastoa voidaan mallintaa joko täysin tyhjästä tai kopioida olemassa olevaa maastoa. Mikäli esimerkiksi pelimaailmaan tulee luoda maasto, voidaan sen luomisessa käyttää luvussa 2.1.2 mainittua proseduraalista mallintamista. Tällöin maaston yleisgeometria luodaan erilaisten parametrien avulla, jota muokataan tarvittaessa näyttävämmäksi. Kun tavoitteena on mallintaa oikeaa maastoa, on korkeustietojen selvittämiseen sekä tallentamiseen moniakin erilaisia menetelmiä. Ensimmäiseksi käydään läpi mitä erilaisia menetelmiä on tallentaa maastoa datamuotoon. Nämä ratkaisut vaativat yleensä mittalaitteita ja järjestelyjä, joten niiden jälkeen käydään läpi miten maastoa voi saada editoitavaksi ilman laitehankintoja ja mittauksia. Nämä menetelmät käyttävät hyödyksi ilmaiseksi tarjolla olevia materiaaleja ja siksi niitä joudutaan useasti muokkaamaan, jotta ne toimisivat halutussa ohjelmistossa. Tässä luvussa keskitytään osin jo siihen, miten data siirtyy varsinaisessa työssä käytettyyn SketchUpiin.

### 2.2.1 Laserkeilausaineisto

Maaston yleisimpiin korkeustietojen keräysmenetelmiin kuuluu laserkeilaus. Menetelmä on jo nyt hyvin yleinen ja yleistyy jatkuvasti. Maaston skannausta laserkeilausmenetelmillä suositaan siksi, että nykyisellä teknologialla isostakin alasta tuotettu keilausaineisto on erittäin tarkkaa. Mikkelin alue keilattiin lentokoneeseen sijoitetulla laserkeilaimella kesällä 2012 ja aineisto on raportin tekohetkellä luokiteltavana. (Maanmittauslaitos 1. 2012.) Tämän takia tätä kyseistä dataa ei

käytetty työssä korkeustietojen pohjamateriaalina. Uuden datan korkeusvirhearvion on luvattu olevan 0,3 metriä. (Maanmittauslaitos 2. 2012.) Työssä käytetty korkeustietomateriaali otettiin Maanmittauslaitoksen latauspalvelusta saatavalla 10m\*10m korkeusdatasta. Tämä data käsittää koko suomen alueen. (Maanmittauslaitos 3. 2012.)

Laserkeilaimia on monenlaisia eri malleja erilaisiin käyttötarkoituksiin. On olemassa aktiivisia, passiivisia, kolmiomittauksella ja fotometrialla toimivia, sekä valon kulkunopeutta mittaavia skannereita. Kolmiomittauksella toimivien skannereiden tehokas skannausetaisyys on kosketusetaisyydestä sataan metriin. Näiden tarkkuus vaihtelee karkeasti millimetrin kymmenesosista alle kahteen senttimetriin. (Santaluoto Olli. 2012.)

Maastonmallinnuksessa käytettävät laserkeilaimet ovat kaukokeilaimia. Ne perustuvat pulssilasermenetelmään. Tässä menetelmässä helikopteriin tai lentokoneeseen kiinnitetään tehokas melkein infrapuna-alueella toimiva lähetin ja vastaanotinkappale, GPS tai sähköinen kompassi, korkeusmittari, sekä kallistukset kompensoiva järjestelmä. Keilain lähettää yksittäisen lasersäteen mitattavaan kohteeseen ja mittaa ajan, joka säteeltä menee heijastua takaisin keilaimeen. Vaikka laite voi tehdä vain yhden mittauksen yhdelle pulssille, kerkeää laite kuitenkin syöttää noi tuhat pulssia sekunnissa. Keilain käyttää koko aaltomuodon (engl. *Full Waveform*) hyödyntävää keilaustekniikkaa, eli laite rekisteröi yksittäisen takaisintulevan pulssin sijasta koko aaltomuodon. (W Wagner, A Ullrich, T Melzer, C Briese. 2004) Tämän ansiosta on mahdollista saada keilauskuvasta aidosti kolmiulotteista ja siitä on mahdollista luokitella puun latvustot, kattojen kaltevuudet jne. Samaan keilauspakettiin liitetään yleensä myös kamera, joka kuvaa keilatun alueen, jolloin keilausmateriaaliin saadaan lisättyä tarvittaessa myös tekstuuri. Laserkeilaimen data ei kuitenkaan käänny suoraan 3D-malliksi, vaan laitteistoista saadaan pistepilvimateriaalia. Tämän datan koko voi olla miljardeja pisteitä. Tämä pistemateriaali pitää ensin luokitella, karsia ja kolmioida ennen kuin sitä kannattaa tuoda varsinaiseen mallinnusohjelmistoon. (Parmes Eija. 2008.)

### 2.2.2 Stereoskopia

Stereoskopia on fotogrammetriaan perustuvaa korkeuden määrittämistä. Fotogrammetriassa yhdestä tai useammasta kuvasta lasketaan etäisyysmittoja kiintopisteiden avulla. Varhaisimmat fotogrammetriasovellukset ovat kameran keksimisen seurausta vuodelta 1839. Fotogrammetrian kehittymistä ovat vauhdittaneet erilaiset tekniset läpimurrot kuten valokuvauksen, lentokoneiden, tietokoneiden, sekä satelliittien keksiminen ja kehittäminen. Ensimmäiset fotogrammetrian etäisyysmittaukset olivat maakuivilta ja vasta maailmansotien välissä alettiin kehittää ilmakuvauksellista etäisyyslaskentaa. 1950-luvulta lähtien fotogrammetriatietoja alettiin käsitellä automaation voimin. Tietokoneen kuvantunnistusohjelmistojen, sekä kuvankäsittelytekniikoiden avustuksella koko etäisyysmittausprosessi on saatu automatisoitua, jolloin ilmakuvista voi saada pistepilviä viikkojen tai vuosien sijasta tunneissa tai päivissä. (Haggrén Henrik. 2011)

Seuraavassa osiossa käsitellyssä on valmiiksi tarjolla olevia korkeustietomateriaaleja. Koska kyse on valmiista materiaalista, voidaan keskittyä tarkemmin siihen voisiko materiaalia käyttää Mikkelin Satamalahden 3D-mallin maastona. Koska varsinainen työ tehdään Trimble SketchUp ohjelmalla, keskitytään myös siihen miten vaikeaa datan siirtäminen tähän ohjelmaan on. Jotkut käsiteltävistä materiaaleista siirtyvät sellaisenaan, mutta joitain joutuu taas editoimaan.

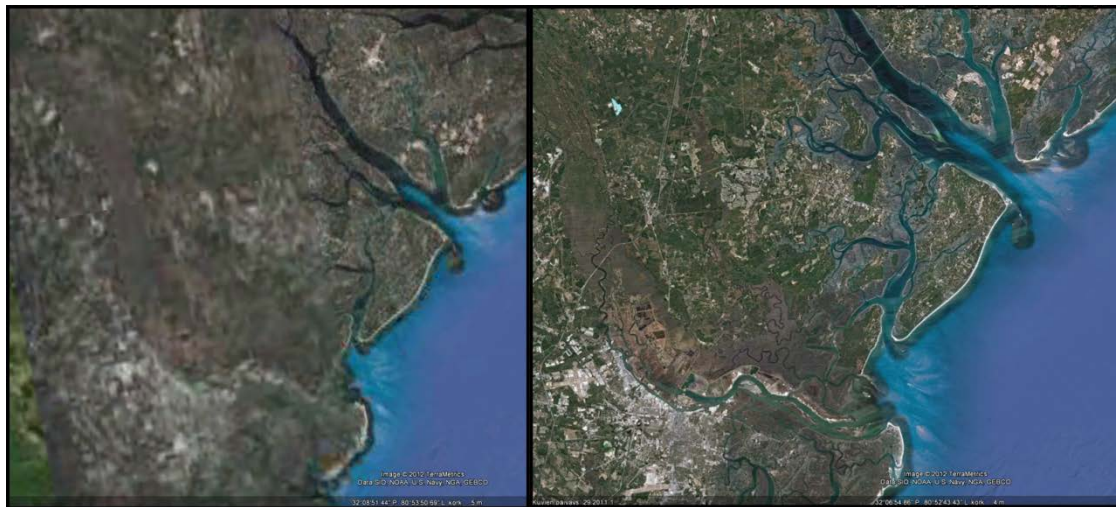
### 2.2.3 Google Earth

Googlen visiona on ollut jo vuodesta 2004 tehdä kokonaan virtuaalinen versio maapallosta. Projekti käynnistyi siten, että Google osti Earthviewerin Keyhole inc. yhtiöltä. Vuonna 2005 projekti nimettiin Google Earthiksi. Tämä maasto on saatavilla ilmaiseksi Googlen palvelimilta. Esimerkiksi juuri SketchUpiin voidaan hakea haluttu kohta maastosta ja sen päälle voidaan sitten mallintaa mitä ikinä halutaankin. (Google Earth. 2012)

Koko maapallon digitalisointi on hyvin haastava projekti, sillä kartoitettavaa pinta-alaa on todella paljon. Tällaisessa projektissa vastaan tulee helposti laitteistojen

suorituskyvyt. Mikäli koko maailmasta ladattaisiin neliömetrin pikselikoolla oleva kuva, veisi sen lataamiseen 10 megabitin nopeudella 69 vuotta. Tämän lisäksi Googlea Earth tarjoaa teksturoituja 3D-talomalleja useista kaupungeista. Koko Google Earthin pinnantason kolmioiden määrä on niin valtava, että sen laskeminen kotitietokoneella olisi aivan liian raskasta. (Butler Declan. 2006)

Tiedon määrän vähentämiseksi Google Earth käyttää liukuvaa LOD järjestelmää maaston kolmioverkossa, sekä tekstuureissa. Kun Googlen karttaa katsotaan kaukaa, ei sen tarvitse näyttää kuin summittainen kuva maanosasta ja kohtuullisen pienipolygoninen pallo ja se näyttää silti uskottavasti maapallosta (Kuva 5). Jotain aluetta tarkennettaessa maaston polygoniverkko jakautuu aina pienempiin osiin, jolloin maasto näyttää aina riittävän tarkalta. Kun esimerkiksi vuoren kohtaa tarkennetaan, hakee ohjelmisto tietopankeistaan kyseisen alueen 3D-maastomallin ja sijoittaa sen maastoon. Kaikki tämä tapahtuu lähes huomaamattomasti ja illuusio kokonaisesta maapallosta säilyy.



Kuva5. Teksturien tarkkuustasoja. Vasemmalla kauempaa katsottava tekstuuri, oikealla zoomatessa tarkentuva tekstuuri

Samantyylinen LOD-käytäntö toimii myös tekstuurien lataamisessa. Kun jotain aluetta tarkennetaan, lataa ohjelma tarkempaa ja tarkempaa ilmakehän aineistoa. Vaikka tällaisella vaiheistuksella saadaan pienennettyä latausaikoja minimiin, on paikkojen selaus silti kaistaa vievää. Siksi Earth tallentaa jo käydyistä kohteista objekteja välimuistiin. Samalle alueelle tultaessa tiedot tulevat välimuistista nopeammin näkyville. Tällöin dataa ei tarvitse siirtää palvelimilta useaan otteeseen ja

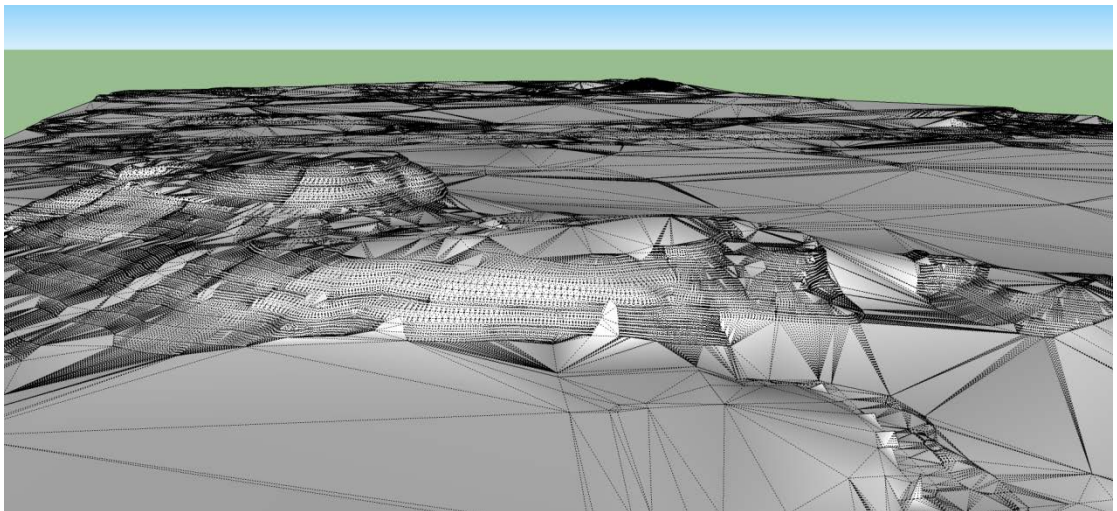


kohteet saa näkyviin huomattavasti nopeammin. (Layton Julia, Strickland Jonathan, Bryant Charles W. 2007)

#### 2.2.4 Korkeuskäyrät

Maastoa on mahdollista mallintaa kaupungin kantakartan korkeuskäyrästä. Joissain tapauksissa CAD kuvien korkeuskäyrät sisältävät jo korkeustiedon. Tämä menetelmä on yksinkertaisimpia menetelmistä saada kaupungin virallista maastodataa SketchUpiin, mutta se vaatii hieman esivalmisteluja. Useat valmistelut tehdään CAD ohjelmassa, mutta joitain vaiheita voidaan tehdä myös SketchUpissa.

Korkeusarvot ( $z$ ) kannattaa muokata oikeisiin lukemiin jo CAD-kuvissa. Tämän jälkeen mahdolliset puuttuvat viivat piirretään käsin ja yksinkertaistetaan tarvittaessa monimutkaisempia muotoja. Korkeuskäyrien määrään kannattaa kiinnittää huomiota. Mikäli tarvitsee esittää vain tasaisesti nouseva mäki, ei SketchUpiin tarvitse tuoda montaa väliviivaa sillä ohjelma osaa laskea mäen muutamastakin korkeusviivasta. (Tal Daniel. 2012) Kuvassa 6. SketchUpiin on tuotu täysin muokkaamatonta korkeuskäyrä aineistoa. Jo nopealla silmäyksellä nähdään, että ohjelma on laskenut todella paljon ylimääräisiä kolmioita mäelle ja siksi kyseinen malli onkin hyvin raskas pyörittää. CAD-viivat voidaan siivota myös Sketchupissa joko piirtämällä ne uudestaan käsin mallin päälle tai esimerkiksi *Simplify Contours* pluginin avulla. (SketchUp Tutorials. 2007)



Kuva 6. CAD-korkeuskäyrästä luotu maasto. Katkoviivat ovat kolmioiden reunoja

Korkeuskäyrissä ilmoitetaan numeroilla metrimäärä, mitä maasto on merenpinnasta. Numeroista voidaan laskea paljonko käyrien korkeusero on. Suomessa käyrien korkeusero on viisi metriä. (Leinonen Matti. 2012)

### **2.2.5 Maanmittauslaitoksen maastodata**

Maanmittauslaitos aukaisi avoimen datapalvelunsa 9.5.2012. Latauspalvelusta saa ladattua ilmaiseksi haluamaansa materiaalia, kunhan sitä on vain olemassa. Tästä latauspalvelusta löytyy muun muassa koko suomen kattava korkeuskäyräaineisto. Tämän aineiston ruutukoko on kymmenen neliömetriä ja korkeustiedon tarkkuus 1,4 metriä. (Maanmittauslaitos 3. 2012) Tarkempaakin aineistoa on tarjolla, mutta se ei kata koko suomea. Tarkemmat tiedot keilatuista alueista löytyy Liitteestä (1). Maastodata ei suinkaan ole valmista kolmioverkkoa suoraan käyttöön, vaan materiaali tulee pistepilvidatana. Tätä informaatiota pitää yleensä muokata jotta varsinaiset käsittelyohjelmat suostuvat pyörittämään sitä. Esimerkiksi koko maan kattava 10m korkeusdata on ladattavissa ainoastaan .XYZ muodossa, joten tämän datan siirtäminen haluttuun editointiohjelmaan vaatii yleensä välivaiheita. Luvussa 3.1 käydään tarkemmin läpi .XYZ datan siirtäminen SketchUpiin.

## **2.3 Rakennusten korkeuden selvittämisen eri menetelmät**

Rakennukset ovat tavallaan toinen vaihe kaupunkimallintamisessa, sillä maaston ja rakennusten mallintaminen ovat kaksi aivan erilaista toimenpidettä. Maastomalli käsittää hyvin paljon erilaisten pistepilvimateriaalien käsittelemistä, kun taas rakennuksia joudutaan tekemään mahdollisesti vielä käsin. Google osti SketchUpin juuri siksi, että heillä olisi ohjelma millä mallintaa rakennuksia helposti ja nopeasti. Kuitenkin rakennusten mallintamiseen on nykyään parempiakin menetelmiä.

### **2.3.1 Pistepilviluokitus**

Aiemmin käsitellyistä laserkeilausdatoista voidaan luokitella dataa siten, että materiaalista voidaan määrittää, mikä on maastoa, mikä rakennuksia, mikä kasvustoa jne. Tämän prosessin pystytään mahdollisesti automatisoimaan siten, että laserkeilausaineistosta muodostetaan kantakartan avulla 3D malli

laatikkorakennuksilla. Rakennusten pinnoille pystytään projisoimaan jopa tekstuurit keilauksen mukana tulleista ilmakuvista. Kuitenkin tähän kykenevät ohjelmistot ovat kalliita ja siksi työ tilataan yleensä tähän erikoistuneilta yhtiöiltä valmiina mallina. Google panostaa nyt täysin automatisoituun kaupunkimallin tekoon. (Allen Vanessa. 2012)

### **2.3.2 Rakennusnumerointi**

Seuraava menetelmä ei sovellu kovinkaan tarkkaan mallintamiseen, sillä tietokannoissa ei ole rakennusten tarkkaa korkeutta, vaan niiden kerroslukumäärä. Kuitenkin useassa tapauksessa taloista tarvitaan vain summittainen korkeus. Tällaisissa tilanteissa kerroslukumääräkin riittää korkeuden määrittämiseen. Maanmittaustoimiston digitaalisten aineistojen latauspalvelusta on saatavilla rakennustietokanta. Siinä kuvataan niin rakennukset, ilmaradat, vesitornit, lähestymisvalot ja kellotapulit, kuin pistolaiturit, savupiiput, muistomerkit, mastot sekä tuulimootorit. Tietokantaa pyritään päivittämään 5-10 vuoden välein ja joissain kunnissa päivitys tapahtuu vuodenkin välein. Tietokannassa erikorkuisilla rakennuksilla on oma identiteettikoodi ID. Tällä koodilla pyritään luokittelemaan rakennukset siten, että luokitusta voidaan käyttää hyväksi eri tarkoituksissa. Esimerkiksi omakotitalot, missä on kaksi kerrosta saa tietokannassa ID:n 42111, mikä on käsitteenä "Asuinrakennus 1-2 krs." (Maanmittauslaitos 4. 2012) Mikäli nämä ID:t saadaan integroitua kaupunkimalliin, voidaan katselusovelluksessa pyytää ohjelmaa näyttämään kaikki rakennukset tällä kyseisellä ID:llä. Näin saadaan yhdellä komennolla näkyviin kaikki asuinrakennukset, missä on 1-2 kerrosta. Samalla menetelmällä saadaan rakennuksille annettua korkeusarvot. Saman ID:n sisältäville rakennuksille voidaan esimerkiksi määrittää keskimääräinen korkeus ja nostaa kaikki yhdellä kertaa oikeisiin korkeuksiin ja projekti nopeutuu huomattavasti.

Toinen samantyyppinen rakennusluokittelu on kantakartassa oleva kerrosnumerointi. Kerrokset esitetään roomalaisilla numeroilla ja ne ovat mahdollisesti määritelty jopa rakennuksen eri osille. Tämä lähestymistapa on SketchUpilla mallintaessa kätevämpi lähestymistapa, sillä kerrosten määrä näkyy suoraan kartalta eikä tarvitse katsella karttaselitteistä eri rakennuksien tai rakennusten osien tunnuksia. Huonona puolena rakennuksia ei saa nostettua automaattisesti vaan työ on tehtävä käsin.

Kolmas mahdollinen tapa selvittää rakennusten kerrosten lukumääriä on Google Streetview. Kun tiedetään missä talo sijaitsee, voidaan Streetwievissä navigoida kyseisen talon luokse ja arvioida talon korkeus. Näin saadaan myös selville onko rakennus liike, vai asuinrakennus. Liikerakennusten keskimääräinen kerroskorkeus on suurempi kuin asuin tai toimistorakennusten kerroskorkeudet. (Elementtisuunnittelu. 2010)

Absoluuttisia tällaiset arvot eivät ole, mutta kuitenkin tyhjää parempi. Tällä menetelmällä saada edes jonkinlainen käsitys rakennuksien korkeuksista ja ne voidaan nostaa lähelle oikeita korkeuksia. Kerrosluvut tietäen ei siltikään voi olla täysin varma rakennuksien korkeuksista. Eri rakennuksilla voi olla nimitäin eri kerroskorkeudet. Lisäksi esimerkiksi liikerakennuksen kerroskorkeus on paljon suurempi, kuin asuinrakennuksen tai vaikkapa toimistorakennuksen. Suomessa omakotitalon kerroskorkeudet vaihtelevat 2,8 metristä jopa 3,2 metriin. Toimistorakennusten kerroskorkeudet ovat yleensä väliltä 3,3 - 3,9 metriä. Liikerakennuksissa korkeudet ovat välillä 4,2 - 4,8 metriä. (HB-Betoni. 2012)

## **2.4 Sovellusohjelmistot**

Sovellusohjelmistot ovat sellaisia 3D-mallinnusohjelmistoja, joilla voisi tarvittaessa tehdä kaupunkimalleja. Seuraavaksi käydään läpi varta vasten kaupunkien mallintamiseen valmistettuja ohjelmistoja, kuten myös arkkitehtiohjelmistoja ja yleisiä 3D-mallinnusohjelmistoja. SketchUp käydään tarkemmin läpi, sekä tutkitaan sen soveltuvuutta kaupunkimallinnukseen.

### **2.4.1 SketchUp**

SketchUpin kehitti vuonna 2000 @Last niminen firma. Kehityksen taustaideana oli visio mallinnusohjelmasta, joka olisi tehokas, mutta helppo oppia ja nopea käyttää. Julkaisuvuotenaan SketchUp voitti DigitalCAD Community Choice palkinnon. Tästä lähtien yleisön huomio alkoi kiinnittyä tähän ohjelmistoon. Googlen huomio kiinnittyi, kun yhtiöt tekivät yhteistyötä luomalla SketchUpiin lisäosan, millä julkaista mallit suoraan Google Earthissa. (Nath Debarati. 2011) Lopputuloksena Google osti SketcUpin @Lastilta vuonna 2006. (Donley Matt. 2011) Kuitenkaan SketchUp ei jäänyt Googlen omistukseen pitkäksi aikaa. Kesän 2012 aikana Google ilmoitti, että

aikoo myydä ohjelmistonsa paikkatietoyritys Trimblelle. SketchUpin ilmaista versiota käyttäneille tämä on voinut olla huolta aiheuttanut uutinen, sillä ennen Googlen omistajuutta SketchUp oli maksullinen ohjelma. Nyt jälleen omistajan vaihduttua ilmaisen version jakelu on vaakalaudalla. Kuitenkin Trimble on ilmoittanut, että aikoo jatkaa ilmaisen version levittämistä jatkossakin. (Why did Trimble buy SketchUp, and why did Google sell?. 2012)

Google myi SketchUpin siksi, ettei heillä ole sille enää käyttöä. Samalla Trimble ilmaisi kiinnostuksensa SketchUpin ostamisesta. SketchUpin korvasi selaimessa toimiva Building Maker. Tämän lisäksi Google on panostanut automaatioon 3D-kaupunkien luomisessa. Google onkin ostanut sotilastason lentokoneita ja varustanut ne laserkeilauslaitteistolla, sekä todella tarkoilla kameroilla. Tarkoituksena olisi saada automatisoitua maapallon 3D mallintaminen lähes kokonaan. Mikäli Google varustaa Streetview-autot samalla teknologialla voidaan nämä kaksi menetelmää yhdistää. Tällöin saataisiin niin katutasosta, kuin ilmastakin kerättyä materiaali 3D-maailman tekemiseen. Vaikka laitteisto on jo käytössä suurimmissa kaupungeissa, on epäselvää milloin tällainen kalusto saapuu skannaamaan Suomea. Halutessaan SketchUpia voi kuitenkin vielä käyttää talojen tekemisessä Google Earthiin. (Allen Vanessa. 2012)

SketchUpin toimintaperiaate vastaa hieman piirtämistä ja hieman perinteistä mallintamista. 3D-muotoja saadaan aikaan piirtämällä ääri viivoja, joiden väliin ohjelma osaa luoda pintoja. Menetelmä kuulostaa yksinkertaiselta ja sitä se onkin, mutta luovasti käyttäen tällä menetelmällä saa oikeastaan mitä vain aikaiseksi. Lisäksi SketchUpin laaja käyttäjäkunta on poikinnut hyvin kattavan lisäosakirjaston, minkä avulla voi saada yhtä ammattimaista jälkeä, kuin kaupallisillakin ohjelmistoilla. SketchUp on edukseen juuri rakennusten mallintamisessa. CAD-kuvien tuonti ja niiden tehokas hyödyntäminen SketchUpissa tekee niiden pohjata mallintamisesta nopeaa ja mielekästä. Lisäksi viivojen piirtäminen ja siirtäminen käsin luo mallintamiseen itse tekemisen tunteen, mikä tekee mallintamisesta mielekästä. SketchUpiin on myös hyvin monta helposti omaksuttavaa opetusvideota niin YouTubessa, kuin SketchUpin omilla nettisivuillakin. Liitteessä 2 on demonstraatio yhden talon mallintamisesta.

Vaikka Sketchup pystyykin monipuolisesti mallintamaan vähän mitä vain, niin kaikkeen siitä ei ole. Maaston muotojen on tiedetty toimivan kohtuullisen huonosti

Sketchupissa. (Tal Daniel. 2012) Pistepilvien tuontiin on ladattava lisäosa ja silloinkin pisteluku on korkeimmillaan kymmeniä tuhansia. Myös työvaiheessa maastojen huomattiin toimivan hyvin kankeasti.

#### **2.4.2 Kaupunkimallinnusohjelmistot**

Kaupunkimallintamiseen on olemassa ohjelmistoja, jotka on kehitetty nimenomaan sitä tarkoitusta varten. Tällaisia ohjelmistoja on muun muassa Esri City Engine mikä on yhteensopiva ArcGis karttaohjelmiston kanssa. Esrin ohjelmiston kilpailijoita on Novapointin Virtual Map jolla myös Mikkelin alue on mallinnettu kertaalleen, sekä Autodesk Infrastructure Modeler.

Esri City enginellä voi tehdä 3D maisemia kaupunkikuvaan, sekä luoda mielikuvituskaupunkikuvia erilaisien parametrien avulla. Lisäksi ohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden näyttää 3D malleja suoraan selaimessa. Dataa voidaan luokitella omien tarpeiden mukaan. Esimerkiksi uudisrakennussuunnittelussa voidaan tehdä alue, missä yhdellä tasolla on vanha kaupunkikuva ja uusi saadaan napin painalluksella esille. Tämän lisäksi on mahdollista julkaista kaupunki suoraan Google Earthiin oman palvelimen kautta. Näin tehtynä alustavan 3D kaupungin saa näkyviin jopa parissa päivässä monen viikon tekemisen sijaan. (Esri City Engine. 2012)

Suomessa yleisesti käytetty Novapoint Virtual Map tarjoaa hyvin paljon samanlaisia ominaisuuksia. Paketissa on sketch-toiminto, millä voidaan mallintaa nopeasti raakasuunnitelmia ja työkaluja tämän idean jatkojalostukseen aina hienosäätöön asti. (Novapoint Virtual Map. 2012) Muun muassa Mikkeli, sekä Tampereen Vuoreksen alue on mallinnettu Virtual Mapilla. Vuoreksen alueen virtuaalimalli toimi suunnittelupohjana alueelle. Kun kaupunginosa suunnitellaan Virtual Mapilla, voidaan suunnitelma muuttaa suoraan 3D-malliksi ja näin saada helposti visualisointeja tulevasta alueesta. Lisäksi tällainen suunnittelu tuo säästöjä infrarakentamiseen, sillä mahdolliset virheet ja epäkohdat voidaan huomata ja korjata jo mallinnusvaiheessa. (Nummi Henna. 2012)

Autodesk on lähtenyt kaupunkimallinnusohjelmistokisaan ostamalla 3D Geo GmbH:n Land eXplorer kaupunkimallinnusohjelmiston. Tämä ohjelmisto on nimetty Autodesk Infrastructure Modeleriksi. Tämä ohjelmistopaketti on hyvin monipuolinen ja sisältää

niin olemassa olevan kaupunkikuvan mallintamista, kuin uusien ideoiden luonnostelemista ja näyttämistä rinnakkain samassa kaupunkimallissa. Lisäksi Infrastructure Modeler on yhteensopiva muidenkin Autodeskin tuotteiden kanssa. (Autodesk Infrastructure Modeler. 2012)

### **2.4.3 Arkkitehtuuriohjelmistot**

Kaupunkimalleja voidaan tehdä myös arkkitehtuurisesta näkökulmasta. Arkkitehtuuriohjelmistot ovat pääsääntöisesti suunniteltu rakennuksen tai pihamaan suunnitteluun, mutta nykyään nämä ohjelmistot käsittelevät kaupunkienkin kokoisia suunnitteluprojekteja. Tällaisia ohjelmistoja ovat esimerkiksi Archicad, Autodeskin Revit, sekä Home Designer.

Archicad on suunnitteluohjelmisto rakennusten pohjapiirroksille. Nykyään taloa suunniteltaessa pelkät pohjapiirrokset riittävät harvoin asiakkaalle. Siksi lähes kaikki rakennussuunnitteluohjelmistot osaavat muodostaa 3D-kuvaa tehdyistä piirustuksista. Archicad ei tällä saralla ole poikkeus, vaan ohjelmiston käyttö on levinnyt pohjapiirrosten tekemisestä myös rakennuksen visualisointiin. (Micro Aided Design. 2012)

Autodesk Revit on hyvin samantyylinen ohjelmisto. Kuten ohjelmistotalo sivuillaan mainostaa: "Autodesk® Revit® on erityisesti tietomallinnukseen kehitetty ohjelmisto, jonka avulla rakennusalan ammattilaiset suunnittelevat, rakentavat ja ylläpitävät korkealaatuisempia, energiatehokkaampia rakennuksia." (Autodesk Revit. 2012) Revitillä voi suunnitella niin talotekniikkaa, rakenteita, kuin kokonaisia rakennuksia.

Home Designer on enemmän omakotitalojen visualisointiin tarkoitettu työkalu, mutta sillä saa tehtyä myös rakennussuunnitelmia. Home Designerillä voi tehdä sisustussuunnitelmia rakennuspiirustuksiin sekä rakentamisen kustannusarviointeihin. (Chief Architect. 2012)

### **2.4.4 Perinteiset 3D-mallinnusohjelmistot**

Perinteiset mallinnusohjelmistot tarkoittavat sellaisia ohjelmistoja, joiden päätarkoitus on tuottaa 3D-malleja. Kohde voi olla joko olemassa oleva tai täysin mielikuvituksen

tuotetta. Nämä ohjelmistot ovat ajan myötä laajentuneet kattamaan erilaisia ominaisuuksia, kuten hahmojen animointia, renderöintiä, fysiikanmallinnusta jne. Seuraavaksi käsitellään muutama tunnetuimmista 3D-mallinnusohjelmistoista.

Perinteisistä 3D mallinnusohjelmistoista ehkä tunnetuin on Autodeskin omistama 3ds Max editori. Tämä ohjelma on tavallaan sekoitus hieman kaikkea 3D mallintamisen saralta. Pakettiin kuuluu muun muassa tehokas Mental Ray renderöintimoottori, hahmon animointityökaluja, 3D mallintamistyökaluja, sekä paljon muuta. 3ds Max on myös yhteensopiva esimerkiksi Adobe After Effectsin kanssa. (Autodesk 3ds. 2012)

Blender on 3ds Maxin haastaja. Blender tarjoaa oikeastaan kaikki samat ominaisuudet, kuin 3ds Max. Erona on se, että Blender on avoimeen lähdekoodiin perustuva ja siksi täysin ilmainen mallinnusohjelma. (Blender. 2012) Avoimesta lähdekoodista on hyviä, sekä huonoja puolia. Hyvänä puolena on ilmaisuus, mutta vastapainona tulee monimutkaisempi käyttöliittymä, mikä voi olla aloittelevalla mallintajalle sekava. Kyseinen arviointi on tosin vuodelta 2008 eikä ohjelmaa tässä opinnäytetyössä testattu, joten väitteen paikkaansa pitävyyttä kannattaa kyseenalaistaa. Luultavasti käyttöliittymää on paranneltu näiden neljän vuoden aikana. (CNET Staff. 2008)

SketchUp on käyty jo aiemmin, vaikka se kuuluu perinteisten 3D-mallinnusohjelmistojen kategoriaan. SketchUpin seuraaja talojen mallintamisessa on Building Maker. Building Maker toimii siten, että aluksi käyttäjälle tarjotaan eri kuvakulmista otettuja ilmakuvia valitusta rakennuksesta, minkä päälle käyttäjä projisoi rautalankamallia (engl. *wireframe*) rakennuksen muodoista. Rautalangan nurkat määritellään rakennusten nurkkiin, jolloin ohjelma laskee kuvista miten tekstuuri projisoidaan palikoiden sivuille. Kun yhteen kuvaan on piirretty tarpeelliset geometriat oikein, vaihdetaan kuvaa. Tämä toistetaan vähintään kahdessa, suositeltavasti kuudessa eri kuvakulmassa, jolloin rakennusten muodot tarkentuvat mahdollisimman hyvin. Tällä tavalla tehtynä taloja saa tehtyä nopeammin, kuin SketchUpilla piirrettäessä ja teksturoitaessa. Lisäksi kuvat ovat automaattisesti fotorealistiset. Ongelmaton Building Maker kuitenkin ei ole. Building Makerin tekniikka vaatii toistuvaa pisteiden siirtoa ruudulla, mikä tuntuu pidemmän päälle varsin puuduttavalta. Lisäksi kartan selaaminen sopivaa rakennusta etsittäessä raskauttaa selainta yllättävän paljon.



3D-mallinnusohjelmistot eivät välttämättä rajaudu pelkästään monipuolisiin mallinnusohjelmistoihin tai ohjelmistokokonaisuuksiin. On olemassa monia ohjelmia, jotka on tehty hyvinkin erikoistuneita tarpeita varten. Tästä esimerkkinä MeshLab mikä on yksinomaan kolmioverkon muokkaamista varten valmistettu ohjelma. Ohjelma koodattiin Pisan yliopiston tietokonetieteiden laitoksella vuonna 2005 ja siihen on sitä mukaa lisätty erinäisiä ominaisuuksia yhteisövoimin. Uusin ohjelmistoversio on päivitetty Elokuun 3. päivä 2012. MeshLabissa on monia erilaisia parametreja, millä voi muokata jo olemassa olevia pistepilvi, tai kolmioverkkomateriaaleja. Ominaisuuksia on muun muassa tässäkin työssä käytetty kolmioverkon yksinkertaistaminen (*Quadric edge collapse decimation*), reiän täyttöalgoritmi, kohinan poisto (*noise removal*), jne. Tämäkin ohjelmisto on vapaaseen lähdekoodiin perustuva ja alkuun hyvin sekavan oloinen. Tällä ohjelmistolla ei voi tehdä mallinnusta, vaan pääkäyttötarkoitus on valmiin materiaalin jatkoeditointi. MeshLab on erinomainen maastodatan käsittelyssä ja siksi tässäkin projektissa hyvin tarpeellinen työkalu. Tämä ohjelmisto hyväksyy laajojakin pistepilvimateriaaleja ja pystyy muokkaamaan niistä muissa ohjelmistoissa toimivia kolmioverkoja. MeshLab käydään tarkemmin läpi luvussa 3.1. (MeshLab. 2012)

### 3 SATAMALAHDEN ALUEEN MALLINNUS

Mikkelissä on käynnissä Satamalahden alueen arkkitehtikilpailu, minkä tavoitteena on saada Satamalahden alueesta moderni ja viihtyisä lisä Mikkelin keskustalle. Tämä opinnäytetyö tehdään toimeksiantona Miktech Oy:lle sekä Mikkelin Kaupungille. Työn tavoitteena on saada kevyt pohjamalli Mikkelin kaupungista myöhempiin demonstraatiotilaisuuksiin, sekä mahdollisesti luoda pohja virallisempaa kaupunkimallia varten. Työ tehdään Trimble Sketchup mallinnusohjelmalla. SketchUp ohjelmaan päädyttiin siksi että se on etevä karttaohjelmistojen, raskaiden 3D-kaupunkiohjelmistojen, sekä arkkitehtiohjelmistojen välimaastossa oleva 3D-mallinnustyökalu. Tämän lisäksi SketchUpin yksinkertainen käyttöliittymä, monipuoliset lisäosat (engl. *plugin*), sekä datan esittäminen Google Earthissa tekevät siitä ideaalin työvälineen kyseiseen projektiin. Työn tavoitteena on tehdä yleispätevä maastoalue kaupungin kantakarttajaolla ja liittää sen päälle alustavasti kohtuullisen alhaisen LOD-tason rakennuksia. Mallinnusalue käsittää aluksi Mikkelin keskustan, sekä sen vieressä olevan Satamalahden alueen. Mikkelin keskusta-alueen mallintaa sekä teksturoi Ville Pekkanen, joten tässä työssä voidaan keskittyä maasto- sekä

taajama-alueisiin. Työ on onnistunut siinä vaiheessa, kun sen tuloksia voidaan käyttää tausta- ja pohjamateriaalina eri tulevaisuuden rakennussuunnitelmille ja niiden visualisoinneille.

Lyhykäisyydessään työprosessi jakautuu teoriaosuudessakin ilmoitettuun kahteen osaan. Ensimmäinen osa on hankkia dataa Satamalahden alueen maastosta ja muokata sitä siten, että se toimii SketchUpissa. Näitä maastopalasia joudutaan tekemään monta, sillä mallinnettava alue on niin laaja, ettei maasto tule pyörimään kokonaisuudessaan SketchUpissa. Maastopalaset pyritään kuitenkin editoimaan siten, että tarvittaessa ne voidaan liittää yhteen. Tällöin kartta-alueiden reunoille jäävät alueet voidaan tarvittaessa visualisoida.

Seuraava vaihe on Satamalahden alueen talojen mallintaminen. Tämä työprosessi on luultavasti aikaa vievin osa projektia, sillä talot pitää mallintaa käsin. Talot pitää ensin piirtää pohjapiirroksista (engl. *footprint*). Tämän jälkeen jokaisen talon korkeus pitää selvittää ja nostaa erikseen oikeaan korkeuteen. Lopuksi harjakattoisille taloille mallinnetaan harjat, sekä seiniin ja kattoihin liitetään tekstuurit. Mikäli aikaa vielä on jäljellä, voidaan maastopalasille liittää Maanmittauslaitokselta saatava ilmakehän kuva siten, että tämä tekstuuri liittyisi saumattomasti viereisten maastopalasten kanssa. Viimeinen työprosessi on laskea talot maaston pinnalle. Talot lasketaan joko siten, että ne ovat hieman maaston sisässä, tai että maastosta nostetaan talon pohjapiirroksen muotoinen alue talon pohjaksi.

### **3.1 Maastodatan siirtäminen editointiohjelmaan**

Aivan ensimmäinen työprosessi on maastodatan lataaminen Maanmittauslaitoksen latauspalvelusta, sekä tämän aineiston siirtäminen MeshLab ohjelmaan. Seuraavaksi MeshLabissa materiaalille tehdään kolmioverkon karsiminen sekä alueen rajaaminen. Rajauksen jälkeen materiaali tallennetaan sellaiseen muotoon, että se voidaan aukaista SketchUp editointiohjelmassa. Meshlabin ja Sketchupin välillä voi käyttää useita eri datamuotoja, mutta tässä työssä esitellään vain kaksi eri mahdollisuutta.

#### **3.1.1 Latauspalvelun käyttö**

Maanmittauslaitoksen nettisivuilla olevasta latauspalvelusta voi ladata haluamansa alueen korkeuspistepilvimateriaalin. Aikaisemminkin mainittu 10m<sup>2</sup> ruutukoon korkeustietomalli kattaa koko suomen. (Maanmittauslaitos 3) Lisäksi palvelu on täysin ilmainen, eli halutessaan kuka vain voi hakea datan itselleen. Palvelu löytyy "Aineistot ja palvelut" linkin alta. Kun latauspalveluun on päästy ja oikea alue on saatu kartalle, valitaan vasemmassa laidassa olevasta listasta haluttu data. Tässä tilanteessa haluttu data on *Korkeusmalli 10m<sup>2</sup>*. Kun haluttu data on valittu, näyttää palvelu kartalla kyseisen formaatin karttajaot. Nämä karttajaot vaihtelevat formaattien mukaan. Vasemmassa alareunassa näkyy myös kyseisen aineiston tiedostomuoto, sekä koordinaatisto. Näihin kannattaa kiinnittää huomiota, sillä vääränmuotoisen datan kanssa voi tulla odottamattomia ongelmia. Testitilanteessa tarjolla on vain Ascii .XYZ tiedostomuoto *etrs-tm35fin* koordinaatistossa, joten valinnanvaraa ei ole.

Kun oikeat tiedostomuodot ja koordinaatistot on valittu, siirretään halutut datat tilausjonoon yksinkertaisesti valitsemalla kartalta haluttuja alueita. Testitapauksessa tilattiin alueet *M5221F*, sekä *M5221E*. Palvelu ilmoittaa oikealla latauslistassa, mitkä alueet on valittu. Kun lista on valmis, valitaan oikealta *tee lataustilaus* painike ja hyväksytään listassa näkyvät latausnimikkeet. Tämän jälkeen palvelu kysyy nimeä, organisaatiota ja sähköpostiosoitetta. Nämä täytettyään, voi palata takaisin latauspalveluun. Latauspalveluun annettuun sähköpostiosoitteeseen tulee viesti, joka sisältää linkin mistä aineistot voidaan ladata.

### 3.1.2 Tiedostomuodon vaihto

Aineiston voisi olettaa aukenevan suoraan MeshLabissa. Valitettavasti näin ei ole, vaan data tulee väärässä tiedostomuodossa, jonka takia MeshLab ei aukaise sitä oikein. Data aukeaa kyllä, mutta ruudulla näkyy vain valtava pistepilvimatto. Data tarvitaan kolmioverkkona, jotta siihen voidaan lisätä halutut suotimet (engl. *filters*). Meshlabin pitäisi kysyä automaattisesti pistepilveä tuotaessa sen kolmioinnista, mutta ohjelma vain tuo materiaalin kysymättä kolmioimattomana käyttöön. Tämä johtuu siitä että ladatut tiedostot tulevat muodossa .XYZ. Meshlab ymmärtää tämän datan jo valmiiksi kolmioituna, eikä sen takia kolmioimista kysy. Data pitää saada tuotua ohjelmaan muodossa .asc (*ascii triplets of points*). Tiedostonimen loppupääte pitää siis muuttaa oikeaksi. Ennen kuin loppupäätteitä käy muuttamaan, kannattaa tehdä varmuuskopio ladatuista materiaaleista. Pääteen voi muokata suoraan nimeämällä

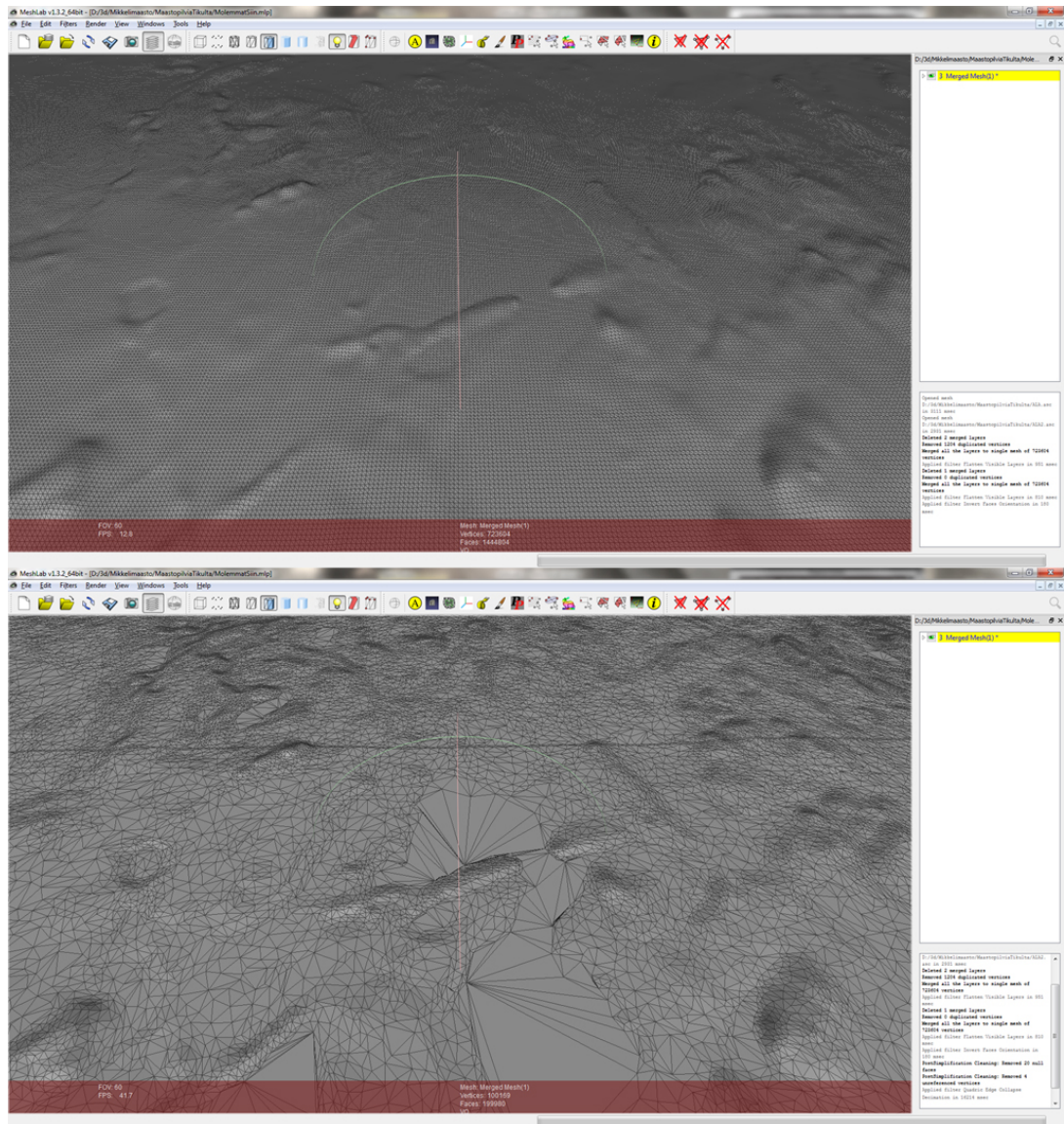
tiedostomuodon oikeaksi. Mikäli tiedostomuoto ei näy nimien lopussa, pitää ne laittaa näkyville. Tiedostomuodot saadaan näkyviin Windows 7:ssä menemällä valikkoon *Organize* -> *Folder and search options* ja valitsemalla *view* välilehden. Klikkaamalla pois rastin ruudusta *Hide extensions for known filetypes* tiedostomuotojen loput tulevat näkyviin ja kopioitujen .XYZ tiedostojen loppupääte voidaan muuttaa muotoon .ASC.

MeshLabissa voidaan nyt etsiä pelkästään .ASC tiedostopäätteitä, jolloin ohjelma löytää vain juuri muokatut tiedostot. Tiedostoja tuotaessa ohjelma kysyy, montako otsikkoriviä tiedostoista tulee olla ottamatta huomioon (engl. *ignore*). Jotkut materiaalit tulevat siten, että tekstitiedostoissa on otsikko ja mahdollisesti selitys datasta. Tällöin selitysrivit kannattaa laskea ja ilmoittaa MeshLabille niiden määrän. Näin ohjelma hyppää näiden rivien yli, eikä dataan tule virheitä. Testitapauksessa varsinaiset pistetiedot alkavat suoraan ensimmäiseltä riviltä, joten kysymyslaatikkoon voidaan syöttää arvo 0. Samassa valikossa on *Grid* valintalaatikko joka määrittää sen, kolmioiko ohjelma suoraan tuomansa datan vai ei. Tämä oli se valikko, jonka takia koko tiedostomuotopäätteen vaihto-operaatio piti tehdä. Kun valinnat hyväksytään, tietokone laskee kolmioverkon pisteiden väleihin ja tuo datan ruudulle.

### 3.1.3 Aineiston muokkaus Meshlabissa

MeshLabiin latautuessa aineisto näyttää mustalta suorakulmiolta. Tämä johtuu siitä, että ohjelma laskee ulkopuolelle näkyvän tason (engl. *face*) väärälle puolelle. Kolmioinnin oikean puolen voi kääntää oikeinpäin menemällä valikossa kohtaan: *Filters* -> *Normals, Curves and Orientation* -> *Invert Faces Orientation*. Painiketta klikkaamalla saadaan lisävalikko, missä kysytään lisämäärytyksiä. Tässä tapauksessa ne voidaan ohittaa. Huomataan, että vain puolet alueesta on vaihtanut pinnan normaalin oikeinpäin. Tämä johtuu siitä, että ohjelmaan toi eri tiedostot eri tasoille eivätkä ohjelman muutokset vaikuta kuin yhteen tasoon kerrallaan. Toinen taso saadaan vaihtamaan puolta tekemällä siihen sama toiminto. Tason saa valittua laittamalla *layer*-valikosta se näkyviin. Toinen vaihtoehto on yhdistää molemmat tasot yhdeksi isoksi kokonaisuudeksi. Tasot yhdistetään valitsemalla *layer*-valikosta jompaakumpaa tasoa hiiren oikealla painikkeella ja valitsemalla *Flatten visible layers*. Mikäli *layer*-valikossa on enemmänkin tasoja niin ne kannattaa sulkea pois näkyvistä, ellei niitä halua yhdistää.

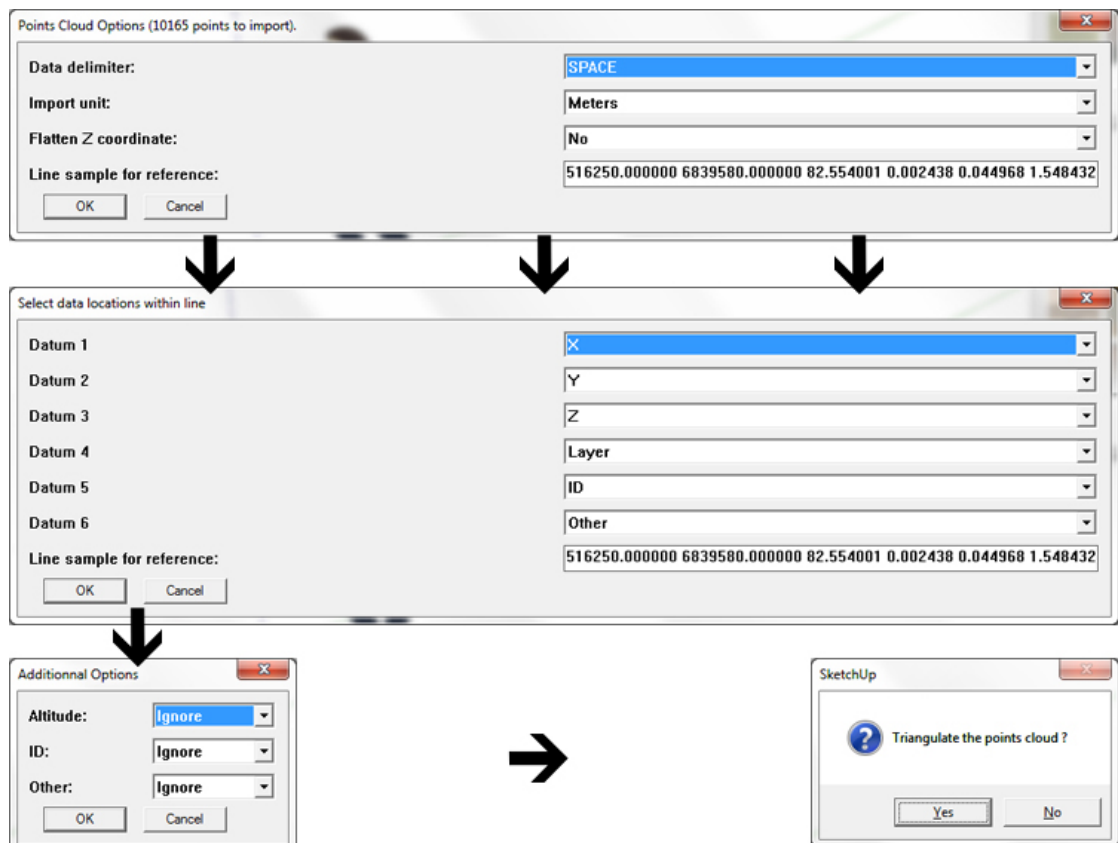
Kun molempien karttatasoje kuva on saatu oikein päin, muokataan karttalehdistä halutun kokoinen. Testiversiossa tämä työvaihe hoidettiin maalaamalla alue summittaisesti oikeankokoiseksi ja poistamalla muu data. Tarkempi rajaaminen tapahtui SketchUpissa. Kun alue on saatu rajattua, käydään suodinvalikosta lisäämässä *Quadric Edge Collapse Decimator*. Tämä suodin vähentää kolmioverkon kolmioiden määrää haluttuun lukuun. Algoritmi, millä kolmioita vähennetään ottaa maaston muodot huomioon. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että esimerkiksi vuoren juuressa on paljon enemmän kolmioita ilmaisemassa kaartuvaa pintaa, kuin tasaisemalla kohdalla maastoa. Suotimen valitseminen nostattaa lisävalikon missä voidaan määrittää joko arvo lukujen 0 - 1 väliltä, minkä perusteella ohjelma hoitaa kolmioverkon muokkaamista. Toinen tapa on kirjoittaa toivottu määrä kolmioita minkä verran dataan pitäisi jäädä. Kun oikeat parametrit on annettu, painetaan *apply* ja kone laskee alueen kolmioinnin halutun kokoiseksi. Kuvassa 7 kuvataan kolmioverkon uudelleenlaskemisprosessin vaikutus. Ylemmässä kuvassa kolmioita on 1 444 804, jonka jälkeen *Quadric Edge Collapse Decimator* ajettiin. Suotimelle annettiin halutuksi kolmiomääräksi 200 000 kolmiota. Alemmassa kuvassa on laskettu tulos. Kolmioiden määräksi tuli 199 980. Varsinaiseen SketchUpiin siirrettyyn maastopalaseen jäi vajaa 50 000 kolmiota.



Kuva 7. Kolmioverkon muokkaus MeshLabissa

Jäljellä on enää maastopalasen siirtäminen takaisin SketchUpiin. Tämä tapahtuu joko tallentamalla maapala .obj tiedostoksi ja hankkimalla SketchUpiin .obj tuoja (engl *importer*), tai vastaava .XYZ tiedostomuodolle. Testiversio siirtyi todella huonosti objektimuodossa, joten työssä nähtiin se lisävaiva että yksinkertaistettu kolmioverkko siirrettiin ensiksi takaisin .XYZ koordinaateiksi. Tämän jälkeen koordinaattipisteet koottiin SketchUpissa uudestaan kolmioverkoksi .XYZ import lisäosalla. SketchUp joutuu pelkän kolmioverkon lataamisen sijaan laskemaan pisteiden väliin kolmiot uudestaan. Koska SketchUpia ei ole varsinaisesti tehty tällaisia prosesseja varten, menee verkon laskemiseen kohtalaisen paljon aikaa. Testiversiossa todettiin kuitenkin .XYZ tiedostomuodon olevan .obj muotoa toimivampi ratkaisu.

.XYZ datan tuonti tapahtuu siten, että ladataan XYZ import lisäosa (engl. *plugin*) ja asennetaan se. Import plugin näkyy SketchUpin *File* valikossa *Points Cloud* kohtana. Data tuodaan valitsemalla *Points Cloud* kohdasta *Import* ja valitsemalla editointiavaruudesta kohta, mihin pistepilvi tuodaan. Yleensä pistepilvi kannattaa tuoda suoraan suuntaviivojen keskiöön (engl. *origo*). Kun pistepilvidatan paikka on määritetty, valitaan tuotava tiedosto. Tiedoston valitsemisen jälkeen ilmestyvät lisävalikot, missä kysytään pistepilven muoto, sekä mitä arvoja datasta tuodaan. Kuvassa 8 on kysymysvalikot. Ensimmäinen valikko kysyy koordinaattipisteiden jakajan, mittayksikön, z-arvon tasauksen, sekä näyttää esimerkin yhdestä pistepilvidatan rivistä.

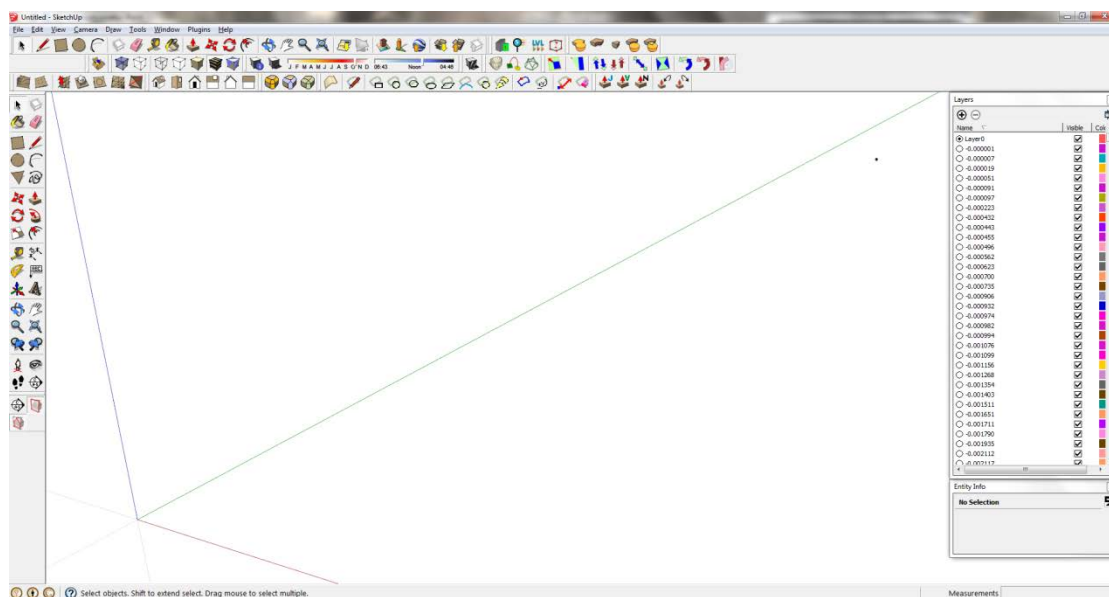


Kuva 8. XYZ importerin lisävalikot

Testiversion pistepilvidatan jakajana toimi väli, joten ensimmäiseen valikkoon valitaan SPACE. Toinen rivi kysyy mittayksikköä. Mittayksikkö oli testiversiossa metri, joten valitaan metrit. Kolmannella rivillä kysytään, Z arvojen nollaamista. Z arvo on juuri se korkeusarvo, mitä tarvitaan joten valitaan *No*. Painamalla OK painiketta päästään seuraavaan valikkoon. Tässä valikossa ei ollut testityöhön mitään tarpeellista muutettavaa, joten valitaan uudestaan OK. Eteen tulee kolmas valikko,

missä kysytään lisävalintoja korkeuteen, tunnuksiin ja muihin arvoihin. Tämänkin valikon voi ohittaa painamalla OK. Nyt ohjelma alkaa tuomaan pistepilvimateriaalia. Tässä prosessissa voi kestää pitkään, joten kannattaa olla kärsivällinen. Kun data on viimein laskettu, kysyy ohjelma juuri tuodun datan kolmioimista. Tähän kannattaa valita kyllä, sillä juuri kolmiomateriaali on se, mitä tässä työssä tarvitaan. Datan kolmiointi kestää hieman kauemmin kuin pelkän pistepilvimateriaalin tuonti, mutta lopulta materiaalin laskenta on valmis. Välittömästi datan laskemisen jälkeen kannattaa tallentaa tiedosto, sillä mikäli SketchUp kaatuu, katoaa kaikki tähän asti lasketettu data.

Datan tuotuaan SketchUp tekee automaattisesti *Zoom Extents* toimenpiteen jonka seurauksena ruudulla näkyy kaikki siellä oleva data. Kuvassa 9 on juuri laskutoimitusten jälkeen näkyvä tilanne. Ruutu on lähes kokonaan tyhjä. Vain oikeassa yläkulmassa näkyy pieni piste. Tämä piste on juuri laskettu pistepilvidata. Data näyttää pisteeltä, sillä se on hyvin kaukana vasemmassa alalaidassa näkyvästä origosta.

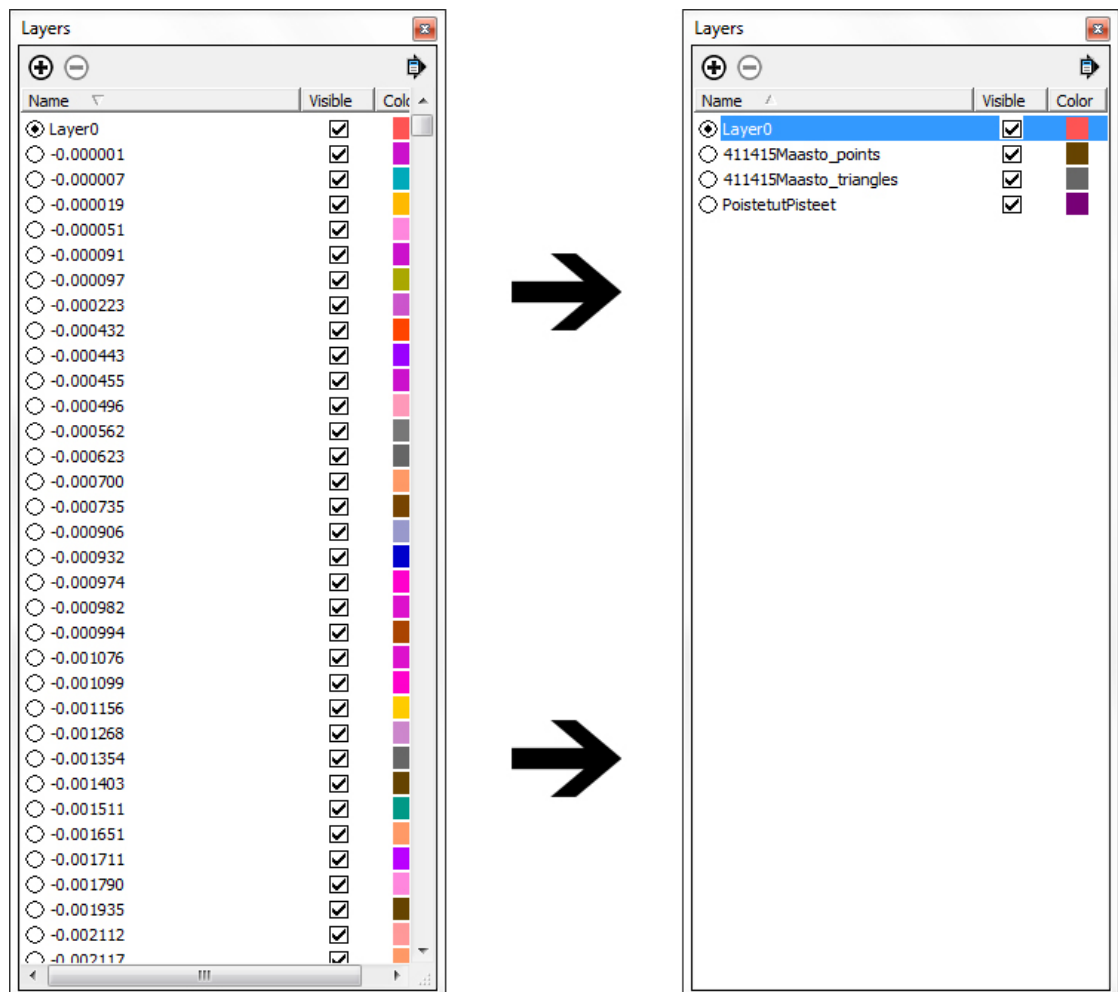


Kuva 10. SketchUpiin tuotu pistepilvidata

Ruudun tyhjyyteen ei aluksi kannata kiinnittää huomiota, sillä ensiksi kannattaa siivota oikeassa laidassa oleva layer valikko. SketchUp laskee jokaisen ohjelmaan tuodun pistepilven pisteen omalle tasolle. Koska pisteitä on jopa kymmeniä tuhansia, menee valikko tukkoon. Layer-valikko kannattaa siivota siten, että joko poistaa

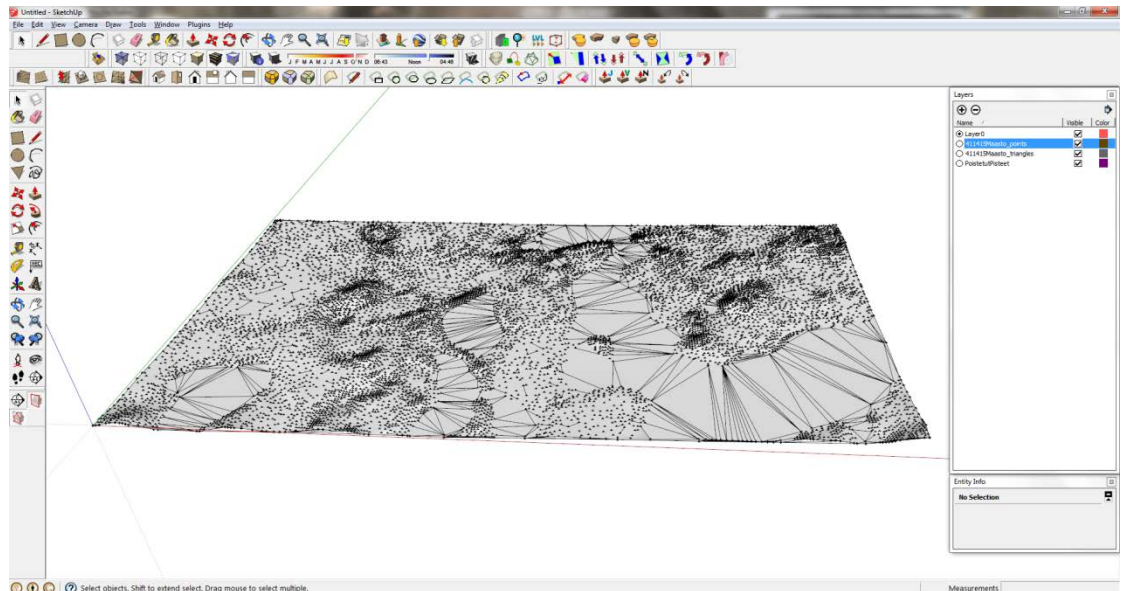


numerolayerit, tai tarvittaessa siirtää kaikki pisteet yhdelle ainoalle layerille. Tämä prosessi tapahtuu maalaamalla layereitä jonka jälkeen layer-valikon yläreunassa sijaitsevasta (-) ikonista valitaan joko siirto päällä olevalle layerille tai poistaminen. Oletustasolle (*Layer0*) dataa ei kannata siirtää. Enemmän kannattaa jättää joko yksi pistedatalayer ylhäältä valituksi, tai sitten tehdä kokonaan uusi layer pistepilvelle. Layerivalikon siistiminen on myös kohtuullisen raskas prosessi, johtuen suuresta määrästä pisteitä. Ohjelman ylälaitaan saattaakin tulla ilmoitus siitä, ettei ohjelma vastaa enää komentoihin. Tästä huolimatta SketchUp käsittelee vielä tasoja, joten pienen odotuksen jälkeen sen pitäisi toimia taas. Tasoja valitessa kannattaa tarkkailla tasoja, joiden nimessä on *\_points*, sekä *\_triangles*. Nimittäin *\_triangles* tasossa sijaitsee koko kolmioitu maakaistale, eikä sitä kannata siirtää samaan tasoon pisteiden kanssa. Sama pätee *\_points* tasoon. Kuvassa 10 on layer-valikko siivoamattomana, sekä siivottuna. Kuvan tilanteessa poistetuille pisteille tehtiin oma taso *PoistetutPisteet*.



Kuva 10. Layereiden siivoamisen alku ja lopputulos

Kun layerit on siistitty, voidaan pistepilvidata siirtää origoon. Koska toimme datan .XYZ muodossa, ottaa SketchUp huomioon niiden koordinaatit maailman kartalla. Testimaaston sijaitessa Suomessa data on pitkällä pohjoisessa keskipisteestä. Tämä on hyvä juttu, mikäli koordinaatisto tarvitsisi säilyttää mutta koska tässä mallinnusprojektissa ei paikkatietoja tarvita ei koordinaateillakaan tee mitään. SketchUp ei myöskään tykkää liikuttaa dataa kovin kaukana origosta. Siksi mallin pyörittäminen saattaa olla hidasta ja siksi data kannattaa siirtää origoon. Tämä tapahtuu maalaamalla data ja raahaamalla se *move* työkalulla origoon. Datan ollessa origossa siihen voidaan myös tarkentaa paljon helpommin. Lähempää katsottaessa huomataankin, että data on tullut kahdessa eri ryhmässä (engl. *group*). Toinen ryhmistä on edellä mainittu pisteryhmä *\_points* ja toinen varsinainen kolmioverkko *\_triangles*. Pistepilven voi halutessaan poistaa. Tässä projektissa se ei täytä mitään tehtävää. Kolmioverkko kannattaa kuitenkin aukaista. Ryhmä aukaistaan tuplaklikkaamalla ryhmää. Avauksen jälkeen havaitaan, että data hyppäsi jälleen pois origosta. Tämä johtuu siitä, että uudelleensiirto ei jostain syystä käsitä ryhmän sisällä olevia objekteja. Siksi ryhmän aukaisun jälkeen data pitää siirtää takaisin origoon. Tämän prosessin jälkeen maastoalue käyttäytyy kuitenkin normaalisti. Sama prosessi pitää tehdä pistemateriaalille, mikäli sen haluaa säilyttää. Kun kaikki tarpeellinen on siirretty origoon, kannattaa työ jälleen tallentaa. Näin mahdollisen kaatumisen jälkeen samaa operaatiota ei tarvitse tehdä uudestaan. Kuvassa 11 on origoon siirretty maastoalue.



Kuva 11. Maastoalue siistittynä origossa

Juuri siirretyn maastoalueen paikkaa ei ole mitenkään erikoisemmin määritetty. Paikan määrittämiseen tarvitaan CAD-kuva yhdestä yleiskartta-alueesta, sekä tarkkaa silmää. Koska koordinaatit on menetetty niin maastopalasta, kuin CAD-kuvastakin, pitää maaston ja CAD-kuvan suhteelliset paikat määrittää silmämääräisesti. Mikäli CAD-kuvissa olisi paikkatiedot tallella, voisi ennen maastokolmioverkon siirtämistä tuoda myös yhden CAD-kuvan samaan tiedostoon. Mikäli koordinaatistomuoto on molemmissa sama, siirtyisi molemmat datat samaan kohtaan SketchUpin 3D-avaruutta. Tällöin maasto ja CAD-kuva voitaisiin siirtää yhtä aikaa origoon ja suhteellinen koordinaatisto säilyisi täsmällisenä. Testitilanteessa ei kuitenkaan ole käytössä CAD-tiedoston koordinaatteja, joten maaston paikka pitää määrittää silmämääräisesti. Maaston oikean paikan määrittäminen tapahtuu siten, että ladataan yksi alueen kohdalle osuva CAD-kuva ja sen alle siirretään maaston kolmioverkko. Tämän jälkeen katsotaan maastosta joitain helposti tunnistettavia kohtia ja verrataan niiden paikkaa CAD-kuvan vastaaviin. Esimerkitapauksessa Naisvuori, Graanin silta, sekä Urski urheilukenttä osoittautuivat helposti huomattaviksi referenssikohteiksi. Näiden kohteiden korkeuserot voidaan havaita selvästi niin CAD-kuvassa, kuin maastokolmioverkossakin. Lisäksi kyseiset kohdat ovat hajaantuneesti karttalehdellä siten, että kuvan orientointiin voidaan käyttää koko karttalehden alueella olevia kohtia ja orientoinnin tarkkuus kasvaa. Orientoinnissa SketchUpin kuvakulma kannattaa siirtää *top* asentoon. Myös varjot kannattaa laittaa näkyviin, sillä niiden avulla maaston muodot näkyvät selkeämmin. Tämän jälkeen maastoa siirrellään erisuuntiin,

kunnes naisvuori, Graanin silta, sekä urheilukenttä ovat oikealla kohdalla niin CAD-kuvassa, kuin kolmioverkossakin. Prosessi saattaa viedä hieman aikaa, mutta toisaalta tämä tarvitsee tehdä vain kerran. Muut maastot voidaan orientoida tämän maastopalan avulla.

Kun kolmioverkon maastonmuodot mukailevat CAD-kuvan maastonmuotoja, voidaan maaston kolmioverkon reunat halkaista vastaamaan CAD-kuvan reunoja. Tämä tehdään siksi, että kun prosessi toistetaan muille maastopaloille, voidaan niitä tarpeen tullen liittää saumattomaksi isoksi maastotasoksi. Maaston pilkkominen tapahtuu siten, että piirretään CAD-kuvan reunoja myötäilevä laatikko ja annetaan sille hieman korkeutta. Reunaviivat kannattaa tehdä mittatyökalun avulla. Tässä toimenpiteessä CAD-kuvan maastoristikot ovat hyvä apu. Mittatyökalulla otetaan punainen tai vihreä ohjeviiva ja viedään se CAD-kuvan samansuuntaisille reunoille. Mikäli CAD-kuvassa on maastoristikot, kannattaa apuviivat laittaa niiden reunoille. Tällöin piirrettävän laatikon koko tulee varmasti oikeaksi. Kun reunoille on viety apuviivat, otetaan kaikki tasot pois näkyvistä ja piirretään laatikko näiden apuviivojen avulla. Näin tehty laatikko on varmasti karttalehden kokoinen ja leikkaa maaston oikean muotoiseksi. Seuraavaksi laatikolle annetaan hieman korkeusarvoa ja halutessaan voi ylä- ja alapinnat poistaa, jolloin jäljelle jää vain neljä pystysuoraa seinämää CAD-kuvan reunoille. Piilotetaan CAD-kuva ja tuodaan maastokolmioverkko jälleen näkyville. Kolmioverkon pitäisi olla niin iso, että sen reunat leikkaavat juuri piirretyn laatikon reunoja. Myös laatikon tulee olla niin korkea, että se leikkaa varmasti joka puolelta kolmioverkon pinnan. Mikäli maasto jää vajaaksi, se ei täytä karttajaon reunoja ja mahdolliset myöhemmät liitokset voivat osoittautua ongelmaksi. Kun maastodata ja laatikko leikkaavat toisiaan, avataan maastoryhmä ja valitaan koko maastoalue. Tämän jälkeen annetaan sille komento *intersect faces -> with model*. Pienen odottelun jälkeen SketchUp on laskenut laatikon reunoja myötäilevät reunaviivat maaston kolmioverkkoon ja laatikko, sekä kolmioverkon ylimääräiset osat voidaan poistaa. Jäljelle jäänyt maasto on täsmälleen CAD-kuvan kokoinen.

Kun toinenkin maastoalue on tehty samaa menetelmää käyttäen, voidaan ne yhdistää toisiinsa. Mikäli maastopalat tuo valmiiksi leikattuna samaan tiedostoon, huomataan, että reunanmuodot eivät ehkä vastaa täydellisesti viereisen maastopalan reunaa. Siksi jo ennen maaston leikkaamista se kannattaa tuoda toisen maastotiedoston viereen. Tällöin maastopalat voidaan laittaa osittain päällekkäin ja maaston oikea kohta tulee

mahdollisimman tarkasti määriettyä. Kuitenkin maastojen rajapinnalle saattaa tulla reikiä. Reiät saadaan paikattua siten, että kopioidaan yhden maaston sivu ja liitetään se toisen maaston samalle sivulle. Tämän jälkeen poistetaan kyseisen maastopalan alkuperäinen sivu ja yhdistellään kadonneet reunakolmiot maaston uuteen reunaan. Lopputuloksena on saumattomasti toisiinsa liittyvät maastopalasat.

### 3.2 Talojen mallintaminen

Taloja mallinnetaan piirtämällä niitä SketchUp ohjelmistolla käsin. SketchUpissa ei ole varsinaista automaatiota talojen mallintamiseen, mikä on tämänkokoisessa projektissa selvä haitta. Kuitenkin oikein tekemällä taloja saadaan tehtyä runsaasti pienessäkin ajassa. Talot kannattaa ensin tehdä erilliselle SketchUp tiedostolle, sillä jos taloja tekee samaan tiedostoon maastodatan kanssa, raskauttaa se merkittävästi konetta ja työnteko hidastuisi. Talojen tekoprosessi alkaa sillä, että tuodaan kaupungin kantakarttoja CAD-tiedostoina SketchUpiin. Työn sujuvuuden kallalta CAD-kuvista kannattaa poistaa kaikki korkeustiedot, jolloin CAD-kuvat näkyvät tasaisena levynä. Tämä prosessi helpottaa talojen piirtämistä, kun kaikki tieto on samassa tasossa.

Kun CAD kuvat on tuotu SketchUpiin, luokitellaan se omille tasoille ja lukitaan käytöstä. Kuvan lukitseminen on tärkeää siksi että jos piirtoprosessissa tulee ongelmia ja halutaankin poistaa joitain viivoja, voidaan CAD-kuva poistaa vahingossa. Kun CAD-kuva lukitaan paikoilleen, ei tällaista vahinkoa voi sattua. Lukitsemisen jälkeen on suositeltavaa tehdä taloille oma taso, jolloin *layer0* jää siistiksi.

Talojen piirtäminen tarkoittaa sitä että otetaan viivan piirto työkalu ja kuljetetaan sitä rakennuksen *footprintin* reunoja myöten, kunnes ohjelma tunnistaa sulkeutuvan alueen ja tekee sen tasoksi. Työtä voisi nopeuttaa ottamalla käyttöön neliötyökalun mutta hyvin useasti kaupungin pohjapiirroksessa talojen sivut eivät ole lähelläkään ohjeakseleita, jonka seurauksena CAD-kuvaa ja mallia pitäisi jatkuvasti pyöritellä. Nopeampi tapa on piirtää reunat viivatyökalulla. Liitteessä (1) on esitelty yksityiskohtaisemmin yhden talon mallinnusprosessi alusta loppuun. Liitteessä esitellyt menetelmät on toistettu jokaiselle mallissa esiintyvälle talolle. Työvaiheet kannattaa kuitenkin jakaa siten, että aivan ensiksi piirtää kaikkien talojen pohjapiirrokset, jonka jälkeen nostetaan kaikki rakennukset yksitellen omille korkeuksilleen. Näin työvaiheisiin tulee tietty rutiini ja valmista saadaan nopeammin,

kuin tekemällä yksitellen jokaisen talon alusta loppuun. Lisäksi esimerkiksi kattoharjoja pystyi lisäosan avulla tekemään useammalle rakennukselle kerralla, jolloin tämä työvaihe nopeutui huomattavasti.

### **3.2.1 Talojen korkeuden määrittäminen**

Kyseenalaisin työvaihe koko kaupungin mallintamisessa oli rakennusten korkeuksien selvittäminen. Korkeusdatassa ei ollut rakennuksia, eikä tässä työssä ollut aikaa käydä erikseen mittaamassa jokaista rakennusta. Kuten teoriaosuudessaakin on mainittu, Mikkelistä on olemassa GIS-malli. Tämä malli kattaa myös Satamalahden alueen, joten korkeustiedot voidaan mitata tästä mallista. Mallin rakennusten korkeuksien tarkkuudesta ei kuitenkaan ole minkäänlaisia takuita, joten on syytä tarkistaa korkeuksia muistakin lähteistä.

Käytössämme on Mikkelin alueen kaavoituskartat. Kaavoituskartoissa on käytössä rakennusluokittelu. Luokittelutyylejä on kaksi erillistä ja ne on mainittu luvussa 2.3.2, Rakennusnumerointi. Kappaleen lopussa listattiin eri rakennustyyppien kerroskorkeuksien vaihtelut. Näistä korkeusarvoista voi tehdä jokaiselle rakennustyyppille kerroskorkeusnormit, mitä käyttää rakennuksien korkeuksina. Esimerkiksi omakotitalon kerroskorkeus vaihtelee väliltä 2,8 - 3,2 metriä. Tällöin keskimääräinen omakotitalon kerroskorkeus voidaan määrittää olevan 3m. Toimistorakennuksen korkeudet vaihtelivat 3,3 metristä 3,9 metriin. Toimistorakennuksen keskimääräinen kerroskorkeus on siis 3,6m. Liikerakennuksien kerroskorkeudet vaihtelevat 4,2 ja 4,8 metrin välillä, joten keskimääräinen korkeus on 4,5 metriä. Kerroskorkeuksien selvittäminen on yleisesti tunnettu ongelma. Google tarjoaa Earthiin mallintajalle nettisivuillaan kaavan, millä pystytään katselukulman avulla laskemaan rakennuksen korkeudet. (Google. 2012) Kuitenkin mikäli tässä projektissa laskettaisiin kyseisellä kaavalla jokaisen rakennuksen korkeus, kuluisi työhön aivan liian paljon aikaa. Parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui Novapoint Virtual Mapin talojen korkeustietojen, sekä Kaavoituskarttojen korkeustietojen yhdisteleminen korkeuksien saamiseksi. Ongelmatilanteissa Google Streetwievin avulla pystyi arvioimaan parhaan vaihtoehdon. Streetwievää kannatti käyttää sellaisissa tilanteissa, missä epäili rakennuksen olevan joko toimisto tai liikerakennus, jolloin sen kerroskorkeus on asuinrakennusta korkeampi.

Talojen piirtämis- ja nostoprosessi on pidemmän päälle puuduttavaa työtä. Lisäksi piirtämisvaiheessa SketchUpin suuntaviivat tulevat joskus häiritsevästi tielle. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli talo on lähes suuntaviivojen mukainen, pyrkii Sketchup piirtämään viivaa näiden suuntaviivojen mukaisesti. Tällöin rakennuksen nurkkaan osuminen voi vaatia paljon pyörittelyä ja zoomausta. Mikäli taas talon reunat piirtää vain suurin piirtein oikeille viivoille, voi talojen geometriasta tulla epäsymmetrinen ja tämä aiheuttaa suuria ongelmia katon mallintamisessa. Mikäli jollain alueella on useampi rakennus suurin piirtein suuntaviivojen mukainen, kannattaa harkita koko kartan pyöräyttämistä hieman piirtoprosessin nopeuttamiseksi.

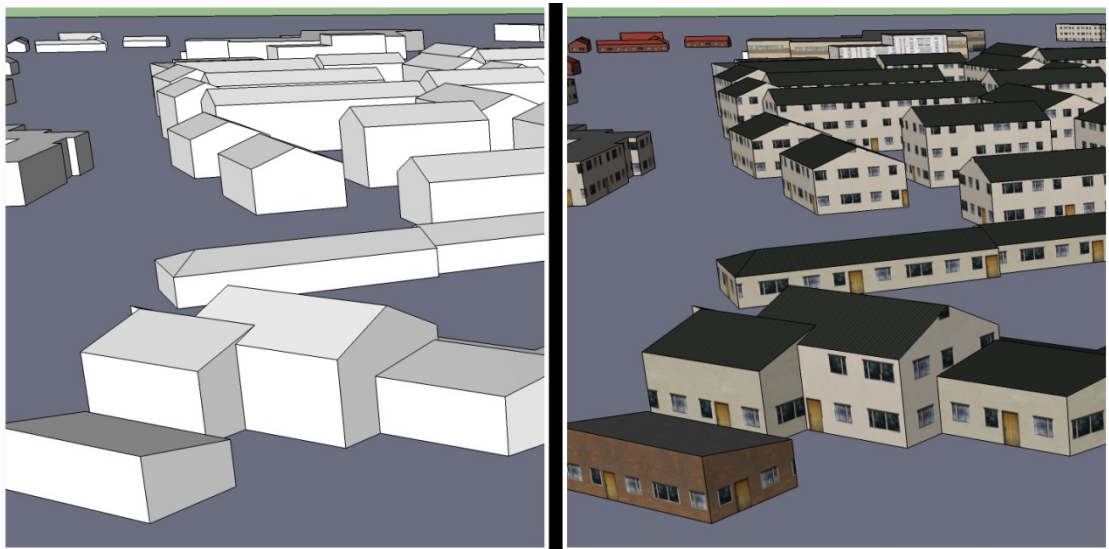
Toinen useasti esiintyvä ongelma on kuvakulman pyörittäminen mallinnettaessa. SketchUpin kamera pyörii (engl. *orbit*) sen objektin tai nurkan ympärillä, mihin kursori osoittaa. Koska pohjamateriaalina on vain CAD-kuva, tulee usein kamerakulmaa pyöräytettyä siten, että kursori osoittaa tyhjiyteen. Tämä johtaa siihen, että kuvakulmaa kääntäessä koko piirtomaisema katoaa pyörityskeskipisteen ollessa kaukana tyhjiydessä. Kamerakuvan saa kyllä takaisin ja tätä ei tapahdu, mikäli muistaa aina pitää kursorin CAD-kuvan tai talon jossain reunassa kameraa kääntäessä. Kameran kuvakulmaa tulee kuitenkin liikuteltua niin useasti, ettei näitä varotoimia muista aina tehdä. Ratkaisuksi CAD-kuvan alapuolelle voi piirtää ison laatan ja lukita se käytöstä. Tällöin kamerapiste karkaa ainoastaan tähän laattaan eikä kuvakulma enää katoa kaukaisuuteen. Kuvassa 12. talojen alla on harmaa laatta estämässä kamerakulman karkaamista.

Tätä työtä nopeuttaakseen hankittiin jo aikaisemminkin mainittuja lisäosia. Näitä lisäosia olivat: *Instant Roof Plugin*, *Drop Plugin* sekä *Points Cloud Import Plugin*. Vaikka näistä lisäosista oli huomattava hyöty mallintamisessa, ovat ne silti lisäosia ja tuovat siksi oman riskitekijänsä mallintamiseen. Yksi usein havaittu ongelma on juuri lisäosan käyttämistä seuraava koko ohjelman kaatuminen. Useimmiten tämä tapahtui *Instant Roof* lisäosan käytön yhteydessä. Testitilanteessa lisäosa saattoi kaataa SketchUpin siksi, että jonkun talon geometria ei ollut aivan suora. Siksi aikaisemmin mainittu talojen reunapisteen tarkan kohdan määrittäminen on tärkeää. Useasti tosin talot olivat vinoja jo CAD kuvassa eikä sitä huomannut kuin vasta lisäosan kaadettua koko ohjelman. Tämä kaatuilu toi tekemiseen useasti monien minuuttien tauon kun editoitavat talot piti ladata uudestaan sekä viimeisimmän tallennuksen jälkeiset talot

tehdä uudestaan. Kuitenkin käsin tekemiseen verrattuna lisäosat toivat huomattavan edun mallintamiseen.

### 3.2.2 Tekstuurien lisääminen rakennuksiin

Talojen valmistuttua pitää niihin vielä lisätä tekstuurit. Pelkkien valkoisten talonmuotoisten massojen esittely ei ole kovinkaan näyttävää. Jopa summittaiset, hieman talon sivuja muistuttavien tekstuurien lisääminen malliin luo huomattavasti enemmän vaikuttavuutta malliin. Kuvassa 12 esitellään kaupunkimallin osa ensin teksturoimattomana ja sitten teksturoituna.



Kuva 12. Tekstuurien vaikutus kaupunkikuvaan

Tekstuurien liittäminen tapahtuu uusien tekstuurien osalta samalla tavalla, kuin Liitteessä 2. on esitelty. Kuitenkaan jokaiselle talolle ei tekstuuria tarvitse hakea erikseen tietokoneelta, vaan valmiiksi liitetty teksturi voidaan kopioida muihin taloihin. Kopioinnin voi tehdä joko siten, että valitsee SketchUpin materiaalieditorin valikosta kohdan *In Model* ja etsii sieltä halutun tekstuurin. Tämä menetelmä tuo tekstuurin sellaisena, kun se on. Toinen tapa on valita *Paint Bucket* työkalu ja valita *Alt* näppäin pohjassa jokin valmiiksi teksturoidun talon seinä. Tällä tyylillä kopiointi ottaa huomioon kopioitavaan teksturiin tehdyt mahdolliset venytys-, sekä siirtotoimenpiteet ja liittää ne valittuun tyhjään seinään. Tällä tyylillä muutaman talon teksturoinnin jälkeen voidaan kopioida nämä tekstuurit nopeasti muihin taloihin. Samat toimenpiteet pätevät kattotekstuurien tekemiseen.



### 3.2.3 Talojen pudottaminen maastoon

Viimeinen vaihe kaupunkimallin luomisessa on tuoda talot ja maasto samaan tiedostoon sekä tiputtaa talot maaston päälle. Tässä prosessissa ongelmakohtiseksi muodostuu talojen oikean paikan etsiminen, sekä yhteistiedoston valtava polygon määrä. Juuri polygon määrän suuruuden takia kaupunkimalli jaettiin karttalehtiin. Kun talotkin jaetaan karttalehtiin, voidaan tehdä toisiinsa saumattomasti liimaantuvia palasia kaupungista talojen kanssa. Näin karttalehtien reunoillekin jäävät alueet voidaan tarvittaessa visualisoida kohtuullisen pienellä työpanoksella.

Talojen ja maaston yhdistäminen kannattaa tehdä siten, että aukaisee ensiksi talotiedoston ja tekee jokaisesta talosta oman komponentin. Talot pitää tehdä komponenteiksi siksi, että rakennuksien pudotuksessa käytetty *Drop* lisäosa osaa tiputtaa vain komponentteja. Jotta talo voidaan määrittää komponentiksi, pitää sen jokainen osa valita. Talo voidaan valita maalaamalla, mutta tällä menetelmällä valitsee helposti ylimääräisiäkin viivoja mukaan komponenttiin. Siksi paras metodi on kolmoisklikata rakennusta, jolloin ohjelma valitsee automaattisesti kaikki klikattuun kohtaan yhteydessä olevat viivat ja pinnat. Tämän jälkeen valitaan joko kappaleen ominaisuuksista *make component*, tai painetaan pikanäppäintä *G*. SketchUp kysyy komponentin nimeä, kohdistamista sekä sitä korvaako komponentti valitut osat. Taloille voi kirjoittaa halutessaan jonkun nimen, jolla sen voi jälkeempään tunnistaa, mutta testiversiossa komponenttien nimiin ei kajottu. Komponentti kannattaa kuitenkin valita korvaamaan valitut osiot, sillä muuten tiedostoon jää komponenttien lisäksi valitut rakennukset taustalle raskauttamaan muutenkin raskasta tiedostoa. Kun viimeinenkin rakennus on saatu komponentiksi, poistetaan kaikki muu tieto talomallista. Edes CAD-kuvia ei enää tarvita, sillä ne löytyvät jo maastomallista. Siistimisen jälkeen tiedosto kannattaa tallentaa uudella nimellä ja sulkea.

Talojen muokkaamisen jälkeen avataan se maastoalue, mihin talot halutaan tuoda. Tämän prosessin voi tehdä myös niin päin, että talotiedostoon tuodaan maastomalli, mutta näin päin prosessi kestää pidempään. Kun maastomalli on avautunut, mennään tiedostovalikossa kohtaan *Import* ja valitaan tällä kertaa *Files or type* valikosta *SketchUp Files*. Seuraavaksi etsitään juuri tallennettu talotiedosto ja painetaan *Open*. Hetken kuluttua maastomallin ylle ilmestyvät talotiedoston talot komponentin sisään

laitettuna. Seuraavaksi kytketään Layer valikosta kaupunginosan CAD-kuva päälle. CAD-kuvassa näkyy talojen paikat, joten talot voidaan tämän jälkeen raahata oikeille paikoilleen. Kun talot on aseteltu, voidaan CAD-kuva sulkea ja juuri tuotujen talojen komponentti poistaa. Talot saadaan ison komponentin sisältä valitsemalla hiiren oikeasta painikkeesta avautuvasta valikosta *Explode*. Tämä työvaihe ei tuhoa yksittäisten talojen komponenttia, vaan taloja yhdistävän ison komponentin. Seuraavaksi valitaan pieni määrä taloja ja hiiren oikealla napilla avautuvasta valikosta valitaan *Drop at intersection*. Talot tipahtavat maaston päälle ja se osa kaupunkia on valmis. Mikäli talot eivät tipu, on liian suuri osa taloista valittuna. Pienentämällä valittujen talojen määrää ja kokeilemalla uudestaan talot saadaan tiputettua maastoon. Kuvassa 13 on taloja tiputettuna maastoon. Maastoon on lisätty ilmakuva otettu tekstuuri ja varjot on kytketty päälle.



Kuva 13. Talot maastossa

#### 4 YHTEENVETO

Työn alussa pohdittiin sitä, miten SketchUp soveltuu kaupunkialueiden 3D-mallinnukseen. Jo teoriaosuudessa huomattiin, että parempiakin ohjelmistoja on olemassa, eikä SketchUp varsinaisesti sovellu maaston kuvaamiseen. Kuitenkin ohjelman ilmaisuus, sekä nopea oppimiskäyrä mahdollistavat sen, että kaupunkimalleja saa aikaan pienelläkin henkilöstömäärällä, sekä lähes nollobudjetilla. SketchUp mallinnusta voi siis suositella siinä vaiheessa, kun aikaa ja työvoimaa on käytössä, mutta uusiin investointeihin tai koulutuksiin ei ole varaa. Myös pienempiin

kaupunkialueiden mallinnuksiin SketchUp soveltuu hyvin, sillä silloin maaston tarkkuutta voidaan mahdollisesti kasvattaa ohjelman jäätymättä. SketchUp on hyvin tiiviisti naimisissa CAD-kuvien kanssa, joten tehokkaaseen työskentelyyn tarvitaan vähintään yksi Pro lisenssi, sekä CAD-kuvien editointiohjelma. Käytännön työssä tehty malli tulee pohjamalliksi Satamalahden suunnittelun visualisointeihin, ellei parempaa mallia tule tarjolle. Lisäksi mallinnusta tullaan jatkamaan karttalehdittäin laajemmaksi 3D-kokonaisuudeksi. Tähän 3D-kaupunkimallinnukseen on helppo visualisoida niin uusiakin alueita, sillä nimensäkin mukaisesti SketchUp on vahvimmillaan luonnosteluvaiheessa.

## LÄHTEET

Allen Vanessa. 2012. Beware the spy in the sky: After those Street View snoopers, Google and Apple use planes that can film you sunbathing in your back garden. WWW-dokumentti. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2157150/Google-Apple-use-planes-film-sunbathing-garden.html>. Päivitetty. 11.6.2012. Luettu 29.10.2012

Autodesk 3ds. 2012. Autodesk 3ds Max Products. WWW-dokumentti. <http://usa.autodesk.com/3ds-max/>. Päivitetty 2012. Luettu 30.11.2012

Autodesk Infrastructure Modeler. 2012. Accelerate Your Civil Infrastructure Design Process. WWW-dokumentti. <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=17276659&siteID=123112>. Päivitetty 2012. Luettu 30.10.2012

Autodesk Revit. 2012. Autodesk Revit -tuotteet. WWW-dokumentti. <http://www.autodesk.fi/adsk/servlet/pc/index?siteID=448412&id=14594526>. Päivitetty 2012. Luettu 30.10.2012

Blender. 2012. Features. WWW-dokumentti. <http://www.blender.org/features-gallery/features/>. Päivitetty 2012. Luettu 30.11.2012

Butler Declan. 2006. How does Google Earth work? WWW-dokumentti. <http://www.nature.com/news/2006/060213/full/news060213-7.html>. Päivitetty 15.2.2006. Luettu 3.10.2012

Chief Architect. 2012. Home Designer Software. WWW-dokumentti. <http://www.homedesignersoftware.com/>. Päivitetty 2012. Luettu 30.11.2012

CNET Staff. 2008. Blender review. WWW-dokumentti. [http://download.cnet.com/Blender/3000-6677\\_4-10514553.html](http://download.cnet.com/Blender/3000-6677_4-10514553.html). Päivitetty 7.11.2008. Luettu 30.10.2012

Donley Matt. 2011. History of Sketchup WWW-dokumentti. <http://www.mastersketchup.com/history-of-sketchup/>. Päivitetty 17.10.2011. Luettu 22.11.2012

Elementtisuunnittelu. 2010. Toimisto- ja liikerannukset. WWW-dokumentti. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/rakennejarjestelmat/toimisto-ja-liikerakennukset/print>. Päivitetty 4.3.2010 Luettu 23.9.2012

Erving Anna. 2007. Julkisivutekstuurin liittäminen 3D-malliin. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. Tekniikan ylioppilas. Diplomityö

Esri City Engine. 2012. Esri City Engine Features WWW-dokumentti. <http://www.esri.com/software/cityengine/features>. Päivitetty 2012. Luettu 30.10.2012

Google. 2012. Estimating building height. WWW-dokumentti. <https://support.google.com/sketchup/bin/answer.py?hl=en&answer=167464>. Päivitetty 16.10.2012. Luettu 7.11.2012

Google Earth. 2012. WWW-dokumentti. [http://en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](http://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth). Päivitetty 1.10.2012 Luettu 3.10.2012.

Gröger Gerhard, Kolbe Thomas H. 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. OpenGIS® Standard

Haggrén Henrik. 2011. 200 vuotta fotogrammetrian ja kaukokartoituksen historiaa. WWW-dokumentti. [http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf\\_e/2011/PJF2011\\_3\\_Haggren.pdf](http://foto.hut.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Haggren.pdf). Päivitetty 2011. Luettu 1.10.2012

HB-Betoni. 2012. Omakotitalojen portaat. WWW-dokumentti. [http://www.hb-betoni.fi/hb/hb\\_betoni/suomi/betoniporras\\_\\_mosaiikkiporras\\_\\_porraselementti\\_\\_askel\\_lankku/omakotitalojen\\_portaat/](http://www.hb-betoni.fi/hb/hb_betoni/suomi/betoniporras__mosaiikkiporras__porraselementti__askel_lankku/omakotitalojen_portaat/). Luettu 21.8.2012

Justin Slick. 2012. 7 Common Modeling Techniques for Film and Games. WWW-dokumentti. <http://3d.about.com/od/3d-101-The-Basics/a/Introduction-To-3d-Modeling-Techniques.htm>. Päivitetty 2012. Luettu 5.10.2012

Layton Julia, Strickland Jonathan, Bryant Charles W. 2007. How Google Earth Works. WWW-dokumentti. <http://computer.howstuffworks.com/internet/basics/google-earth7.htm>. Päivitetty 15.10. 2007. Luettu 3.10.2012

Lehtovirta Pekka, Nuutinen Kari. 2000. 3D-sisältötuotannon peruskirja. Jyväskylä. Dosendo Finland.

Leinonen Matti. 2012. KM Suomi. Otava. 48-49

Luebke David, Reddy Martin. 2002. Level of Detail for 3D Graphics. Elsevier Science & Technology

Maanmittauslaitos 1. 2012. Maanmittauslaitoksen laserkeilaukset 2012. WWW-dokumentti. [http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/seuranta2012\\_21112012.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/seuranta2012_21112012.pdf). Päivitetty 21.11.2012. Luettu 23.11.2012

Maanmittauslaitos 2. 2012. Maanmittauslaitoksen laserkeilaukset kartta. WWW-dokumentti. [http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/MML\\_laserkeilaukset\\_2008-2012\\_06062012.pdf](http://www.maanmittauslaitos.fi/sites/default/files/MML_laserkeilaukset_2008-2012_06062012.pdf). Päivitetty. 6.6.2012. Luettu 23.11.2012

Maanmittauslaitos 3. 2012. Maanmittauslaitoksen tuotekuvaukset. WWW-dokumentti. <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet>. Luettu 5.11.2012

Maanmittauslaitos 4. 2012. Maastotietokannan rakennukset. WWW-dokumentti. <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/maastotietokannan-rakennukset>. Luettu 5.11.2012

MeshLab. 2012. MeshLab features. WWW-dokumentti.  
<http://meshlab.sourceforge.net/>. Päivitetty 3.8.2012. Luettu 30.10.2012

Micro Aided Design. 2012. ArchiCAD. WWW-dokumentti.  
<http://www.mad.fi/mad/archicad.html>. Päivitetty 2012. Luettu 30.10.2012

Nath Debarati. 2011. History of SketchUp. WWW-dokumentti. <http://www.sketchup-ur-space.com/july11/history-of-sketchup.htm>. Päivitetty 2011. Luettu 23.11.2012

Novapoint Virtual Map. 2012. Tuote-esite.  
[http://www.vianova.fi/content/download/279/45463/version/98/file/VirtualMap\\_FIN\\_WEB%5B1%5D.pdf](http://www.vianova.fi/content/download/279/45463/version/98/file/VirtualMap_FIN_WEB%5B1%5D.pdf). Luettu 30.10.2012

Nummi Henna. 2012. Virtual Map loi madonreijän kaupunkiin. Inspider Magazine 2/2102. 34 - 35.

Parmes Eija. 2008. Välineitä kolmiulotteisen tiedon jalostamiseen. Positio 1, 19 - 21.

Piegl Les, Tiller Wayne. 1996. The Nurbs Book. Springer

Relief models in History. 2010. IAPAD-Participatory Avenues. WWW-dokumentti.  
<http://www.iapad.org/history.htm>. Päivitetty 12.4.2012. Luettu 10.10.2012.

Santaluoto Olli. 2012. 3D-Skannaukseen perehtyminen. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikka. Insinööriyö

SketchUp Tutorials. 2007. Using the Sandbox Tools: Terrain, Draping and Dropping  
WWW-dokumentti.  
<http://www.arch.virginia.edu/computing/training/online/faculty/stiles/pages/sketchup%20new/sketchup%20sandbox%20tools.html>. Päivitetty marraskuu 2007. Luettu 15.10.2012

Tal Daniel. 2012. Learning to model terrain in SketchUp. SketchUp ur Space. verkkolehti. <http://www.sketchup-ur-space.com/2012/sept/learning-to-model-terrain-in-SketchUp.html>. Päivitetty Lokakuu.2012. Luettu 25.10.2012.

W Wagner, A Ullrich, T Melzer, C Briese. 2004. From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: potential and practical challenges. Päivitetty 2004. Luettu 9.10.2012

Why did Trimble buy SketchUp, and why did Google sell?. 2012.SketchUp-ur-space. Jul 2012. 17 - 18.





**Talon mallintaminen Google SketchUp ohjelmalla**

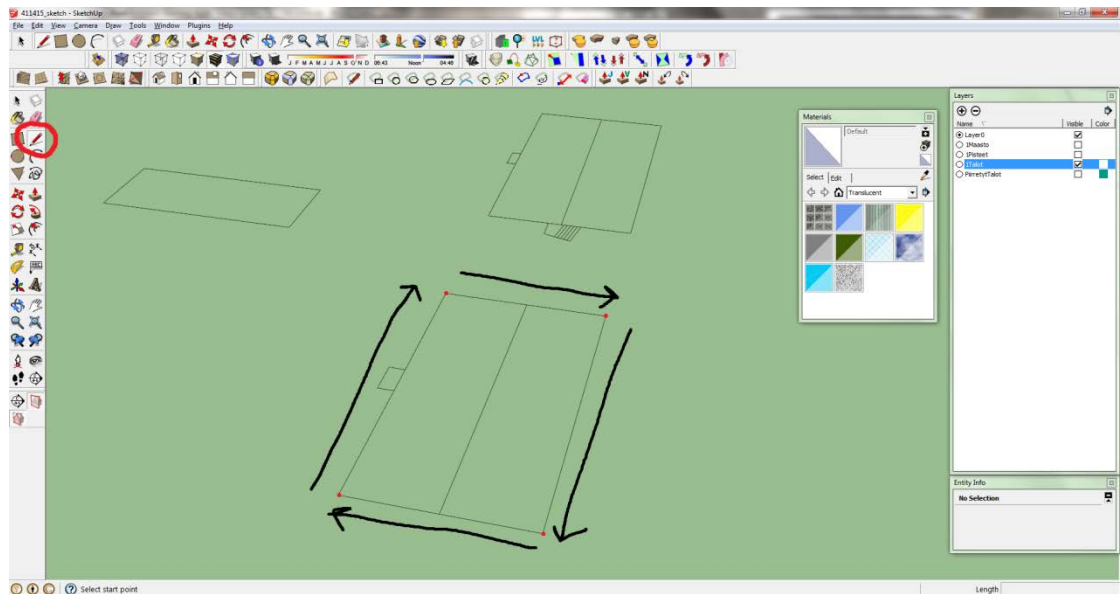
SketchUp on siitä hyvä ohjelmisto, että se on erittäin helppo opetella. Toisin kuin useat muut markkinoilla olevat mallinnusohjelmistot, SketchUp avautuu yhdessä ainoassa kuvakulmaikkunassa. Tarvittaessa näkymän saa muutettua perinteiseen neljän katselukulman käytäntöön, mutta vähän aikaa ohjelmaa käyttämällä huomaa, ettei siihen ole juurikaan tarvetta. Helpon aloituskynnyksen lisäksi Sketchup loistaa laajalla lisäosakirjastollaan. Mikäli mieleen tulee jokin ominaisuus mikä SketchUpista puuttuu, se luultavasti löytyy ladattavana pluginina. Esimerkiksi tässä työssä käytössä olivat muun muassa *.XYZ import* plugin, sekä *instant roof* pluginin ilmainen versio. Jotkut lisäosista voivat olla tuhansienkin dollarien arvoisia, mutta yleensä tarvittavat lisäosat löytyvät myös ilmaisina versioina.

Talon tekeminen alkaa sillä, että tuodaan CAD-kuva SketchUpiin. CAD-kuvien tuontiin löytyy todella hyvä opetusvideo Googlen omilta sivuilta. (<http://youtu.be/MtqJh-DUG30>) Tässä ohjeistuksessa ei siis CAD-kuvien tuontia käsitellä. Kun CAD-kuvat on Sketchupissa kannatta tasot, eli layerit laittaa kuntoon. Useasti CAD-kuvat tulevat monessa eri tasossa, mistä moni on turha. Nämä tasot kannattaakin siistiä siten, että on itse tietoinen missä mitäkin on. Tässä testiversiossa tasot jaettiin siten, että maasto, talot, sekä orientointipisteet ovat omilla tasoilla. Tällä järjestelyllä esimerkiksi taloja piirrettäessä ruudulla ei ole liikaa informaatiota, mutta tarvittaessa kokonaiskuvan saa esille nappin painalluksella. Tässä projekteissa orientointipisteet olivat tarpeellisia ainoastaan CAD-kuvia yhdistäessä, eikä yhdistelyprosesseja ole montaa. Siksi periaatteessa orientointipisteet voidaan siirtää samalle tasolle maaston kanssa.

Kun CAD-kuvato on siistitty, voidaan aloittaa talojen piirtäminen. Aivan ensiksi valitaan haluttu rakennus. Esimerkkitapauksessa talo valittiin satunnaisesti. Kuvakulma kannattaa tarkentaa lähelle taloa, jotta piirtäminen helpottuu. Tarkentaessa voidaan huomata, että kuvakulma ei siirry yhtään toivotulla tavalla, sillä liikkumisen kiintopisteet karkaavat CAD-kuvan taakse kaukaisuuteen. Tämä voidaan eliminoida piirtämällä CAD-kuvan alle iso taso. Tällöin kamerakeskipiste karkaa korkeintaan tähän tasoon ja orientointi pysyy hallinnassa. Kuvassa 1 on ympyröity viivatyökalu, millä talot piirretään. Talon piirtäminen tapahtuu siten, että valitaan vuoronperään

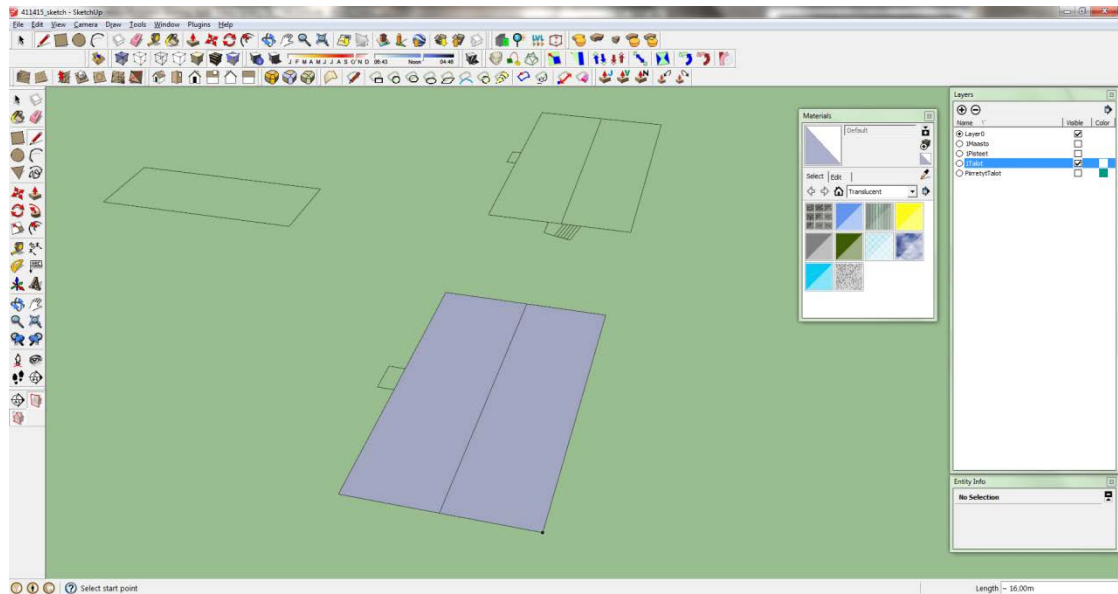
## Monisivuinen liite

jokainen talon nurkka viivatyökalulla. Kannattaa pitää kursoria niin kauan nurkan päällä, että kursorin viereen ilmaantuu teksti *endpoint*, jolloin voidaan olla varmoja, että viiva menee oikeaan paikkaan.



Kuva 1: Piirtotyökalu, sekä piirtämismenetelmä

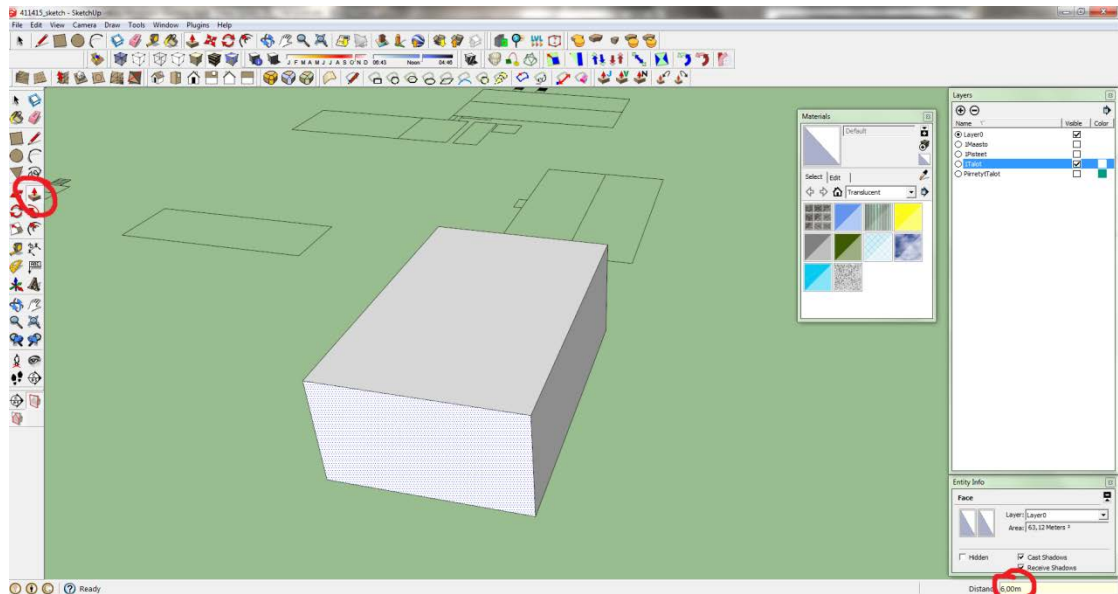
Päätepisteiden valintojen jälkeen valitaan uudestaan lähtöpiste, jolloin talon pohja pitäisi muuttua harmaaksi tai valkoiseksi. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelma on ymmärtänyt ääri viivat tasoksi ja teki niiden välille pinnan. Mikäli pintaa ei synny, kannattaa tarkistaa onko CAD-kuvan viivat varmasti samalla tasolla. Mikäli muodossa on korkeuseroja, ei tasoa synny.



Kuva 2: Ääri viivojen keskelle piirretty taso

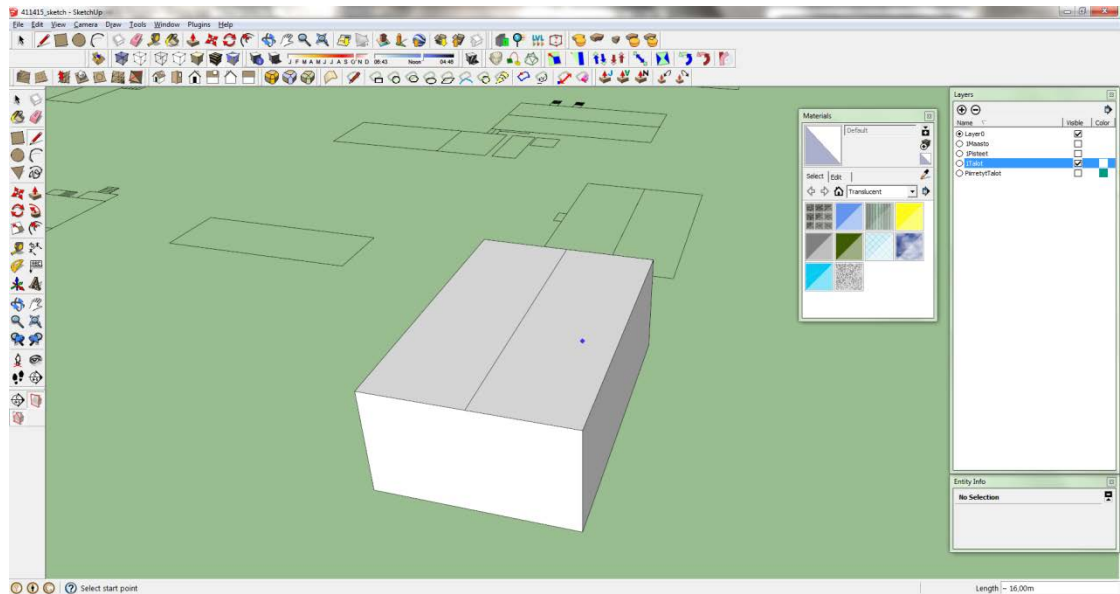
Taso ei vielä näytä talolta. Se pitää nostaa johonkin korkeusarvoon. Ensiksi pitää ottaa tietysti selville talon korkeus, jotta tiedetään miten paljon sitä pitää nostaa. Korkeuden selvittämisessä kannattaa kiinnittää huomiota siihen, onko määritetty korkeus harjakorkeus vai räystäskorkeus. Mikäli nämä kaksi sekoittaa keskenään, tulee taloista joko todella korkeita tai todella matalia. Myös katon tekeminen muuttuu, mikäli korkeudet ovat harjakorkeuksista. Esimerkkitapauksessa talon korkeus määritellään räystäskorkeudesta.

Talon nostamisprosessi on niinkin yksinkertainen, että valitaan työkaluista *push/pull* työkalu. Tällä työkalulla valitaan juuri tehty taso ja yksinkertaisesti nostetaan sitä korkeammaksi. Oikeassa alanurkassa näkyvässä pienessä laatikossa näkyy nostettu korkeus. Tähän laatikkoon voi syöttää tarkan korkeusarvon yksinkertaisesti kirjoittamalla numeroilla haluttu korkeus. Esimerkkitalolle korkeutta tuli 6 metriä, joten nostamisen jälkeen näppäiltiin luku 6 ja painettiin enteriä.



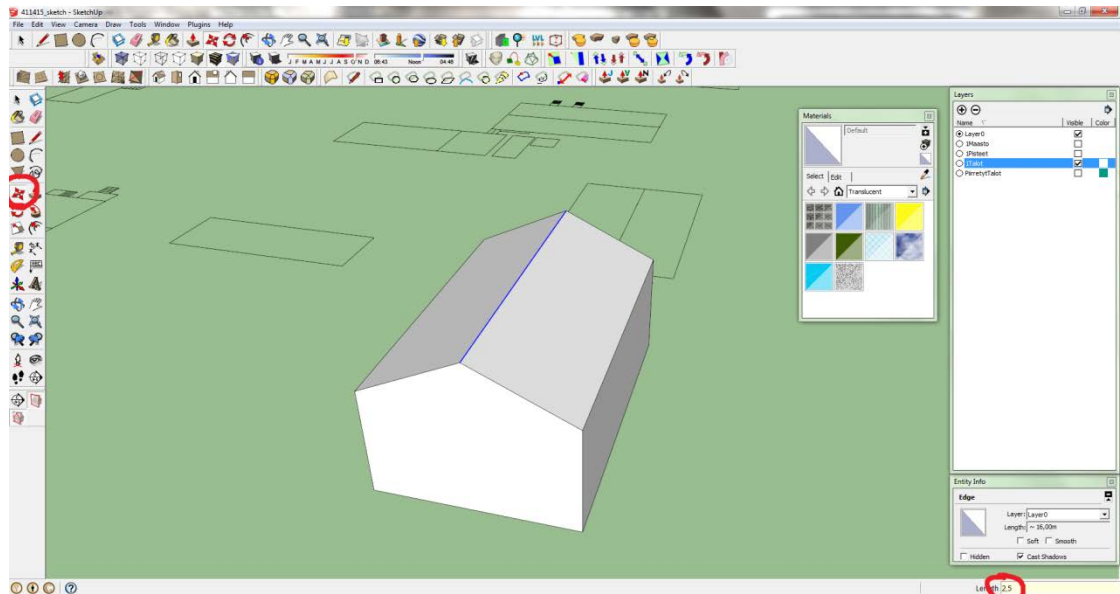
Kuva 3: oikeaan korkeuteen nostettu taso

Malli näyttää jo nyt hieman talolta, mutta koska kyseessä on perinteinen omakotitalo, siinä pitää olla harjakatto. Näiden tekemiseen on työtä hieman nopeuttava katto plugin. Katon saa tehtyä myös perinteisellä menetelmällä kohtuullisen helposti. Näin säästytään myös pluginien etsimiseltä ja asentamiselta. Katto tehdään yksinkertaisesti siten, että piirretään ylätasoa halkaiseva viiva ja nostetaan sitä hieman. Tällöin syntyy perinteinen ja vähäpolygoninen talo. Tasoa halkaisu tapahtuu samalla viivatyökalulla, millä talon piirtäminenkin tapahtui. keskipointa löydetään siten, että viivatyökalua raahataan laatikon yläreunaa pitkin, kunnes ohjelmisto löytää keskipisteen ja ilmoittaa siitä pienellä pallolla, minkä vieressä lukee *midpoint*. Kuvassa 4 on piirretty halkaisuviiva.



Kuva 4: Laatikon päälle piirretty kattoharjaviiva

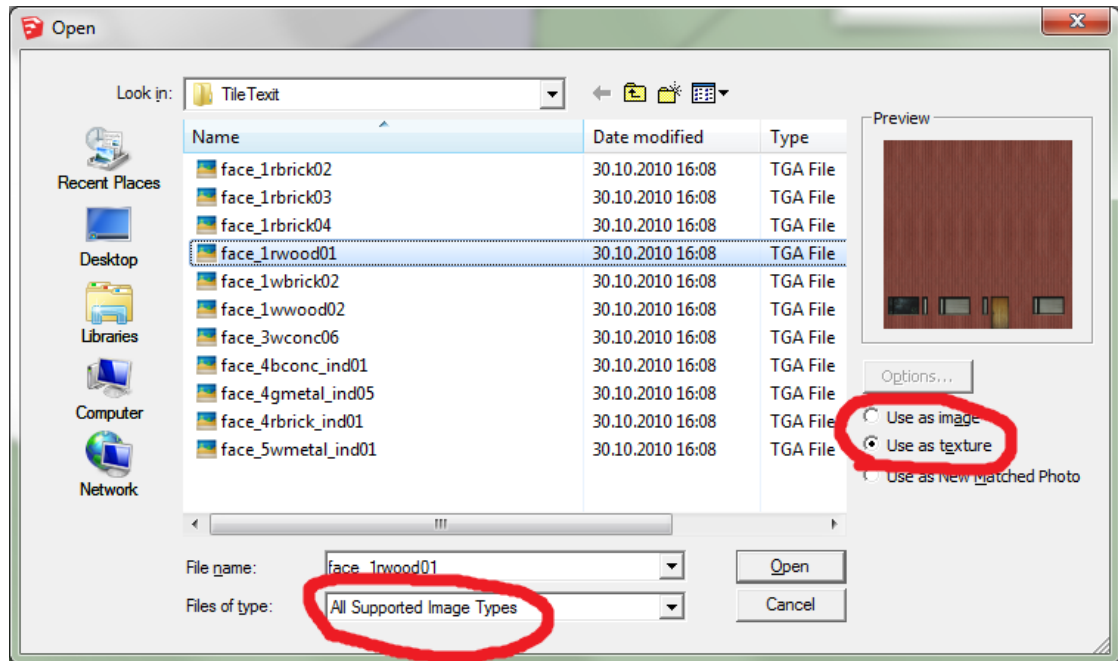
Kun viiva on piirretty, valitaan se ja nostetaan *move* työkalulla sinistä akselia myöten haluttuun korkeuteen. Sininen akseli on  $z$ -, eli korkeusakseli ja sen etsiminen voi vaatia pientä kuvakulman vaihtelua, mutta pienellä pyörittelyllä se löytyy kyllä. Mikäli sinistä akselia ei millään löydy voi se johtua siitä, että laatikko ei ole suorakaiteen muotoinen ja siksi nostettaessa tasot eivät pysy kokonaisina. Tämä on kohtuullisen yleinen ongelma, kun piirretään CAD-kuvista suoraan, sillä aluekarttaan piirretyt talot eivät aina ole täysin suorakulmaisia. Useassa tapauksessa talo pitää tehdä uudelleen mittatyökalun avulla. Kuvassa 5 on harjaviivaa nostettu 2,5 metriä.



Kuva 5: Harjaviiva nostettuna 2,5 metriä

Talon päägeometria on valmis. Halutessaan tätä talomallia voi tarkentaa jatkossa tekemällä räystäsjatkeet, mahdollisen sisäänkäynnin, savupiiput jne. Kuitenkin tässä tapauksessa tarkoituksena on tehdä nopeasti paljon massataloja, joten kyseinen geometria saa riittää tarkoituksiin. Tästä mallista saadaan näyttävämpi lisäämällä tähän malliin tekstuurit. Teksturointiprosessi voi olla hyvinkin aikaa vievää, etenkin mikäli haluaa malliin oikeasta rakennuksesta otetut kuvat. Siksi massamalleissa käytetään yleensä valmiita teksturipohjia tällaisia ratkaisuja varten. Tässä projektissa käytetään pääasiassa tällaisia *tilettekstuureja* joilla taloille saadaan nopeasti suuntaantava ulkonäkö. Tekstuureja lähdetään lisäämään valikosta *File -> Import*. Eteen ilmestyy kuvan 6 kaltainen näkymä. Tässä valikossa pystyy käynnissä olevaan projektiin lisäämään malleja muista projekteista, kuvia taustalle referenssiksi, tekstureja, CAD-kuvia (vain pro versiossa) jne. Siksi on tärkeää muistaa valita *Filetype* kohdasta *All supported filetypes* tai tietty kuvaformaatti, mikäli tietää mitä muotoa omat tekstuurikuvat ovat. Seuraava tärkeä valinta on oikeassa laidassa *use as texture* kohta. Mikäli tämän jättää valitsematta, kuva siirtyy taustalle omana tasona, eikä sitä saa liitettyä talon seinään kiinni.

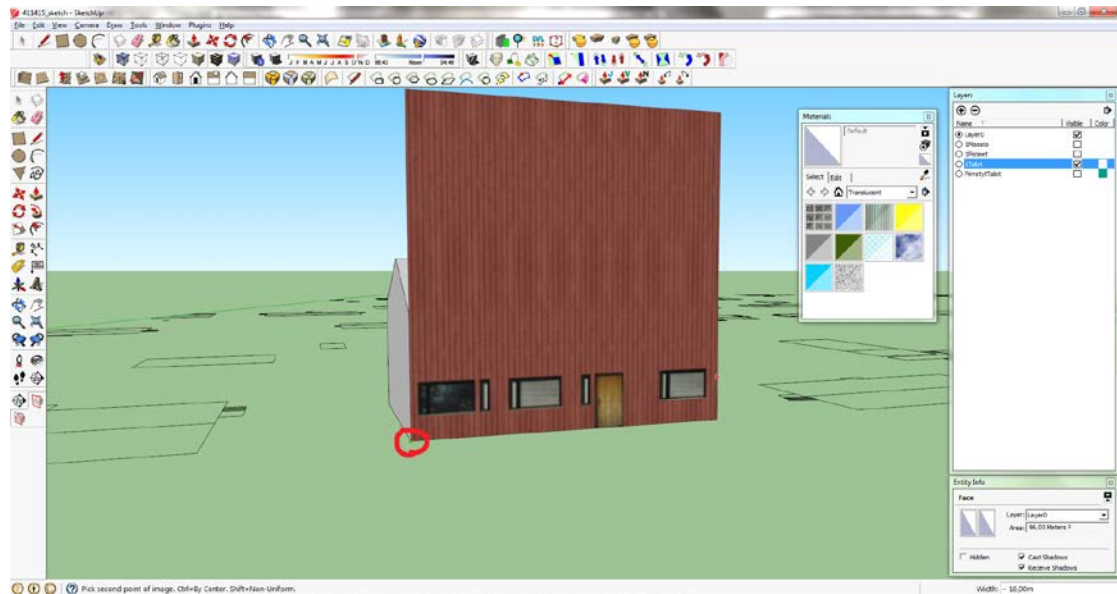




Kuva 6: Tekstuurintuontivalikko

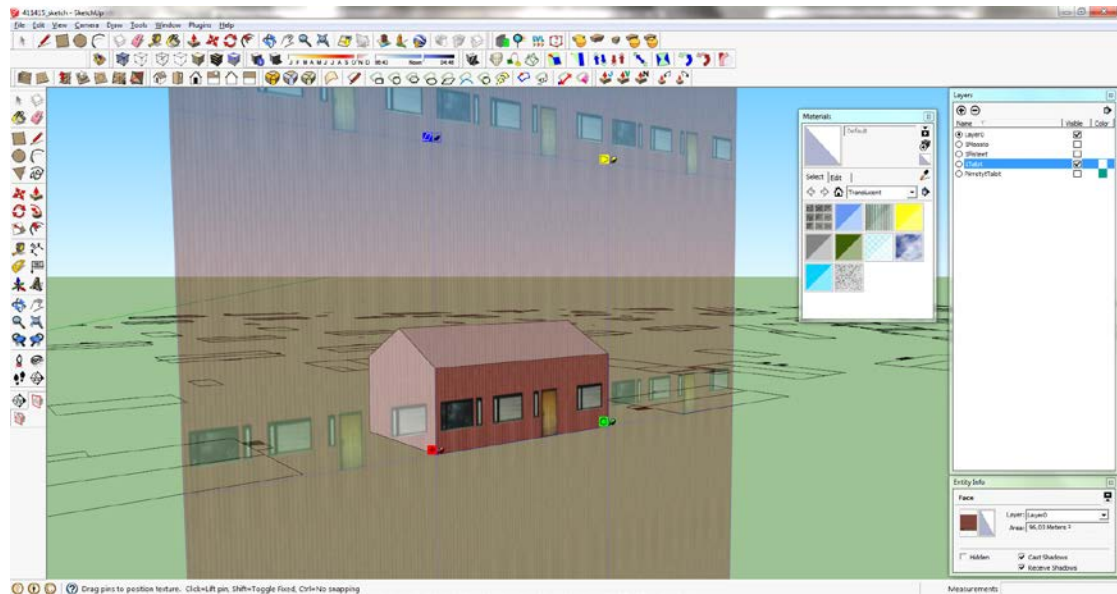
Kun kuva on valittu ja kuvan käyttötarkoitus on määritetty, painetaan *open*. Tämä palauttaa näkymän talosta takaisin ja ruudulla leijailee puoliksi läpinäkyvänä valitsemamme kuva. Kun kursoria siirtää, siirtyy kuva kursorin mukana. Näin pääsemme valitsemaan paikan talon seinästä, mistä tekstuuri alkaa. Yleensä se on valitun pinnan vasen alanurkka. Nurkkaan siirtyessä huomataan, että kuva pyörii eri suuntiin riippuen kursorin paikasta. Tämä johtuu siitä, että nurkan tunnistettuaan ohjelma yrittää määrittää akselia, minkä suuntaan kuva tulee levittää. Yleensä pienen pyörittelyn jälkeen löytyy oikea akseli nurkkapisteestä ja voidaan hiirtä klikkaamalla lukita kuvan yksi nurkka paikalleen. Kun nurkka on lukittu alkaa ohjelmisto määrittämään tekstuurikuvan kokoa, sekä suuntaa. Hiirtä liikuttaessa oikealle tekstuuri skaalautuu ja korkeusakselilla liikuttaessa tekstuuri pyörii. Kuvassa 7 on tekstuuri skaalattuna oikeaan kokoonsa. Mikäli skaalaus menee vahingossa pieleen, ei kannata huolestua, sillä tekstuuria voi tämän jälkeen vielä muokata.





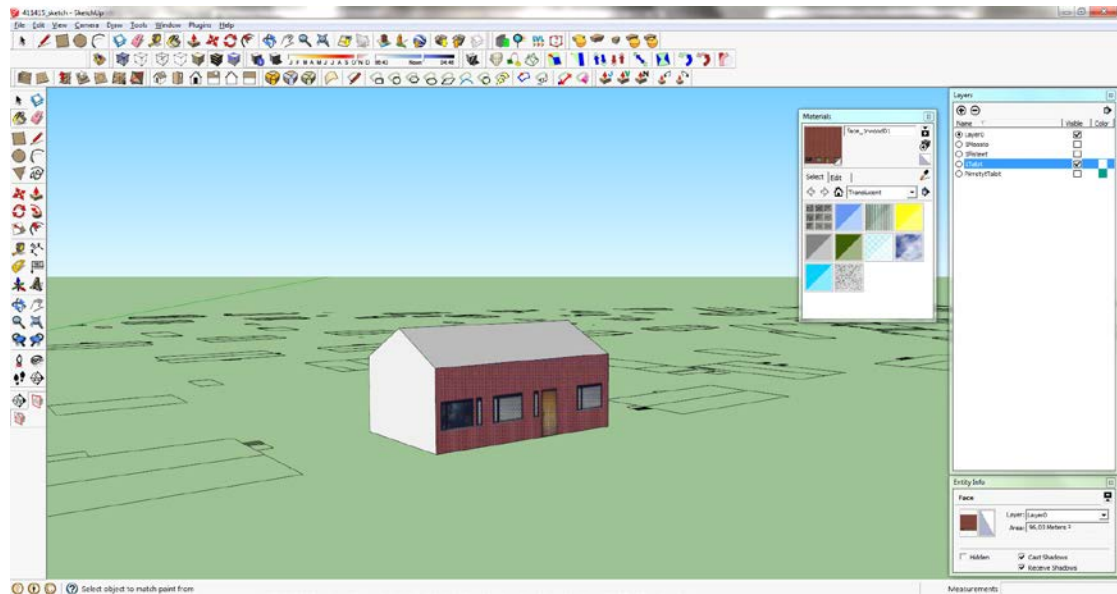
Kuva 7: Tekstuuri skaalattuna ja valmiina liitettäväksi talon seinään

Nyt tekstuuri on liitettynä talon seinään ja sitä voidaan vapaasti katsella erikulmista. Kuitenkin se on hieman liian matala talon seinän muuhun korkeuteen nähden. Päätetään siis kasvattaa tekstuurin korkeusarvoa hieman. Tämä tapahtuu tekstuurin editointivalikosta, jonne pääsee klikkaamalla tekstuurin kohdalla hiiren oikeata nappia ja valitsemalla *Texture -> edit*. Tämä toimenpide aukaisee kuvan 8 näkymän. Näkymässä näkyy tekstuuri, joka monistuu joka puolelle, sekä yhden hieman korostetun tekstuurin, jonka jokaisessa nurkassa on eriväriset editointipisteet. Mikäli pisteet ovat kaikki keltaisia, saa ne päälle hiiren oikealla napilla ja laittamalla rastin kohtaan *fixed pins*.



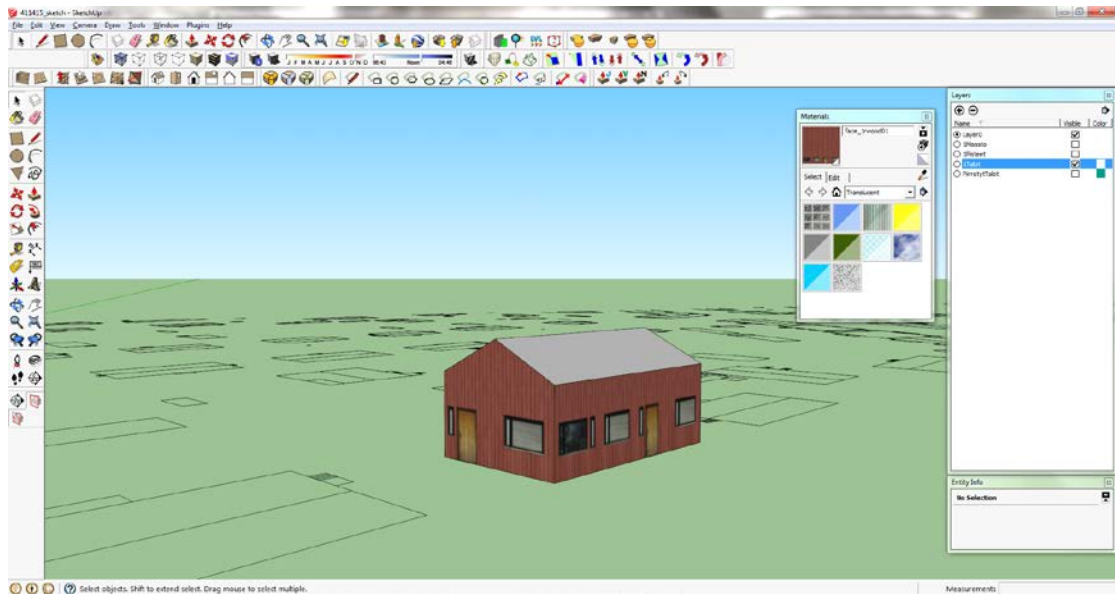
Kuva 8: Tekstuurin editointivalikko ja tekstuurin nurkissa olevat eri editointivälineet

Nurkissa pitäisi näkyä punainen, sininen, keltainen, sekä vihreä ikoni, missä kaikissa oma symboli. Punainen symboli tarkoittaa normaalia liikuttamistyökalua. Kun punaista palloa liikuttaa, liikkuu koko kuva mukana. Vihreä pallo, tai *pin*, on skaalaus- ja pyöritystyökalu. Kun vihreää palloa siirtää oikealle, se skaalaa koko kuvaa suhteessa 1:1. Kun taas palloa vetää ylöspäin, orientoi ohjelma kuvan kulmaa. Näin mahdollisesti vinoon mennyt kuva saadaan pyöritettyä oikeaan asentoon vielä jälkikäteen. Testiversiossa kuitenkin kuva on orientoitu oikein, ja se on oikeassa paikassa, niin näihin kahteen työkaluun ei tarvitse kiinnittää huomiota. Vasemmassa yläkulmassa on sininen ikoni. Tällä ikonilla pystytään skaalaamaan sekä vääristämään kuvaa pystysuunnassa. Sinistä palloa siirretään hieman ylöspäin, jolloin ovet ja ikkunat skaalautuvat hieman korkeammiksi, jolloin ne täyttävät todentuntuisen määrän talon seinää. Keltaisella pallolla voidaan luoda perspektiivivaikutuksia kuvaan. Pystysuuntaan liikuttaessa kuvaa voidaan vääristää pystysuunnassa ja sivuttaissuunnassa liikuttamalla vastaavasti sivusuunnassa. Tässä esimerkissä keltaiseenkaan palloon ei tarvitse kiinnittää huomiota. Nyt kuva on saatu orientoitua, sekä skaalattua oikein. Enteriä painamalla voidaan vahvistaa tehdyt valinnat ja päästä takaisin perinteiseen editointitilaan. Mikäli kuitenkin jokin kuvan asettelussa meni pieleen, voi esc näppäimellä palata editointitilaan tallentamatta muutoksia. Kuvassa 9 on teksturi oikein orientoituna.



Kuva 9: Tekstuuri oikein skaalattuna talon seinässä

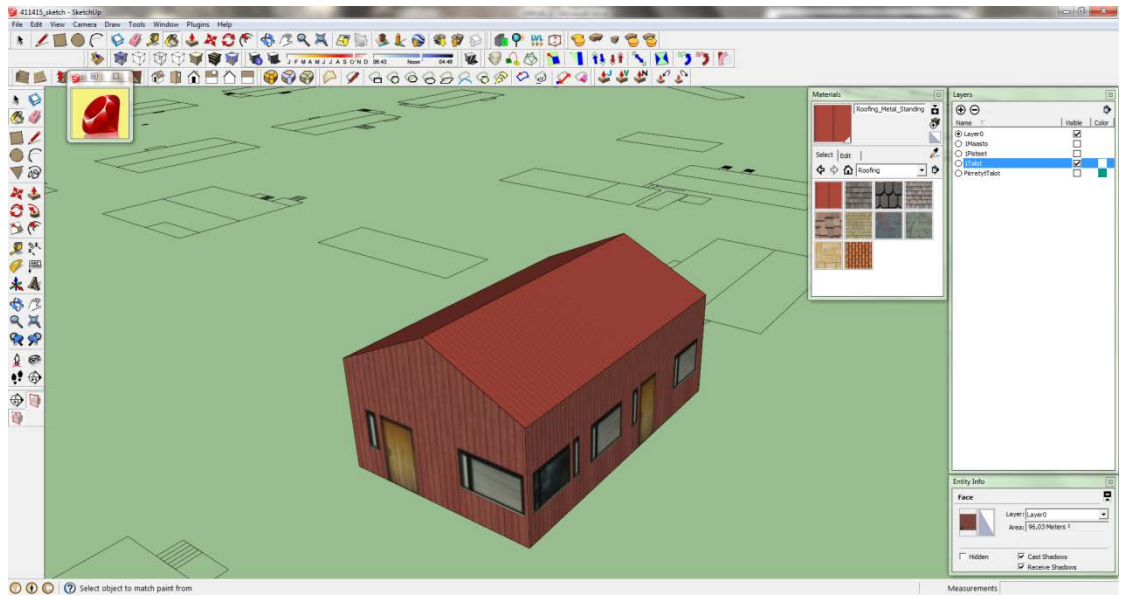
Kaikkia seiniä ei tarvitse tuoda ja skaalata erikseen. *Paint bucket* työkalussa on ominaisuus millä voidaan kopioida jokin tekstuuri ja liittää se haluttuun tasoon. Kopioiminen tapahtuu siten, että valitaan *paint bucket* työkalu ja *alt* näppäin pohjassa klikataan sitä tekstuuria, mikä halutaan kopioida. Tämä kopiointi ottaa huomioon kopioitavassa olevan tekstuurin skaalaukset, sekä muunnokset. Kun kopiointin jälkeen valitaan talon muita seiniä, kopioi ohjelma tekstuurin niihin siten, että ne ovat skaalattu valmiiksi oikein. Tällä tavalla tehtynä tietynkokoiset talot kaupunkimaisemasta voidaan teksturoida kohtuullisen nopeasti. Kuvassa 10 on kopioitu seinätekstuuri jokaiselle sivulle.



Kuva 10: Seinättekstuuri kopioituna jokaiselle talon sivulle

Jäljelle jää kattotekstuurin lisääminen. Tämä voidaan tehdä joko samalla tekstuurintuontiperiaatteella, tai esimerkiksi pelkän värin lisäämisellä. Myös SketchUpin omia kattotekstuureita kannattaa vilkaista. Esimerkkityössä SketchUpin omasta tekstuurivalikosta löytyi sopivan näköinen kattotekstuuri, joten se valittiin kyseisen talon katoksi. Tekstuurin valitseminen tapahtui yksinkertaisesti menemällä *materials editor* valikkoon ja selaamalla osioon *roof*. Täältä valitaan sopivan näköinen kattotekstuuri. Tekstuuri valittua yksinkertaisesti klikataan haluttuja pintoja ja tekstuuuri liittyy niihin. Kuvassa 11 näkyy valmis talo.

# LITE 2(12). Monisivuinen liite



Kuva 11: Talo valitulla kattotekstuurilla