

Jani Partanen

3D-rakennuksen luominen valokuvista

Manuaalisesta mallinnuksesta fotogrammetriaan

Tekijä(t) Otsikko	Jani Partanen 3D-rakennuksen luominen valokuvista
Sivumäärä Aika	42 sivua + 3 liitettä 20.5.2013
Tutkinto	Medianomi
Koulutusohjelma	Viestinnän koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	3D-visualisointi ja -animointi
Ohjaaja(t)	Lehtori Pasi Kaarto
<p>Tämä opinnäytetyö tarkastelee eri vaihtoehtoja, joilla valokuvasta voidaan tehdä teksturoitu 3D-malli. Tässä opinnäytetyössä vertaillaan kolmea hieman erilaista lähestymistapaa ja tutkitaan, mitkä ovat näiden tapojen vahvuudet ja heikkoudet. Lähestymistavat on jaoteltu manuaaliseen mallinnukseen, jossa malli luodaan täysin käsin, fotogrammetriaohjelmaa avuksi käyttävään mallinnukseen ja täysin fotogrammetriaohjelman laskemaan mallinnukseen.</p> <p>Talon mallintaminen on otettu kohteeksi siksi, että se perinteisesti on kaikkien hankalin kohde automaattisesti mallintaa; sitä ei voi viedä studioon valokuvattavaksi tai skannattavaksi. Ulkona kuvatessa vastaan tuli monta häiriötekijää, kuten jatkuvasti muuttuva valaistus, talon ympärillä olevat toiset rakennukset, puut, autot ja ihmiset. Kaikki nämä haittaavat huomattavasti mallinnus- ja teksturointiprosessia. Tässä opinnäytetyössä perehdytään lähinnä kahteen fotogrammetriasovellukseen; Autodesk Image Modelleriin ja Autodesk 123D Catchiin. Täysin manuaalisen mallinnuksen osalta käytetään Autodesk Maya -ohjelmaa.</p> <p>Tutkimusta tehdessä huomattiin ettei täysin automaattinen 3D-mallinnus ole vielä tarpeeksi luotettavaa, jotta pelkästään sen varaan voisi jättää mallintamisen. Jos kohde ei kuitenkaan ole kovin monimutkainen voi automaattinen mallinnus tuoda selvää nopeutta mallinnus ja teksturointiprosessiin. Puoliautomaattisella tavalla saa kaikkein tarkimman tuloksen ja usein elokuvateollisuus käyttää juuri tätä menetelmää, jos laserskannaus dataa ei ole käytettävissä.</p> <p>Lopputuloksena todettakoon että jos 3D-mallin ei tarvitse olla täysin totuutta vastaava on manuaalinen mallinnus vielä monesti nopein vaihtoehto saada tulosta. Ptex ei ole aina selvä korvike UV-kartoitukselle, mutta nyt jo kannattaa todella ottaa ptexin mahdollisuudet käyttöön omassa työnkulussa. Jos mahdollista niin aina kannattaa ottaa kuvat täysin automaattista mallinnusta varten ja katsoa, kuinka paljon siitä saa suoraan käyttökelpoista dataa. Sen jälkeen voidaan tehdä puuttuva osuus muilla tavoilla. Varmastikkaan lopullinen työnkulku ei tule olemaan tarkalleen yksi esitetyistä vaan joku yhdistelmä niitä.</p>	
Avainsanat	Fotogrammetria, 3D, Rakennus, ptex, Maya, 123D Catch, Image Modeller, HDRI, Panorama, Valokuvaus

Author(s) Title	Jani Partanen Modelling a 3D building from photos
Number of Pages Date	42 pages + 3 appendices 20 May 2013
Degree	Bachelor of Arts
Degree Programme	Media
Specialisation option	3D Visualisation and Animation
Instructor(s)	Pasi Kaarto, Senior lecturer
<p>This final Thesis investigates different methods for creating a textured 3D model out of photographs. Three different ways of creating a 3D model are compared to each other to find out the strengths and shortcomings of each one. First is an entirely manual way of modelling, second way is modelling assisted by photogrammetry software and the third way is to let photogrammetry software do all the work by itself.</p> <p>House as a target model is traditionally the most difficult subject for automatic modelling. It cannot be taken to the studio for controlled photography environment nor does it fit to any normal 3D scanner. Shooting outdoor photography created lots of new challenges; the lighting was constantly changing, there was obstacles that hid the house, things like other buildings, trees, cars and people. All this affected the final modelling and texturing process. In this thesis the focus was set to two photogrammetry applications; Autodesk Image Modeller and Autodesk 123D Catch. For completely manual modelling process Autodesk Maya was used.</p> <p>It was discovered that automatic 3D modelling process is not yet reliable enough to have it as the sole modelling process. If the object to be modelled is not too complex, an automatic modelling process can bring a real boost to the modelling and texturing workflow. Semi-automatic modelling brings the best accuracy and film industry is often using this method if laser scanning is not an option.</p> <p>As a conclusion the author points out that of if the finished 3D model does not have to be an accurate representation of reality, a manual process is often the fastest method to get results. Ptex is not always a substitute for UV mapping but it is worthwhile to check how it could be incorporated to your own workflow. If possible it is recommended to always take photographs for automatic modelling and check if it brings any usable data. After that the rest can be done with other methods. Most likely the workflow to be used is not any one presented here but some combination of them.</p>	
Keywords	Photogrammetry, 3D, Building, ptex, Maya, 123D Catch, Image Modeller, HDRI, Panorama, Photography

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Menetelmät, joilla kuvasta saadaan 3D-malli	2
2.1	Manuaalinen mallinnus	2
2.2	Puoliautomaattinen 3D-mallinnus fotogrammetrian avulla	3
2.3	Täysin automatisoitu mallinnus fotogrammetrian avulla	4
3	Manuaalinen 3D-mallinnusprosessi käytännössä	4
3.1	Valokuvien ottaminen	4
3.2	Valokuvien linssivääristymien korjaaminen	5
3.3	Valokuvien asettaminen 3D-avaruuteen mallinnusta varten	6
3.3.1	Manuaalinen kameran asettaminen 3D-tilaan	7
3.3.2	Ortografinen sivuprojektio	7
3.4	Mallinnus valokuvien avulla	9
3.5	Teksturointi	10
3.5.1	Tekstuurien projisointi malliin	10
3.5.2	UV-kartoitus	11
3.6	Materiaalit, valaistus ja renderöinti	13
4	3D-mallinnusprosessin osittainen automatisointi	13
4.1	Valokuvien ottaminen	14
4.2	Valokuvien linssivääristymien korjaaminen	14
4.3	Kuvien kalibrointi 3D-avaruuteen	15
4.4	Mallintaminen 3D-pisteiden ja kameroiden avulla	16
4.5	UV-kartoituksen välttäminen Ptex-tekniikalla	17
4.6	Tekstuurien projisointi malliin	19
4.7	Materiaalit, valaistus ja renderöinti	20
5	3D-mallinnusprosessin täydellinen automatisointi käytännössä	21
5.1	Valokuvien ottaminen	21
5.2	Saadun 3D-mallin ehostus	22
5.3	3D-mallin teksturointi	23

5.4	Materiaalit, valaistus ja renderöinti	24
6	Valmiin kuvan luominen	25
6.1	Tekstuurien siivoaminen (okkluusion poisto)	25
6.2	Materiaalien luominen tekstuureista	26
6.2.1	Diffuusikartta (diffuse map)	26
6.2.2	Siirtokartta (displacement map)	27
6.2.3	Läpinäkyvyyskartta (transparency map / opacity map)	28
6.3	Valaistus kuvaa käyttämällä	28
6.3.1	HDRI-kuvan ottaminen	29
6.3.2	HDRI-pallopanoraaman kuvaaminen	30
6.3.3	Lineaarinen työnkulku	33
6.4	Jälkikäsittely	34
7	Yhteenveto	36
7.1	Mallintaminen kuvista	36
7.1.1	Manuaalinen mallinnus sivuprojektio kuvan avulla	36
7.1.2	Manuaalinen mallinnus manuaalisesti asetettavan kameran avulla	37
7.1.3	Puoliautomaattinen mallinnus fotogrammetriasovelluksen avulla	37
7.1.4	Automaattinen mallinnus fotogrammetriasovelluksen avulla	38
7.2	UV-kartoitus vai Ptex	39
7.3	Teksturointi	40
7.3.1	Teksturointi sivuprojektio kuvan avulla	40
7.3.2	Teksturointi 3D-teksturointiohjelmassa	40
7.3.3	Teksturointi automaattisen mallinnuksen avulla	41
7.4	Loppusanat	41
8	Lähteet	42
9	Liitteet	1
9.1	Ohjelmia käyttötarkoituksen mukaan	1
9.2	Tämän opinnäytetyön kuvien tekoon käytettyjä ohjelmia	1
9.3	Sanasto	2

1 Johdanto

Elokuvassa halutaan räjäyttää tarinan loppuun talo, josta sankari pakenee liekit roihuten, mutta sen toteuttaminen on oikeasti liian kallista ja vaarallista. Pelin tapahtumat halutaan sijoittaa johonkin tiettyyn paikkaan maailmassa. Historiallisesta kartanosta halutaan tehdä pienoismalli esittelyä varten. Kaikkia näitä varten tarvitaan 3D-malli jo olemassa olevasta rakennuksesta. Käyttökohteita on tietysti yhtä paljon kun on mielikuvitusta, ja uusia ideoita edistävät uudet teknologiat, kuten esimerkiksi 3D-tulostus ja WebGL.

3D-mallin teko on kuitenkin aikaa vievää työtä ja sellaista, jonka ainakin teoriassa voisi täysin automatisoida. Kun asian voi automatisoida, tai ainakin helpottaa sen tekemistä, niin kannattaa aina yrittää tehdä sellainen tuotantoputki, jolla helpotetaan tulevaa työtä, näin monet suuret keksinnöt ovatkin syntyneet; kopiokone syntyi yksityisen ihmisen toimesta, joka työssään joutui koko ajan kopioimaan dokumentteja, pyörän kumirenkaat syntyivät kun isä katsoi, kuinka hankalaa pojalla oli puuvanteilla (Inventions That Shook The World, 2011). Vain oravat keraävät pähkinänsä samalla tavalla kuin tuhat vuotta sitten, mutta ihminen ymmärtää helpottaa omaa elämäänsä ja tehdä siitä näin sellaisen, jonka itse haluaa (Chiu, 2010).

Toimivia 3D-skannereita ja kopiointimenetelmiä on jo keksitty useita, monet niistä ovat erittäin toimivia, mutta ne käytännössä aina rajoittuvat siihen, että skannattava kohde tuodaan studioon ja digitoidaan siellä joko laserilla tai isolla kamerajärjestelmällä, johon voi kuulua kymmeniä kameroita.

Taloja ei kuitenkaan voida tuoda studioon ja niiden tarkka laserskannaaminenkin on hankalaa, koska talot ovat usein lähellä toisia taloja, niiden ympärillä on autoja, puita, pylviä ja muita esteitä. Nämä kaikki tekee automaattisesta mallintamisesta hankalaa. Kuinka paljon tätä työtä voidaan sitten automatisoida ja missä tapauksissa? Tämän tutkimuksen puitteissa otamme selvää, miten paljon talon mallintamista voidaan automatisoida käyttäessämme pelkästään valokuvia lähdemateriaalina.

Liitteestä 3 löytyy sanasto, jossa lyhyesti kuvaillaan suurin osa käytetyistä termeistä.

2 Menetelmät, joilla kuvasta saadaan 3D-malli

Olen jaotellut 3D-mallin luontimenetelmät kolmeen eri tyyppiin: täysin manuaaliseen, jossa kuvat laitetaan käsin kameroiden taustoille. Puoliautomaattiseen, jossa käsin merkitään samat pisteet eri valokuvissa, jonka perusteella fotogrammetriaohjelma laskee mallinnuspisteiden ja kameroiden sijainnin 3D-avaruudessa. Sekä täysin automaattiseen, jossa fotogrammetriaohjelma pyrkii itse laskemaan kamerrat, tekemään 3D-mallin ja projisoimaan tekstuurit sen pintaan. Tässä luvussa käsittelemme jokaisen kolmen tyypin perustoimintamallin teoriassa ja seuraavissa kappaleissa tutkimme, miten tämä prosessi käytännössä tapahtuu. Tämän perusteella meidän tulisi tietää, kuinka paljon olemassa olevan talon mallinnusta voi ja kannattaa automatisoida missäkin tapauksessa.

2.1 Manuaalinen mallinnus

Perinteisesti 3D-malli talosta on luotu niin, että mallinnettavasta kohteesta kuvataan suoraan kaikilta sivuilta otetut kuvat (tai yleensä vähintään kahdelta sivulta) jotka kuvankäsittelyohjelmassa käsitellään niin, että kaikissa kuvissa sama kohta on oikealla korkeudella: Piippu, ovet ja ikkunat ovat jokaisessa kuvassa tismalleen samalla korkeudella. Nämä kuvat sitten 3D-mallinnusohjelmassa laitetaan vastaavien sivuprojektiokameroiden taustakuviksi (image plane), joiden avulla mallinnetaan varsinainen talo.

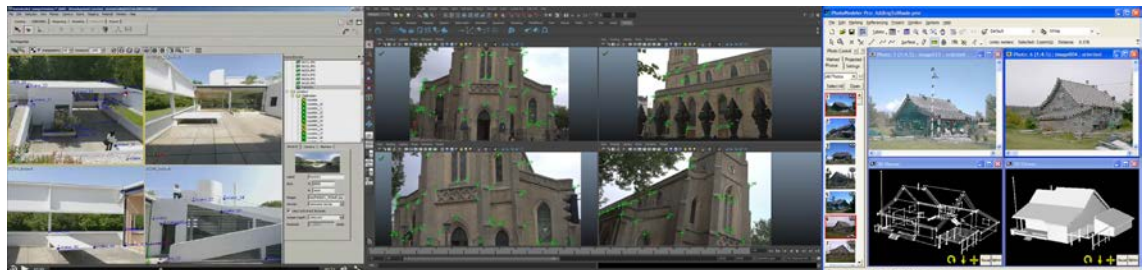
Myös vain yhtä kuvaa käyttämällä voidaan luoda malli, mutta silloin talon syvyys jää arvailujen varaan. Varsinkin peleihin rakennuksia tehtäessä saatetaan monesti käyttää vain yhtä kuvaa, joka on saatavilla. On usein järkevämpää tehdä olemassa olevasta kuvasta 3D-malli ja projisoida kuvan tekstuurit siihen kuin tehdä täysin oma malli ja alkaa etsiä sopivia realistisia tekstuureja.

Kuvan projisointia 3D-pinnalle tukevat kaikki nykyaikaiset 3D-mallinnusohjelmat, kuten 3DS Max, Maya, Modo, Blender, Mudbox ja Mari.

2.2 Puoliautomaattinen 3D-mallinnus fotogrammetrian avulla

Täysin manuaalisella menetelmällä kuvat sijoitetaan 3D-avaruudessa toisiinsa nähden käsin, mutta jos tämän osuuden antaa tietokoneen hoidettavaksi, saadaan yhtä vaihetta yksinkertaistettua ja mallinnuksen tarkkuutta mahdollisesti parannettua varsinkin, jos emme pysty kohdetta kuvaamaan suoraan sivusuunnasta. Fotogrammetria-sovelluksia varten kuvan kannattaakin ottaa enemmän 45 asteen kulmasta niin kohteen kolmiulotteisuus tulee selvästi esille.

Halutusta kohteesta otetaan joukko kuvia, yleensä vähintään kolme, mutta jos kohde kuvataan jokaiselta sivulta voidaan kuvia ottaa enemmänkin. Kuvat joista on poistettu linssivääristymät syötetään fotogrammetria-sovellukseen, jossa manuaalisesti jokaiseen kuvaan merkitään sama kohta pisteellä. Pisteiden avulla ohjelma osaa muodostaa 3D-avaruuden, jossa pisteet sijaitsevat oikeassa suhteessa toisiinsa. Ohjelma myös määrittää mistä kohdasta kuvat ovat otettu ja tekee näihin paikkoihin virtuaalisen kameran. Suuret tuotantoyhtiöt käyttävät toisinaan kuvien oton yhteydessä LiDar-skanneria, joka luo automaattisesti todella suuren määrän pisteitä kuviin. Näin vältetään manuaalinen pisteiden laitto ja mahdollinen inhimillinen virhe pisteiden asettelussa.



Kuvio 1. Manuaalista pisteiden asettelua tukevia fotogrammetriasovelluksia vasemmalta oikealle: Autodesk Image Modeller, Autodesk Mayan sisällä toimiva Enwai Banzai Pipeline, EOS Systems Photo Modeller.

Luodut pisteet ja kamerat siirretään sitten varsinaiseen 3D-mallinnusohjelmaan missä 3D-malli luodaan luotuja pisteitä apuna käyttäen. 3D-ohjelmaan tuoduille virtuaalisille kameroille annetaan sillä oikeasti otettu kuva taustakuvaksi (image plane). Näin 3D-malli voidaan luoda katsomalla alkuperäisten kameroiden läpi ja malli, joka näin luodaan asettuu automaattisesti jokaisessa kamerassa juuri niin kuin se on valokuvassa.

Tämän jälkeen malliin tehdään UV-kartta, jolla kerrotaan tietokoneelle, miten kaksiulotteinen tekstuuri halutaan sijoittaa 3D-malliin ilman, että kuva venyy tai litistyy. Valmiiseen UV-kartoitettuun malliin voidaan kameroiden läpi projektoida kameralla otettu kuva, näin saadaan aito väritekstuuri 3D-mallille.

2.3 Täysin automatisoitu mallinnus fotogrammetrian avulla

Täysin automaattista mallinnusta varten otetaan suuri joukko kuvia, noin 40, tai jopa ihan videokuvaa kohteesta. Kuvat annetaan fotogrammetria sovellukselle, joka yrittää automaattisesti etsiä jokaisesta kuvasta samat kohdat ja luoda tämän perusteella mahdollisimman hyvän 3D-mallin. Tämän jälkeen se tekee automaattisesti UV-kartan ja myös projisoi tekstuurin mallin pintaan käyttämällä muutamaa otettua kuvaa projektiokamerana. Näin varsin pienellä työllä voidaan saada jo hyvinkin lähelle oikean näköinen 3D-malli.

Täysin automaattisen mallinnuksen tekeviä ohjelmia:

- Photo Modeller
- Autodesk 123D Catch
- Photoscan Pro

3 Manuaalinen 3D-mallinnusprosessi käytännössä

3.1 Valokuvien ottaminen

Valokuvatessa 3D:tä varten peruseriaate on aina sama; haluamme kohteen kokonaisuena jokaiseen kuvaan, yhtenevillä kameran asetuksilla mahdollisimman litteänä, ilman kirkkaita valoja, varjoja ja esteitä ja kauttaaltaan tarkkana. Näin kuvista saadaan mahdollisimman hyvät tekstuurit ja kuvat on mahdollisimman helppo yhdistää toisiinsa 3D-avaruudessa.. Zoomia käyttäessä linssivääristymät vähenee, mutta kohdetta voi olla vaikeampi saada kokonaan kuvaan. Tärkeintä onkin käyttää jokaisessa kuvassa samaa polttoväliä, tai kirjata zoomin asetukset jokaisen kuvan kohdalta. Manuaalivalotus on myös tärkeä kuvia otettaessa. Järjestelmäkameroissa Av-

tila (aperture priority) pitää valotuksen samana jokaisessa kuvassa. Myös täysin manuaalista tilaa voidaan käyttää.

Koska aina ei ole pilvistä silloin kun haluaisi kuvata 3d:tä varten, voi kameran linssin eteen laittaa CPL-filtterin, joka auttaa heijastuksien poistamisessa. Näin kuvasta tulee tasaisempi. Tummia varjoja ei sekään hävitä. Varjoja saadaan poistettua jälkikäteen esimerkiksi kuvankäsittelyohjelmien levels-työkalulla.

3.2 Valokuvien linssivääristymien korjaaminen

Kun otetaan valokuva, valo taittuu kameran linssin läpi sensorille ja koska linssit ovat kaarevia (tai kuperia) tulee kuvan suorista viivoista myös vastaavanlaisia. Erittäin laajakulmaisia linsejä kutsutaankin kalansilmälinseiksi, koska ne väärentävät kuvaa erittäin voimakkaasti. Mitä laajempi alue halutaan kuvaan, sitä pienempi linssin polttoväli on ja sitä suurempi on kuvan vääristymä. Kun zoomaa kohteeseen, polttoväli suurenee ja kuvaan tulee vähemmän vääristymää, mutta kuva-ala myös pienentyy, jolloin koko kohteen mahduttaminen kuvaan tulee vaikeaksi.



Kuvio 2. Kuva on otettu 18mm polttovälillä, jolloin selvästi näkyvää linssivääristymää tulee kuvaan. Rakennuksen pitäisi oikeasti olla suora kuvan punaisen viivan mukaisesti.

Koska kaikissa linseissä on aina jonkin verran vääristymää, se pitää saada pois, jotta kuvista tekemämme 3D-malli on suora niin kuin oikeassa elämässäkin. Linssivääristymät korjataan usein manuaalisesti kuvankäsittelyohjelmassa. Koska

korjaus on helppoa tehdä kuvaan, jossa on selkeät suorat viivat, kuvataan kovalle taustalle tulostettu ruudukko samoilla kameran asetuksilla kuin kohteesta otetut kuvat otettiin. Käyttämällä esimerkiksi Photoshopin Lens Correction -filtteriä, ruudukon käyrät viivat suoristetaan ja tästä saadaan arvo, jota voidaan käyttää kaikkiin samalla tavalla otettuihin varsinaisiin kuviin.



Kuvio 3. Lens Distortion Grid -ruudukko, jonka avulla saadaan tietoon kameran ja objektiivin muodostama linssivääristymä. Vasemmalta: Alkuperäinen kuva tiedostona, keskellä A3:lle tulostettu kuva järjestelmäkameralla kuvattuna ja viimeisenä sama kuvankäsittelyohjelmassa korjattuna. Näin saaduilla asetuksilla korjataan varsinaiset talosta otetut kuvat.

Kuva korjauksen jälkeen kuvat usein vielä tarkistetaan, piirtämällä suorat viivat kohtien päälle joiden kuvassa pitäisi olla suorassa linjassa.



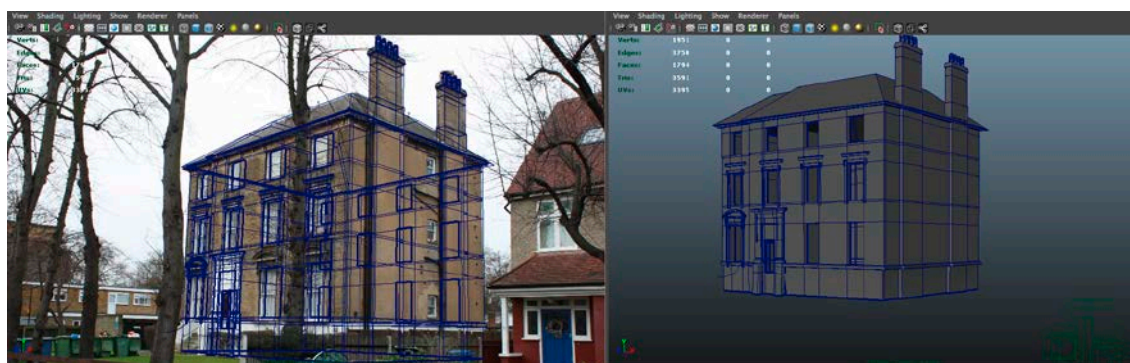
Kuvio 4. Kuvassa on vedetty suorat viivat horisontin pakopisteeseen. Rivissä olevat ikkunat asettuvat samalle viivalle ja räystääs on suorana viivaa pitkin. Tästä tiedämme, että sivusuunnassa kuva on kohdallaan. Kun seinät vielä kulkevat suorien pystyviivojen mukaisesti voimme varmuudella sanoa, että ainakin suurimmat linssivääristymät ovat kuvasta korjattu.

3.3 Valokuvien asettaminen 3D-avaruuteen mallinnusta varten

Käytännössä on kaksi perustapaa, jolla kuvat voidaan manuaalisesti sijoittaa 3D-avaruuteen. Joko kuvista poistetaan perspektiivi ja kiinnitetään ortograafisiin sivukameroihin, tai kuvat sellaisenaan kiinnitetään oikeaa vastaavaan 3D-kameraan, joka sijoitetaan silmämääräisesti 3D-avaruuteen.

3.3.1 Manuaalinen kameran asettaminen 3D-tilaan

Monesti käytössämme saattaa olla vain yksi kuva, joka on otettu sellaisesta kulmasta, että siitä on vaikea saada poistettua perspektiiviä. Tällöin kuva kannattaa kiinnitetään 3D-mallinohjelman perspektiivikameraan ja kameran asetuksiin laitetaan sama polttoväli ja kuvasuhde kuin kamerassa oli kuvaa otettaessa. Sen jälkeen 3D-kamera sijoitetaan niin, että se on mahdollisimman lähellä oikeata kuvauspaikkaa suhteessa kuvattuun valokuvaan. Kameran asettelussa auttaa, jos tietää miltä korkeudelta se on otettu ja on jokin mitta kuvassa näkyvässä kohteessa. Monesti luova päättely auttaa; kuvat otetaan monesti seisaaltaan eli noin 170cm korkeudelta ja Suomessa ulko-oven korkeus on noin 220cm.



Kuvio 5. Kameran paikka on etsitty käsin 3D-tilaan. Näin voidaan mallintaa yhdenkin kuvan avulla. Kun oikea kohta löytyy kameran asetukset lukitaan jottei ne vahingossakaan enää muutu.

3.3.2 Ortografinen sivuprojektio

Manuaalisesti on kohtalaisen työ määrittää mistä valokuva on otettu 3D-avaruudessa. Helpompaa on kiinnittää valokuvat ortografisiin kameroihin jotka ovat suoraan kohteen sivuilla. Tämä tarkoittaa, että kuvien pitää myös olla ortografisia eli ne on pitänyt ottaa tarkalleen kohteen sivusta, jotta niissä ei näy perspektiivi. Käytännössä juuri koskaan

kuva ei ole suoraan sivusta joten kuvaan pitää tehdä perspektiivi korjausta. Perspektiivikorjaus tehdään linssikorjauksen tapaan kuvankäsittelyohjelmassa.

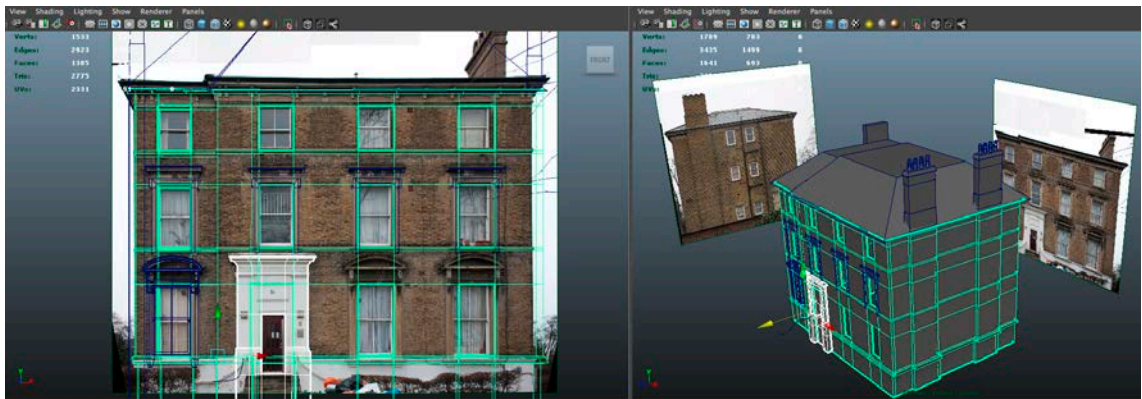


Kuvio 6. Vasemmalla alkuperäinen valokuva, jossa viivat pullistelevat linssin mukaan. Keskimmäisessä kuvassa linssivääristymät ovat korjattu ja talon ääriviivat menevät suoraan pakopisteeseen. Oikeanpuoleisessa kuvassa on poistettu perspektiivi eli se on muutettu ortografiseksi ja talo näyttää kun se olisi kuvattu tarkalleen keskeltä edestä. (Alkuperäinen kuva, McWilliams).

Jos kuvia on enemmän kuin yksi, eli kohteesta on esimerkiksi etukuva ja sivukuva niin kuvat pitää vielä kohdistaa toisiinsa niin, että kaikki ovat molemmissa kuvissa samalla korkeudella. Ikkunat, ovet ja muut kohteet ovat samassa kohdassa.



Kuvio 7. Kuvankäsittelyohjelmassa ortograafiset kuvat tarkalleen kohdistetaan toisiinsa ja tallennetaan sitten erillisinä kuvina 3D-mallinnusohjelmaa varten.



Kuvio 8. 3D-mallinnusohjelmassa kuvat asetellaan ortografisiin etu- ja sivukameroihin, joiden avulla aloitetaan 3D-mallinnus. Vasemmalla ortograafinen etukamera ja oikealla perspektiivinäkymä 3D-mallista projektiokuvista 3D-tilassa.

3.4 Mallinnus valokuvien avulla

Kohde mallinnetaan katsomalla kohdetta projektiokameran läpi ja rakentamalla kohteen päämuodot, ikkuna ja oviaukot ja piippu. Tässä vaiheessa voidaan vielä tarkistaa, että luotava 3D-objekti on jokaisesta kohdasta mahdollisimman tarkasti kuvien mukainen. Sen jälkeen aletaan tekemään yksityiskohtia malliin ja lisäämään erillisiä osia, kuten ikkunan karmit, ovet, rännit jne. Koska mallinnettavasta kohteesta tulee yleensä liiankin suora, 3D-objektille aiheutetaan ajan tuomaa räsitusta eli ikkunalautoihin laitetaan pieniä epätasaisuuksia, rännit ovat aina ainakin aavistuksen kieroja ja kulmat ovat ajan myötä monesti hieman lohkeilleet. Matemaattisen viivasuorat kohdat joissa ei ole särön säröä tuhoaa helposti illuusion oikeasta talosta.



Kuvio 9. Vasemmalla alkuperäinen kuva. Oikealla 3D-malli renderöitynä Ambient occlusion shaderilla. Näin saadaan jo hyvä kuva mallin ulkonäöstä. Virheet geometriassa näkyvät myös helpommin mallin pinnassa ennen varsinaista valaistusta ja teksturointia. Virheet esiintyvät usein tummentumina väärissä paikoissa.

3.5 Teksturointi

Tekstuurien avulla saamme harmaasta 3D-mallista enemmän luonnollisen näköisen. Kun tekstuureista muodostetaan oikean kaltaiset materiaalit kiiltoineen, heijastuksineen ja pinnan epämuodostumineen, alkaa mallimme selvästi lähestymään esikuvaansa.

Kun teemme tarkkaa mallia olemassa olevasta kohteesta on kohteesta otetun kuvan projisointi mallin pintaan luonnollinen alku mallin tekstuurien teolle. Tekstuurin projisoinnista seuraavassa luvussa.

Muutoin teksturointi ja materiaalien teko on samanlainen prosessi jokaisessa esittelemässäni kolmessa mallinnusprosessissa. Tämän takia materiaalien lopullinen teko käydään luvussa Valmiin kuvan luominen.

3.5.1 Tekstuurien projisointi malliin

Käytimme valokuvia ja 3D-kameroita luomaan mallin talosta. Samoja kuvia ja kameroita voimme käyttää myös projisoimaan itse kuvan talosta sen pintaan. Näin saamme vähällä vaivalla täysin alkuperäisen tekstuurin talolle.

Talolle luodaan projektio materiaali, jonka avulla saamme tekstuurin mallin pintaan juuri sellaisena kuin se onkin. Koska tekstuuri projisoidaan kohteen pintaan lennossa kameran osoittamasta suunnasta, emme projisointiin tarvitse tekemäämme UV-kartoitusta. Tekstuuri on kuitenkin vain yksi osa mallin varsinaista materiaalia, jotta saamme oikean materiaalin, meidän pitää leipoa eli kiinnittää projisoitu tekstuuri pysyvästi mallin pintaan niin ettemme tarvitse kameroita enää. Näin voimme lisätä mallista puuttuvat epätasaisuuden, kiillot ja muut oikean materiaalin ominaisuudet. Malliin leivotut tekstuurit tarvitsevat UV-karttaa.



Kuvio 10. Edestäpäin otettu kuva talosta on projisoitu talon pintaan vastaavan 3D-kameran kautta. Talon sivuilla ja takana ja katolla tekstuuri projisoituu vain läpi, mutta talon etuosaan saamme jo varsin toimivan tekstuurin.

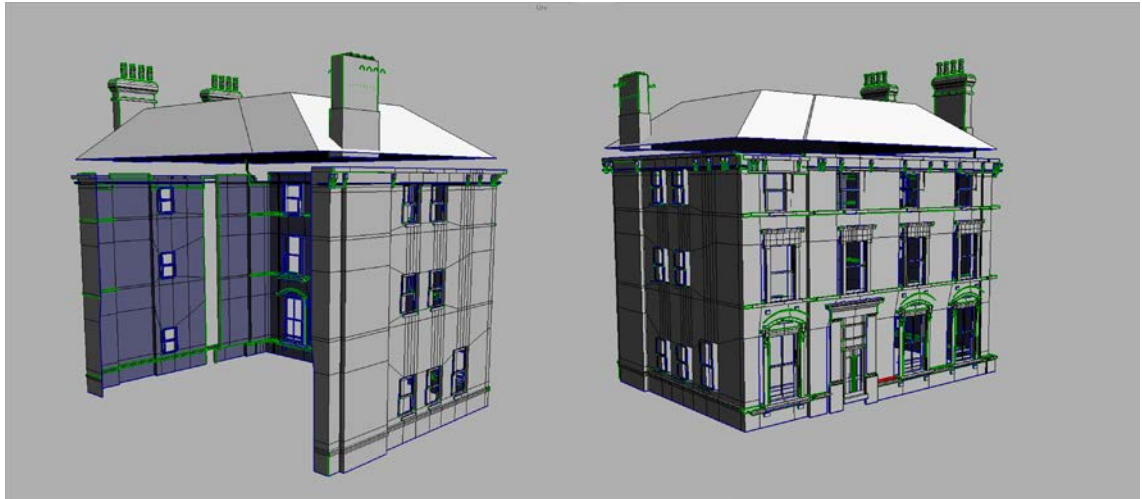


Kuvio 11. Käyttämällä kuvankäsittelyohjelmassa luotua alpha maskia, voimme yhdistää useampia projektioita samalle mallille. Vasemmalla alpha mask, joka estää edestä tehdyn projektion valumisen sivuprojektioiden päälle (valkoinen päästää tekstuurin läpi, musta estää). Oikealla malli, johon on projisoitu tekstuuri sivusta ja edestä alpha maskia apuna käyttäen.

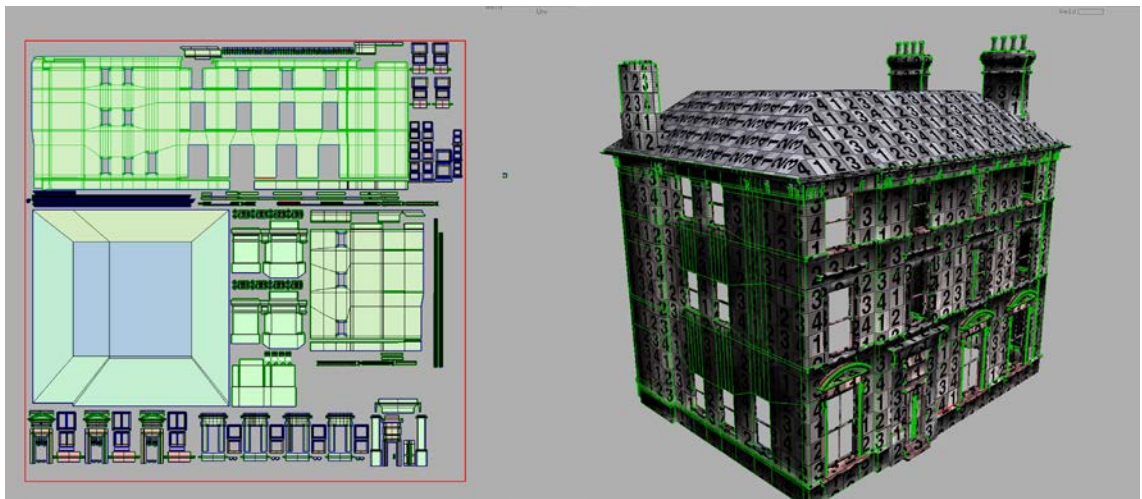
3.5.2 UV-kartoitus

Kun talon geometria on valmis sille tehdään UV-kartta, jonka perusteella kaksiulotteinen tekstuuri saadaan venytettyä kolmiulotteisen mallin päälle. UV-kartoitusta suunniteltaessa 3D-objekti hajotetaan loogisiin osiin jotka yritetään saada

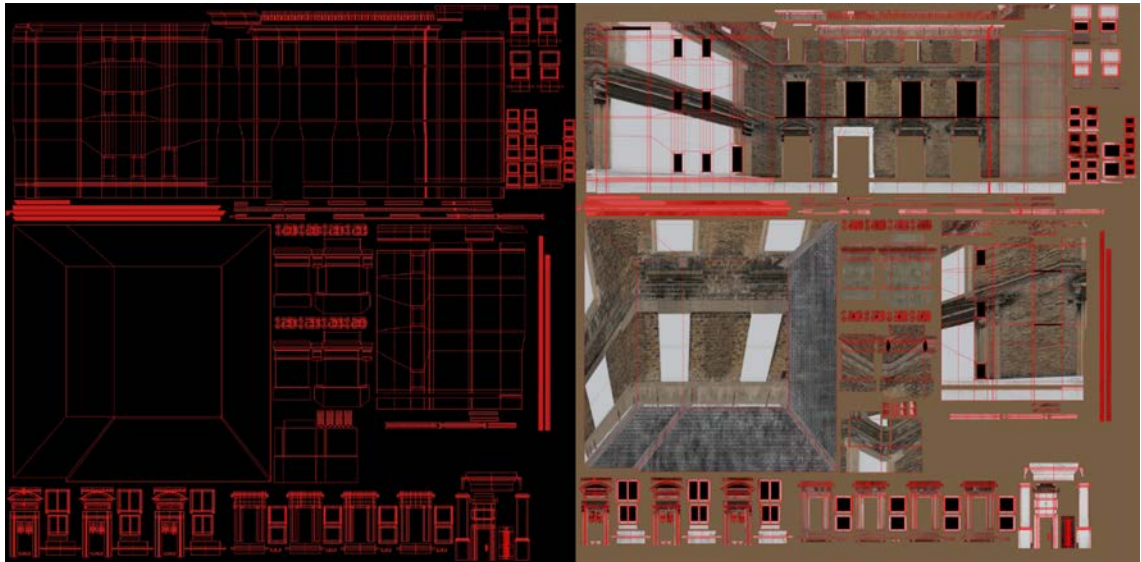
mahdollisimman vähillä saumoilla ja pinnan vääristymisellä litistettyä kaksiulotteiselle tasolle. Näin 2d tekstuuri voidaan projisoida osien pintoihin. Tekstuurin saumat yritetään usein piilottaa paikkoihin joissa niitä on vaikea huomata. Alpha-kanavan avulla myös kaksi osittain päällekkäistä tekstuuria saadaan saumattomammin yhdistymään toisiinsa.



Kuvio 12. Talon 3D-malli sananmukaisesti leikataan osiin jotka jokainen litistetään tasolle, aivan kuin purkaisit pahvilaatikon saadaksesi sen littanaksi. Jokaiseen leikkauskohtaan tulee tekstuurin sauma. Rakennuksissa saumakohtat pyritään sijoittamaan niin, että sillä kohtaa materiaali muutenkin vaihtuisi.



Kuvio 13. Vasemmalla talo on litistetty osina yhdelle UV laatalle (punainen neliö), eli kaikkien osien tekstuuri voidaan näin sijoittaa yhteen kuvatiedostoon. Oikealla taloon on laitettu testi-teksturi, jonka avulla tutkitaan mahdolliset tekstuurin venymiset. Jos testitekstuurin neliöt pysyvät mahdollisimman lähelle neliöinä, niin uv-kartoitus on onnistunut.



Kuvio 14. Vasemmalla: Kun UV-karttoitus on tehty siitä voidaan ottaa UV snapshot eli karttakuva, joka tuodaan kuvankäsittelyohjelmaan. Karttakuvan perusteella voidaan asetella haluamme tekstuuri juuri oikeaan paikkaan kuvatiedostossa. Oikealla: Leivottu projektitekstuuri on tuotu samaan kuvaan uv-kartan apuviivojen kanssa. Näin voimme tarkasti katsoa mihin asti tekstuuriin pitäisi yltää, jos tekstuuriin projisointi ei ole aivan täysin kohdallaan. Tekstuuriin projisoinnista lisää seuraavassa luvussa.

3.6 Materiaalit, valaistus ja renderöinti

Materiaalien valmistus tekstuureista, valaistus ja renderöinti ovat prosessin viimeiset vaiheet joissa luodaan lopullinen kuva. Tutkimani kolme mallinnustekniikkaa ei ota osaa materiaaleihin, valaistukseen, tai renderöintiin ja ne ovat siis vastaavanlaiset jokaisessa kolmessa tapauksessa. Koska on kuitenkin hyödyllistä tietää koko prosessin pituus ja kuinka paljon yksittäinen osa alue on koko prosessia, niin luvussa "Valmiin kuvan luominen" käydään loppuprosessi vielä läpi.

4 3D-mallinnusprosessin osittainen automatisointi

Tutkimme millä tavalla talon mallinnuksen joitain vaiheita voitaisiin automatisoida ilman, että menetämme kontrollia lopputulokseen. Käytämme apuna

fotogrammetriaohjelmaa, jolla määrittelemme kohteesta ottamamme kuvat 3D-avaruuteen. Ptexin avulla yritämme myös oikaista hankalan UV-kartoituksen ohitse.

4.1 Valokuvien ottaminen

Fotogrammetria-ohjelmaa varten valokuvia kohteesta tarvitaan vähintään kolme, niitä voidaan ottaa myös paljon enemmän eikä kaikkia kuvia tarvitse välttämättä kalibroida, jotta niitä voidaan käyttää 3D-mallin luomiseen. Toisin kuin manuaalisessa prosessissa, suoraan edestä, tai sivulta päin otetut kuvat eivät ole kalibroinnin kannalta niin hyödyllisiä kun esimerkiksi noin 45 asteen kulmassa otetut kuvat joista saadaan parempi syvyysinformaatio (Image Modeller käyttäjäopas, 242).

Yksinkertaisin tapa ottaa kuvasarja on ottaa yksi kuva talon kummastakin kulmasta ja yksi suoraan edestäpäin. Näin X ja Y suunnassa saadaan erittäin tarkkaa informaatiota ja syvyys suunnassa saadaan kohtalainen informaatio. Syvyys suunnan tarkkuutta voi parantaa, jos kuvan etualalla irti itse talosta on jokin esine, jota voidaan käyttää kalibrointipisteinä. Tällaisia esineitä, tai käsin aseteltuja rasteja käytetään usein, varsinkin kun tehdään rotoscopinkia eli videokuvan ja 3D-kameroiden synkronointia, mutta valokuvauksessa sitä voi käyttää yhtä hyvin.



Kuvio 15. Kuvia voidaan ottaa useita ja myös samasta kulmasta liikumalla vain hieman eri kohtaan.

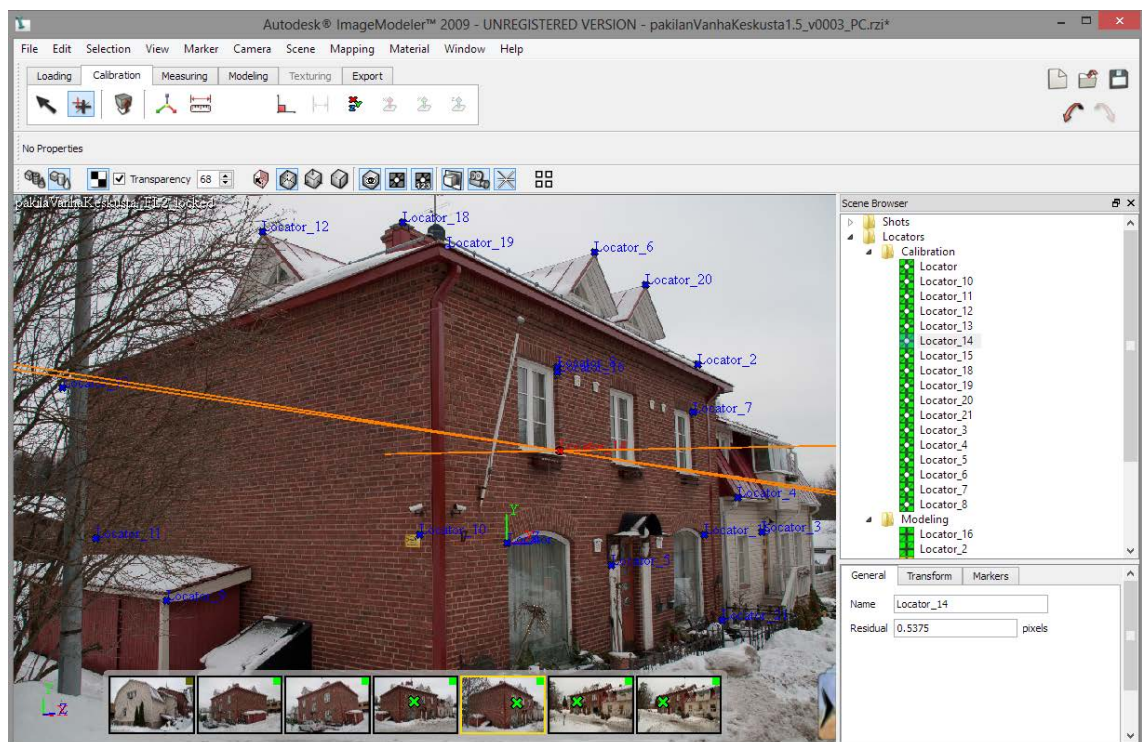
4.2 Valokuvien linssivääristymien korjaaminen

Valokuvista poistetaan linssivääristymät samalla tapaa kuin täysin manuaalisessakin prosessissa. Fotogrammetriaohjelmissa on yleensä oma linssinvääristymienkorjailu, mutta tämä useimmiten kannattaa tehdä erillisessä sovelluksessa tarkemman tuloksen aikaan saamiseksi (McWilliams, 1.2013).

4.3 Kuvien kalibrointi 3D-avaruuteen

Perinteisten fotogrammetriaohjelmien toiminta perustuu siihen, että ne niille kerrotaan mikä piste on kaikissa eri kuvissa sama kohta. Näitä kalibrointipisteitä tarvitaan Autodeskin Photomodellerissa vähintään 12 ja jokainen piste pitää esiintyä ainakin kolmessa eri kuvassa. Kun ohjelmalle kerrotaan myös kameran objektiivin polttoväli, kameran sensorin koko ja kuvasuhde niin ohjelma osaa laskea pisteiden sijainnin 3D-avaruudessa ja sijoittaa kameroiden paikat oikeaan kohtaan.

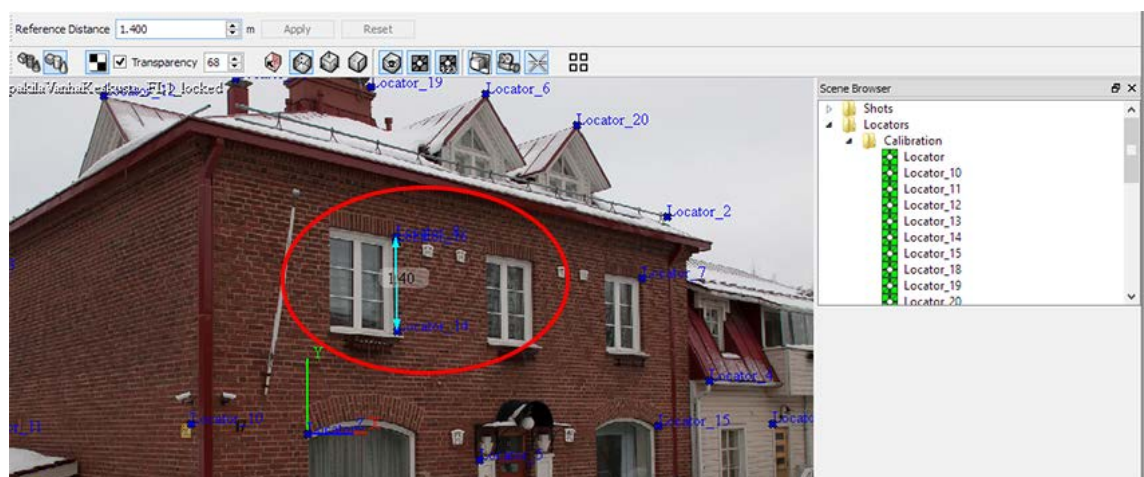
Koska ohjelma ei voi tietää mikä kuvassa on X, Y ja Z suunta, kalibrointipisteiden sijoittelu onkin tältä kannalta tärkeää. Jokaisen akselin suuntaisesti olisi hyvä saada kaksi pistettä jotka sijaitsevat samalla pinnalla. Näin ohjelmalle voidaan kertoa, miten koordinaatisto asettuu 3D-avaruuteen ja missä on origo. Täten mallinnusohjelmassa koordinaatisto on juuri niin kuin haluamme.



Kuvio 16. Autodesk Image Modeller. Onnistuneen kalibroinnin jälkeen ohjelma näyttää oikean laidan listassa vihreällä kalibrointipisteet, jotka ovat sen laskelmien mukaan oikeassa kohdassa suhteessa toisiin pisteisiin. Alaosan kuvastripissä näkyy valitun pisteen sijainti jokaisessa eri valokuvassa.

Kalibrointipisteiden lisäksi projektiin voidaan lisätä kuvia ja pisteitä, joita ei käytetä varsinaiseen kalibrointiin. Näitä voidaan käyttää mallinnuksen apuna kun ne siirretään varsinaiseen mallinnusohjelmaan. Ylimääräiset kuvat sijoitetaan kuviin aseteltuja mallinnuspisteitä apuna käyttäen. Ensimmäisen kalibroinnin jälkeen ohjelmat osaavat jo yleensä neuvoa, kuinka lähelle oikeaa paikkaa olet uutta mallinnuspistettä laittamassa.

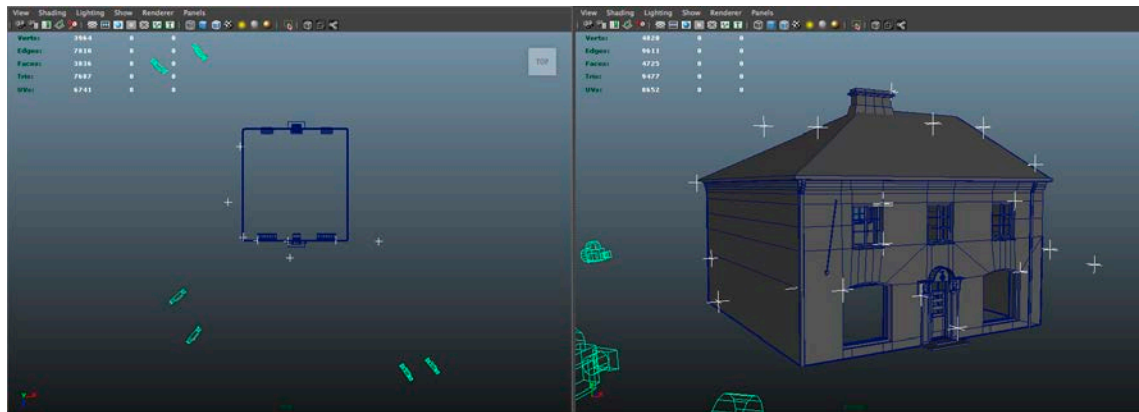
Pisteavaruus saadaan oikeaan mittakaavaan kun kuvaan määritellään jokin tiedossa oleva mitta, esimerkiksi ikkunan korkeus voidaan mitata kuvauksen yhteydessä. Fotogrammetriaohjelmassa voidaan myös luoda proxy-malli eli talon kokoa hahmottavia laatikoita, jolloin kohteen hahmottaminen lopullisessa 3D-mallinnusohjelmassa helpottuu, kun ei tarvitse päätellä kohteen alkumuotoa pelkkien pisteiden avulla.



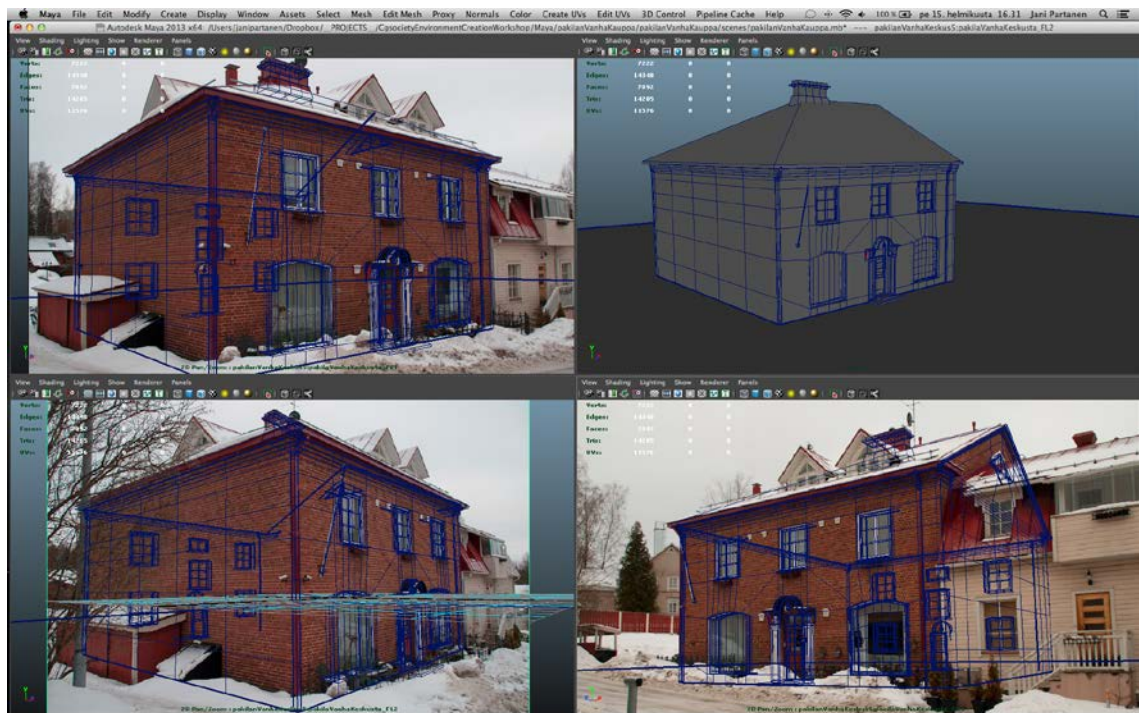
Kuvio 17. Kuvaan on määritelty ikkunan korkeudeksi 1,4 metriä. Tätä käytetään koko pisteavaruuden skaalaamiseksi oikeaan kokoon.

4.4 Mallintaminen 3D-pisteiden ja kameroiden avulla

Mallintaminen pisteiden avulla on helppoa, koska ei tarvitse enää arvuutella mihin kohtaan talon kulma pitää avaruudessa sijoittaa, jotta se jokaisessa kuvassa näyttäisi oikealta. Mitä enemmän mallinnuspisteitä on tehnyt sen helpommaksi itse mallintaminen tulee ja sitä vähemmän tarvitsee tutkia projektiokuvia saadakseen perusmallin valmiiksi.



Kuvio 18. Kuusi kameraa jotka sijaitsevat kuvaamispaikoissa, kaikki kalibrointi ja mallinuspisteet, sekä valokuvat jotka on kiinnitetty 3D-kameroihin on tuotu fotogrammetriaohjelmasta 3D-mallinnusohjelmaan, jossa näiden perusteella on luotu alustava 3D-malli.



Kuvio 19. Fotogrammetriaohjelman ansiosta 3D-malli saadaan jokaisesta suunnasta täsmäämään otettuja kuvia hyvinkin tarkasti. Mallia ei tarvitse kuvata jokaisesta suunnasta ja välillä ei edes voi, jos on esimerkiksi muita taloja on liian lähellä, kuten kuvassa.

4.5 UV-kartoituksen välttäminen Ptex-tekniikalla

Perinteisesti UV-kartoitus on ollut 3D-mallintamisessa se vaihe, josta kukaan ei ole erityisemmin tykännyt. Siinä on todella paljon manuaalista työtä ja kukaan ei huomaa

aikaansaannostasi jollet tee virheitä. Viime vuosina UV-kartoitukseen on onneksi tullut paljon sitä helpottavia ohjelmia, jotka automatisoivat mallin litistystä ja pakkausta UV-avaruuteen. Työn määrä ei kuitenkaan ole ainoa UV-kartoituksen ongelma, UV-kartoituksessa tekstuuriin tulee aina saumoja ja venymistä, lisäksi tekstuuritiedostoja tarvitaan usein monia. Ratkaisuksi näihin ongelmiin Pixar kehitti Ptex tekniikan, jota tukevat nykyään jo lähes kaikki 3D-ohjelmat.

Ptex täysin automatisoi UV-kartoituksen tekemällä oman karttansa jokaiselle 3D-objektin pienimmälle tasaiselle osalle, joka on triangeli eli kolmikulmio. Koska normaalissa kuvassa tulee aina reunat vastaan, yritettiin sitä miten vain laittaa 3D-mallin ympärille, niin Ptexin avulla teksturoidessa tekstuuri maalataan, tai projisoidaan 3D-objektin pintaan 3D-tilassa eikä sitä voi maalata UV-kartan avulla kuvankäsittelyohjelmassa. 3D-tilassa maalatessa pääsemme kuitenkin kätevästi eroon saumoista ja jos olemme tekstuurin projisoinnin kanssa tarkkoina niin tekstuurin venymistä ei myöskään esiinny. 3D-maalaukseen voimme käyttää ohjelmia, kuten Autodesk Mudbox, Foundry Mari tai Pilgway 3D coat. Näin tehdyt tekstuurit tuodaan 3D-mallinnusohjelmaan ptex-tiedostoina.

Ptexin hyviä puolia

- Ei manuaalista uv-kartan tekoa. Ohjelmalle kerrotaan vain, että tämä malli käyttää Ptexiä ja tekstuurin oletusresoluutio.
- Ei saumoja, tämä on varsinkin tärkeää displacement mapin kanssa ja deformatiivissa 3D-malleissa.
- Ei tekstuurin venymistä.
- Kaikki tekstuuri saadaan yhteen tiedostoon ja eri osat voivat olla eri resoluutiossa.
- subdivision malleissa ei ole yhtään tekstuurin liukumista
- Ptexin avulla tehdyt tekstuurit voidaan siirtää myös UV-kartoitettuun malliin ja päinvastoin.

Ptexin huonoja puolia

- Pienikin muutos 3D-mallin geometriaan teksturoinnin jälkeen, sekoittaa koko tekstuurin täysin.

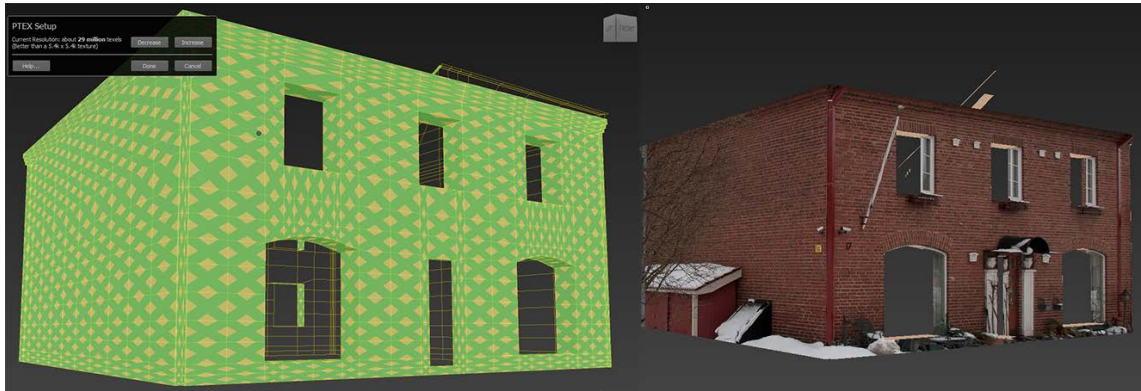
- Tekstuuri on leivottu pysyvästi mallin pintaan. UV-kartoituksen kanssa UV laatan osia voidaan siirtää tekstuurin kohdistamiseksi.
- 3D-malliin leivottua tekstuuria ei voi enään käsitellä kuvankäsittelyohjelmalla.
- Kaikki teksturointi on tehtävä 3D-tilassa, joka voi tuoda haasteita tekstuurin projisoinnissa, varsinkin epäorgaanisissa malleissa.
- Realiaikaiset renderöintimoottoorit, kuten pelit eivät vielä tue Ptexiä. Tähän on tulossa kuitenkin muutos. (Autodesk Unfold Event, 27.3.2013) .

4.6 Tekstuurien projisointi malliin

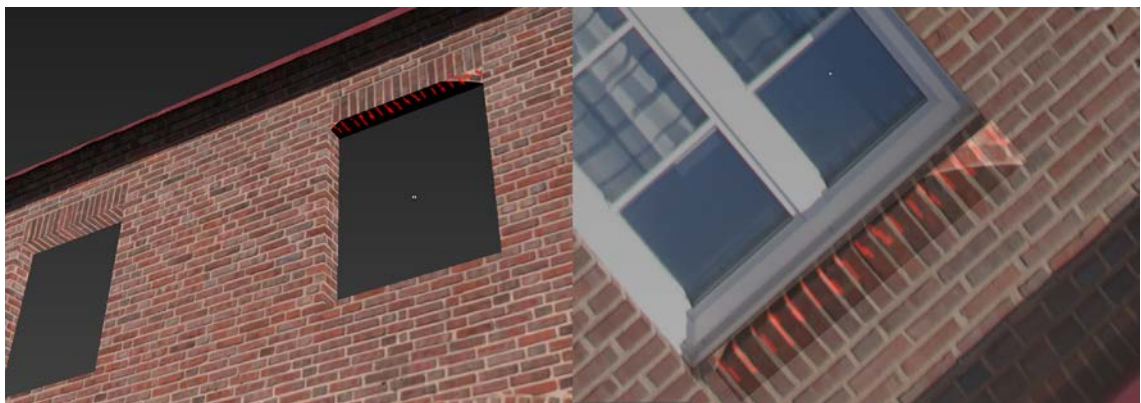
Ptexiä käyttäessä tekstuurit voidaan projisoida malliin kameran läpi aivan kuten tehtiin UV-kartoitetun mallin kanssa, kuvankäsittelyohjelmassa ei voida kuitenkaan tekstuurien paikkaa määrittää itse mallin pinnalla vaan tämä määrittäminen pitää tehdä aina 3D-tilassa. Projisoitavia tekstuureja voidaan kuitenkin kuvankäsittelyohjelmassa muokata ennen projisointia.

Koska 3D-tilassa maalaaminen on aina eräänlaista projisointia katsomissuunnasta on tärkeää suojata jo teksturoidut alueet. Mudboxissa keinoja ovat esimerkiksi suojattavien sivujen piilottaminen ja teksturoinnin rajoittaminen vain suunnilleen kohti osoittaville polygoneille. Tämän lisäksi maalaaminen tehdään yleensä aina ortografisessa projektiossa, jotta vältetään perspektiivin tuomilta virheiltä.

Mudboxissa voidaan malliin muotoilla myös lisää yksityiskohtia ja rikkoa mallin suorita linjoja (suorat linjat ovat suuri syy epärealistiseen kuvaan) jotka lopulliseen malliin tuodaan siirto- tai töyssykarttana. Tätä varten malliin tehdään uusi tarkempi taso jonne tarkemmat yksityiskohdat muotoillaan. Jotta mallista saadaan tehtyä tarkempi versio on 3D-mallinnusohjelmassa pitänyt tehdä lisägeometriaa, joka pitää mallin terävät kulmat terävinä, tai kulmat on käsitelty poly grease toiminnolla.



Kuvio 20. Vasemmalla Mudbox näyttää 3D-mallin päällä Ptex tekstuurin tarkkuuden. Näin näkee helposti onko tekstuuri vielä tarpeeksi terävä halutulla katseluetäisyydellä. Tarvittaessa muutetaan tekstuurin resoluutiota. Oikealla tekstuurit on projisoitu Mudboxissa malliin alkuperäistä kameraa ja sillä otettua kuvaa hyödyntäen. Kulmasta otetussa projektiossa on se huono puoli, että tekstuurin laatu huononee poispäin kamerasta mentäessä. Siksi tekstuurit kannattaa projisoida yleensä suoraan pinnan edestä.



Kuvio 21. Tekstuurin kohdistamisessa eri pinnoille on omat haasteensa kun sen tehdään 3D-tilassa. Koska tekstuuri kannattaa projisoida pintaan aina suoraan pinnan edestäpäin, niin 90 asteen kulmassa olevaa viereistä pintaa ei silloin näe. Tämän takia teksturoitavalle pinnalle voi maalata esimerkiksi tiilien kohdistus merkit. Vasemmassa kuvassa kohdistus merkit maalattuna pintaan ja oikealla projisoitava valokuva on käännetty niin, että kohdistusmerkit osuvat tiilien saumoihin.

4.7 Materiaalit, valaistus ja renderöinti

Materiaalien valmistus tekstuureista, valaistus ja renderöinti ovat prosessin viimeiset vaiheet joissa luodaan lopullinen kuva. Tutkimani kolme mallinnustekniikkaa ei ota osaa materiaaleihin, valaistukseen tai renderöintiin ja ne ovat siis vastaavanlaiset jokaisessa kolmessa tapauksessa. Koska on kuitenkin hyödyllistä tietää koko prosessin pituus ja

kuinka paljon yksittäinen osa alue on koko prosessia, niin luvussa "Valmiin kuvan luominen" käydään loppuprosessi vielä läpi.

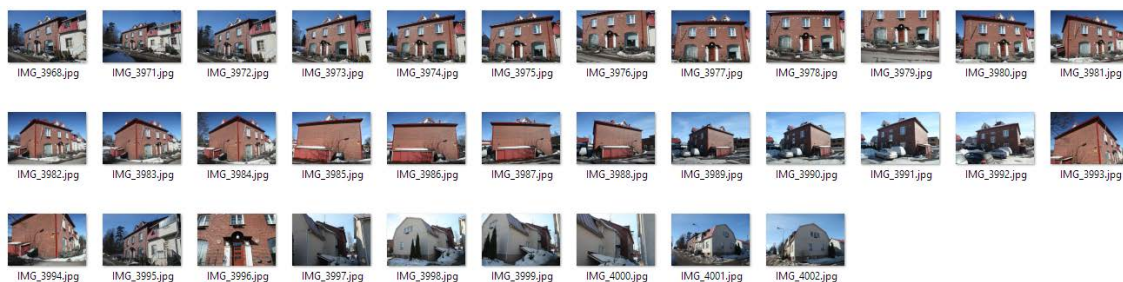
5 3D-mallinnusprosessin täydellinen automatisointi käytännössä

Puoliautomaattisessa mallinnusprosessissa me kerroimme fotogrammetriasovellukselle mitkä ovat samoja kohtia eri kuvissa ja sovellus osasi sen jälkeen sijoittaa pisteet ja kamerat 3D-avaruuteen. Fotogrammetria sovelluksia on kehitetty edelleen niin, että jos kohteesta otetaan hieman enemmän kuvia niin sovellus osaakin automaattisesti löytää samat pisteet eri kuvista ja sijoittaa pisteet ja kamerat 3D-avaruuteen. Näiden lisäksi se osaa samalla luoda jo 3D-mallin, UV-kartoittaa sen ja projisoida tekstuurit sen päälle niin, että lopputulos näyttää ja hyvin oikealta. Tähän pystyviä sovelluksia ovat tällä hetkellä esimerkiksi Agisoft Photoscan Pro ja Autodesk 123D Catch.

5.1 Valokuvien ottaminen

Mitä enemmän annamme fotogrammetriasovelluksen päätellä eri asioita annetun datan perusteella, niin sitä tärkeämpää on, että annettu data on mahdollisimman hyvää, olemassa olevat sovellukset kun eivät ainakaan vielä pysty päättämään pintojen heijastuksia, peilikuvia ja mahdollista valojen, tai esineiden liikettä. Kaikki tämä saa aikaan häiriötä malliin, tai sekoittaa sen täydellisesti.

3D-objekti muodostus onnistuu parhaiten, jos kohde on mahdollisimman yksinkertainen esine tai rakennus, joka on täysin mattapintainen ja on mielellään varjossa. Kuvia otetaan noin parikymmentä tasaisesti kohteen ympäri, jonka jälkeen otetaan vielä yksityiskohtakuvia niin, että kaikkia mahdolliset pinnanmuodot, kuten pylväät ja katokset saadaan jokaisesta suunnasta kuvaan.



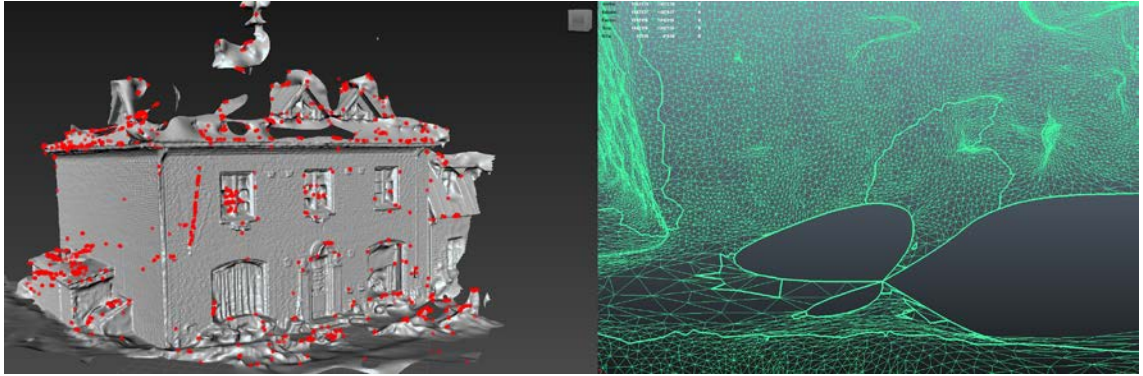
Kuvio 22. 3D-mallia varten kohteesta otettiin 34 kuvaa. Talon yksi pääty oli kokonaan peitossa ja takakulma vielä aivan turhan lähellä toista taloa. Kulkuväylän katoksesta otettiin vielä lähikuvat.



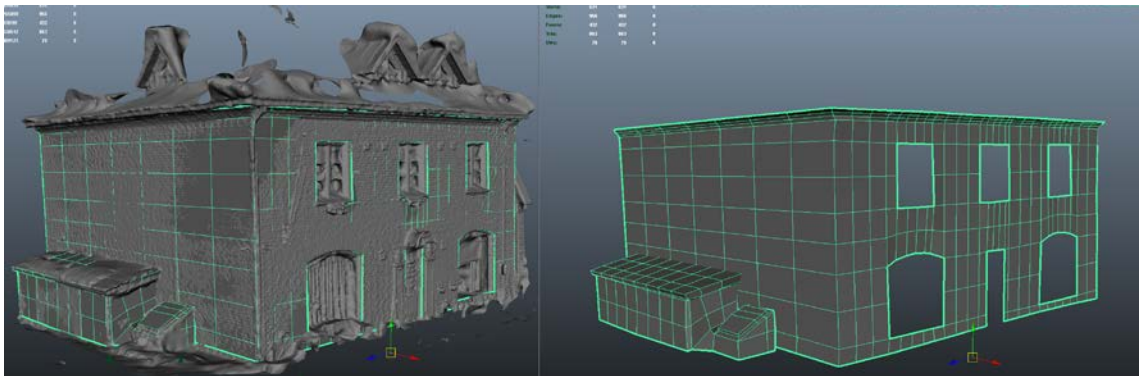
Kuvio 23. Vasemmalla valokuvista luotu automaattinen malli Autodesk 123D Catch fotogrammetriaohjelmassa. Valkoiset kamerat näyttävät kuvauspaikat. Oikealla sama malli 3D-mallinnusohjelmaan tuotuna. Koska kattoa on katutasolta varsin vaikea saada kunnolla kuvaan, näin se myös näkyy 3D-mallissa huonosti. Ikkunalasien heijastukset aiheuttavat jonkin verran geometriahäiriötä vaikka kuvatessa käytettiin CPL-filtteriä.

5.2 Saadun 3D-mallin ehostus

Vaikka fotogrammetriasovelluksen luoma 3D-malli näyttää äkkiseltään varsin hyvältä, se on silti vielä kaukana siitä; geometria on täynnä reikiä, itseään läpäiseviä polygoneja, monikulmioita, päällekkäisiä verteksejä ja suurin piirtein kaikkia virheitä mitä vaan voi kuvitella. Tällaiset virheet tuovat helposti kasapäin ongelmia eri tuotantovaiheissa, onneksi mallinnusohjelmissa on toimintoja, joilla kaikki nämä geometriavirheet saadaan automaattisesti korjattua, ne eivät kuitenkaan poista varsinaisia mallin epämuodostumia jotka ovat tulleet kun ohjelma on tulkinut geometrian väärin annetuista kuvista. Näiden virheiden takia automaattisesti luotua mallia on usein turha edes yrittää saada täysin kunnolliseksi. On paljon nopeampaa mallintaa uusi talo vain käyttäen avuksi automaattisesti luotua mallia. Mallinnus voidaan tehdä joko projisoimalla uutta geometriaa saadun mallin pintaan eli tehdä geometrian retopologisointi, tai mallintamalla koko talo uudestaan käyttäen saatua mallia vain referenssipisteiden tavoin.



Kuvio 24. Vasemmalla Autodesk Mudbox näyttää punaisella missä kohdissa geometria on pielessä. Oikealla lähikuva saman mallin geometriasta, joka on tosiaan sillisalaattia.



Kuvio 25. Vasemmalla uusi topologia projisoituna fotogrammetriasovelluksen luoman mallin päälle. Oikealla uusi topologia yksinään. Uusi malli vaatii vielä paljon työtä, jotta se näyttää hyvältä. Siinä on kuitenkin heti mittakaava täysin kohdallaan.

5.3 3D-mallin teksturointi

Fotogrammetriaohjelman luoma 3D-mallia emme voineet käyttää suoraan hyväksemme ja ohjelman luoma moniosainen UV-karttakin jättää toivomisen varaa. Varsinainen tekstuuri on mallissa kuitenkin täysin kelvollinen. Koska teimme uuden geometrian sovelluksen luoman mallin pohjalta, on uusi mallimme juuri saman kokoinen kuin sovelluksen luoma malli ja näin voimme tekstuurit automaattisesti projisoida uuteen malliin. Uuteen malliin toki pitää joko ensin tehdä UV-kartta, tai käyttää Ptexiä. Tekstuurista voidaan tehdä myös proceduraalinen versio, jolloin UV-kartoitusta eikä Ptexiä tarvita. Koska tekstuuri on tällöin täysin laskennallinen se ei silloin enään täysin vastaa alkuperäistä. Proceduraalinen tekstuurin käyttö on hyvä

silloin kun tehdään uudestaan käytettäviä modulaarisia objekteja, joiden ei tarvitse täysin vastata mitään jo olemassa olevaa.



Kuvio 26. Autodesk 123D Catch -ohjelman luomat UV laatat eivät suurempia riemunkiljahduksia aiheuta. Optimitilanteessa laattoja olisi vain yksi, tekstuurit olisivat mahdollisimman yhtenäiset ja projisoituna suoraan edestäpäin, silloin niitä olisi helppo kuvankäsittelyohjelmassa vielä jälkikäsiellä.



Kuvio 27. Vasemmalla tekstuuri on projisoitu fotogrammetriasovelluksen 3D-mallista uuteen yksinkertaisempaan geometriaan. Oikealla yksinkertaisemman mallin UV laatta, jossa tekstuurit ovat ortografisesti projisoituna ja seinät ovat selviä kokonaisuuksia toistensa vieressä.

Tekstuurit yksinkertaisen geometrian päällä auttaa yksityiskohtien mallintamisessa. Talon edessä olevat pylväätkin voidaan mallintaa erillisiksi objekteiksi ja kun mallinnus on valmis, voidaan kaikkiin näihin objekteihin projisoida tekstuurit yhdellä kertaa fotogrammetriasovelluksen luomasta mallista.

5.4 Materiaalit, valaistus ja renderöinti

Materiaalien valmistus tekstuureista, valaistus ja renderöinti ovat prosessin viimeiset vaiheet joissa luodaan lopullinen kuva. Tutkimani kolme mallinnustekniikkaa ei ota osaa materiaaleihin, valaistukseen tai renderöintiin ja ne ovat siis vastaavanlaiset jokaisessa kolmessa tapauksessa. Koska on kuitenkin hyödyllistä tietää koko prosessin pituus ja kuinka paljon yksittäinen osa alue on koko prosessia, niin luvussa "Valmiin kuvan luominen" käydään loppuprosessi vielä läpi.

6 Valmiin kuvan luominen

Tähän mennessä olemme luoneet 3D-mallin valokuvista, tehneet mallin sellaiseksi, että sen voi teksturoida ja olemme projisoineet ottamamme valokuvia mallin pintaan. Näin olemme saaneet mallista jo tunnistettavan. Jotta malli oikeasti näyttäisi hienolta pitää tekstuurit vielä siivota ja lisätä niille oikean materiaalin ominaisuuksia, kuten kiiltävyys, epätasaisuus ja tarvittaessa läpinäkyvyys. Tämän jälkeen malli valaistetaan ja sille voidaan tehdä sopiva ympäristö. Lopuksi mallista renderöidään kuva tai video, joka jälkikäsitellään mahdollisimman täydellisen lopputuloksen saamiseksi.

6.1 Tekstuurien siivoaminen (okklusion poisto)

Malliin projisoiduissa kuvissa on yleensä paljon sellaista materiaalia, jota haluamme siitä pois, jotta se toimisi kunnollisena tekstuurina. Tällaisia ovat esimerkiksi kaikki kuvaan tulevat esteet, kuten aidat, puhelinpylväät, seinässä olevat johdot, putket, ikkunalaudat ja kukkaruukut. Siis kaikki sellainen, joka ei ole osa varsinaista taloa. Kuvaan kuuluvat oheismateriaali mallinnetaan tarvittaessa erikseen ja kuvista voidaan projisoida niille omat tekstuurit.

Kun kuvasta on poistettu ylimääräiset esineet, haluamme tekstuurin olevan täysin valoista ja varjoista vapaa, jotta voimme luoda oman valaistuksen 3D-tilaan. Me emme halua, että tekstuurin varjot riitelevät tekemämme valaistuksen kanssa. Vaikka kohde olisi kuvattu varjossa tai pilvisenä päivänä niin aina tulee jonkin verran varjoja räystäiden, ikkunalautojen ja muiden ulokkeiden alle. Nämä kaikki pitää poistaa samoin kuin tasoittaa liian valoisat kohdat. Tekstuurin siivoaminen tällaisesta okklusiosta on työlästä hommaa kuvankäsittelyohjelmassa. Sweeney Todd elokuvaa tehtäessä

jokaisen valokuvan siivoamiseen annettiin noin 2-3 päivää aikaa kuvan vaikeudesta riippuen (McWilliams, 24.2.2013). The Avengers elokuvassa tällaisia putsattavia kuvia oli 2000 (Behind the Magic: Building a Digital New York for "The Avengers", Youtube, 24.2.2013).



Kuvio 28. Okklusion poisto. Vasemmalla alkuperäinen kuva ja oikealla versio, josta on poistettu kaikki ylimääräinen, jota ei haluta 3D-talon pintaan. Tällainen teksturi voidaan projisoida 3D-malliin, josta syntyy mallin teksturi. Pylväät, katokset, ovet ja ikkunat mallinnetaan erikseen ja niihin luodaan omat tekstuurit.

6.2 Materiaalien luominen tekstuureista

6.2.1 Diffuusikartta (diffuse map)

Kohteesta otettu kuva ja siitä muodostettu teksturi on vain yksi osa mallin varsinaista materiaalia. Jos käyttäisimme tekstuuria pelkästään pintamateriaalina niin mallin pinta olisi käytännössä tasainen levy, jossa ei olisi minkäänlaista pinnan kiiltoa eikä varjoa. Mallin perustekstuuria kutsutaan diffuusikartaksi eli diffuse mapiksi.

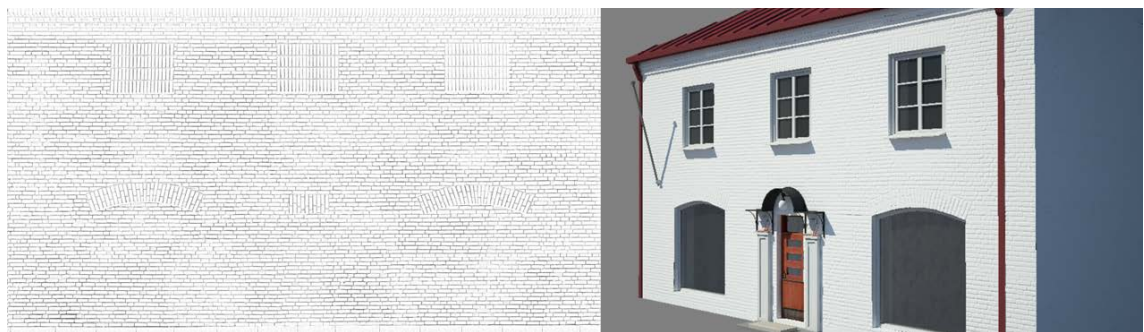


Kuvio 29. Diffuusikartta. Vasemmalla seinän diffuusikartta, jossa ikkunoiden sisäosa ovat myös täytetty tiilitekstuurilla, jotta 3D-mallissa ikkunoiden ja ovien syvennykset saavat myös saman tekstuurin. Oikealla malli renderöitynä kyseisellä tekstuurilla.

Diffuusitekstuurin lisäksi materiaali koostuu yleensä useista muista pinnan arvoa määrittävistä kuvakartoista. Jos pinta on kauttaaltaan samanlainen voidaan pinnan arvot määrittää ilman erilaista karttaa. Seuraavana mainitaan pari yleisintä pinnan mallinnuskarttaa. Erilaisia karttoja voidaan käyttää periaatteessa mihin tahansa pinnan muodostuksen arvoon, mutta aina kaikkia ei tietenkään tarvita.

6.2.2 Siirtokartta (displacement map)

Diffuusikartan lisäksi materiaali usein muodostuu "siirtokartasta" eli displacement mapista, jossa määritellään mallin pinnamuodot jotka voivat vaikuttaa pinnan silhuettiin, kuten vaikka lohkeamat ja kohoumat. Siirtokarttaa käytetään usein hajottamaan pinnan liian suora geometria. Siirtokartta voidaan luoda esimerkiksi kuvankäsittelyohjelmassa muokkaamalla diffuusitekstuuria, tai muuttamalla tarkka 3D-mallinnus siirtokartaksi perusmallin päälle.

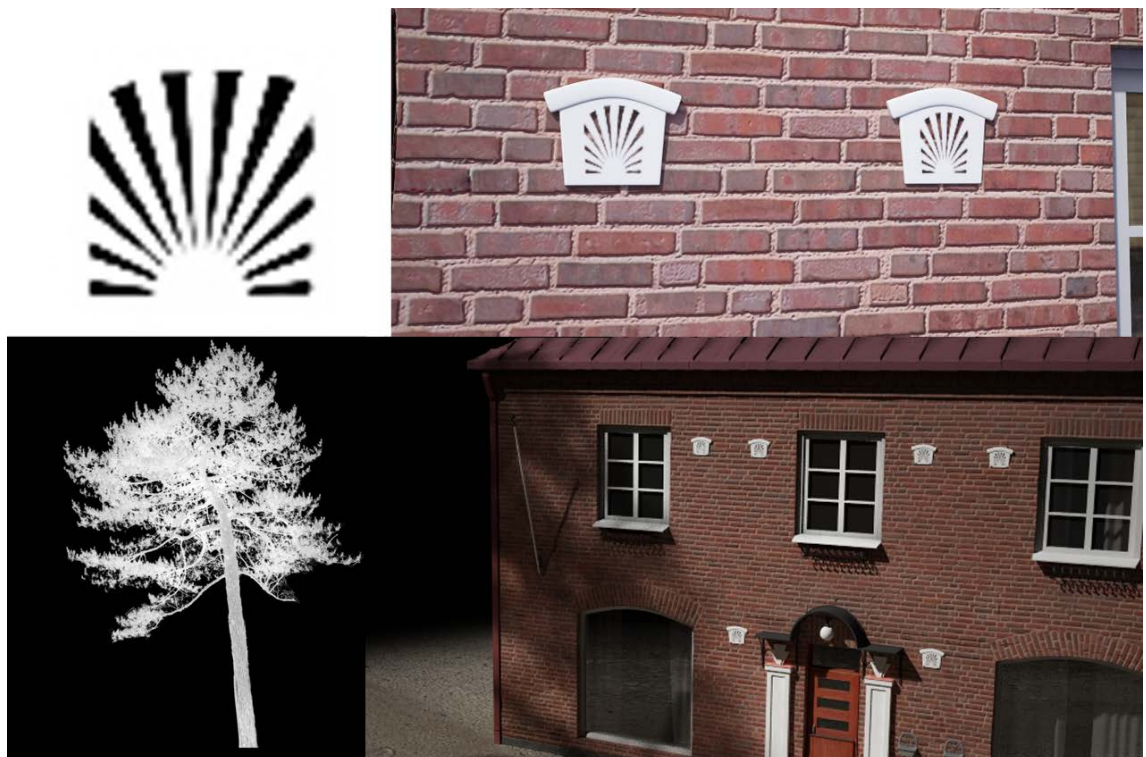


Kuvio 30. Siirtokartta. Vasemmalla seinän siirtokartta. Se on luotu diffuusikartasta hipass-filtterillä, jolla kuvasta saadaan matalakontrastinen harmaasävykuva. Oikealla pelkkä siirtokartta seinän pinnassa. Tiilien kohoumat näkyvät selvästi kun tarkasti katsoo.

Koska siirtokartta tarvitsee kuitenkin myös jonkin verran tarkempaa geometriaa, jota siirtokartalla siirretään ei kaikkein pienimpiä yksityiskohtia kannata välttämättä tehdä siirtokartan avulla. Kun kyse on vaikka tiilen pinnan rosoisuudesta niin siihen käytetään usein töyssykarttaa, joka toimii muuten samoin kuin siirtokartta, mutta sen luomat pinnamuodot ovat täysin keinotekoisia eli se ei muuta pinnan varsinaista geometriaa. Tämän takia töyssykartta on tietokoneelle paljon nopeampi laskea. Koska luomme kuitenkin niin kutsuttua sankarimallia (Hero object) eli mallia, joka on kaiken huomion keskipiste ja jota tarkastellaan hyvin läheltä, käytämme kauttaaltaan siirtokarttaa.

6.2.3 Läpinäkyvyyskartta (transparency map / opacity map)

Läpinäkyvyyskartalla voidaan simuloida esimerkiksi likaa ikkunassa. Lian kohdalla ei ole läpinäkyvyyttä, mutta muuten ikkuna päästää valon läpi. Läpinäkyvyyskartalla voidaan usein korvata myös monimutkaista geometriaa käyttämällä sen sijaan vain yksinkertaista kuvaa.



Kuvio 31. Yksinkertaisillakin läpinäkyvyyskartoilla saa helpotettua omaa työtä. Ei tarvitse aina tehdä oikeaa geometriaa kun yksinkertainen kuva toimii ihan yhtä hyvin. Yläkuvassa malli on puhkaistu läpinäkyvyys tekstuurilla. Alakuvassa varjo on luotu laittamalla puun kuva valon eteen. Myös maan tekstuuri on häivytetty läpinäkyvyyskartalla.

6.3 Valaistus kuvaa käyttämällä

Kun halutaan upottaa 3D-malli oikeaan videokuvaan tai valokuvaan, niin 3D-tilaan on luotava sama valaistus kuin oli kuvan otto hetkelläkin on ollut, muutoin 3D-malli erottuu selvästi kuvaan kuulumattomana esineenä. Jotta 3D-malli saadaan upotettua kuvaan, niin videon tai valokuvan kuvaushetkellä pyritään kuvaamaan pallo- tai puolipallopanoraama, joka esittää kohteen ympärille tulevaa maisemaa. Tämän pallon

sisälle 3D-malli siis sijoitetaan. Jos 3D-malli peittää koko horisontin alapuolisen osan niin puolipallopanoraama teko riittää, muutoin käytetään yleensä koko palloa.

3D-mallinnusohjelmien kuvaan perustuva yleisvalaistus on suunniteltu käyttämään HDRI-kuvan suurta kontrastiskaalaa mahdollisimman suuren realismin saavuttamiseksi. Tämän vuoksi pallopanoraama pitää kuvata HDRI-muodossa, varsinkin jos halutaan panoraama kirkkaasta päivänvalosta. Pilvisellä ilmalla ei ole suurta kontrastisuhdetta joten voidaan käyttää myös normaali LDR-panoraamaa, tai ottaa vähemmän valotustasoja. Usein HDRI-kuvaa käytetään luomaan pelkkä ympäristön tuottama yleisvalaistus (ambient light) ja käytetään erillistä kohde valoa (key light) tuomaan auringonvalo. Kun kohde valo ei ole suoraan kiinni kuvassa sen voimakkuutta ja suuntaa voidaan helpommin säätää. Kuvaan perustuvasta valaistuksesta käytetään yleisesti lyhennettä IBL (Image Based Lighting).

6.3.1 HDRI-kuvan ottaminen

Koska normaali kameran sensori ei pysty kerralla tallentamaan kuin yhden valotustason (exposure level), otetaan tarkalleen samasta kohdasta monta kuvaa eri valotustasoilla. Nämä kuvat yhdistetään yhdeksi HDRI-kuvaksi, jossa on laaja valon voimakkuuden skaala eli luminanssi. Kaikki HDRI-kuvat sitten yhdistetään yhdeksi isoksi pallopanoraamaksi.

Kunnollisen HDRI-kuvan ottamiseen tarvitaan käytännössä aina kamera, jossa voi säätää valotusaikaa. Sen lisäksi laajakulmalinssi tai kalansilmälinssi ja tripod. Toisaalta useimmilla kännykkäpuhelimillakin saa jo nykyään jonkinlaisen HDRI-kuvan aikaiseksi.

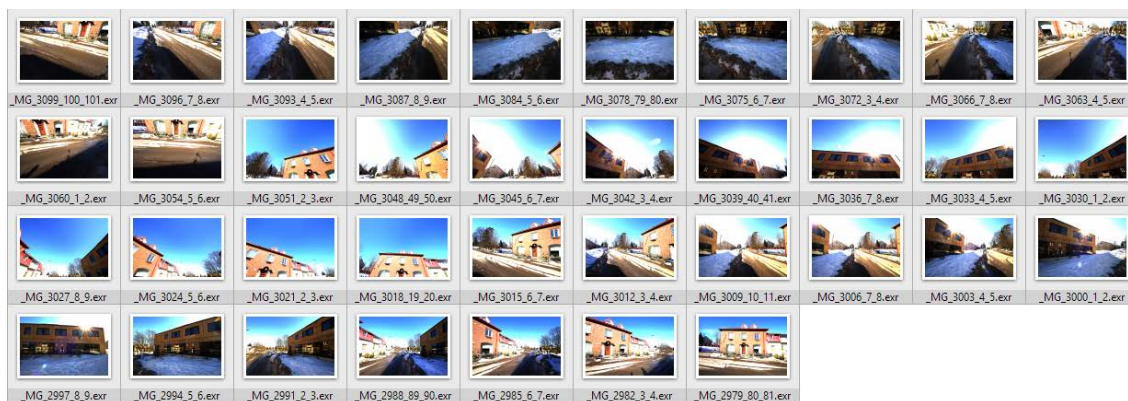


Kuvio 32. HDRI-kuva muodostettiin ottamalla täysin samasta kohtaa kolme kuvaa eri valotusajoilla jotka tässä tapauksessa olivat vasemmalta 1/50s, 1/200s, 1/800s.

Kunnolliseen HDRI-kuvaan tarvitaan vähintään kolme eri valotusta, mutta tilanteen ja tarpeen mukaan voidaan tarvita paljon enemmänkin. Perus järjestelmäkameran saa yleensä ottamaan automaattisesti ainakin kolme kuvaa eri valotuksilla.

6.3.2 HDRI-pallopanoraaman kuvaaminen

Pallopanoraama kuvataan otattamalla yhdestä pisteestä joukko kuvia kaikkiin suuntiin. Mitä suurempi laajakulmalinssi on käytössä sitä vähemmän kuvia tarvitsee ottaa ja sitä helpompaa on kuvien liittäminen yhdeksi suureksi kuvapalloksi. Tämä on vielä merkityksellisempää, jos kuvassa on liikkuvia tekijöitä, kuten kirkas aurinko, aaltoja, ihmisiä tai autoja. Panoraamaohjelmat, joilla useasta kuvasta kursitaan kokoon yksi iso panoraama, olettavat, että otetussa kuvissa ei ole juurikaan tapahtumia eli ne ovat mahdollisimman staattisia. Kaikki liike voi aiheuttaa virheitä kasattavaan kuvaan siksi mahdollinen liike joudutaan tarvittaessa käsin poistamaan kuvista ennen panoraaman tekoa. Panoraaman kasausta helpottaa, jos kuvat on otettu panoraamapäätä käyttäen, tällöin vältetään parallaksivirheen muodostuminen, joka johtuu siitä ettei linssin polttopiste pysy samassa kohdassa eri kuvia otettaessa.



Kuvio 33. HDRI-panoraamaan varten otettiin järjestelmäkameralla ja 8mm linssillä 37 kuvaa eri suuntiin. Jokainen kuva otettiin kolmeen kertaan eri valotusarvolla eli yhteensä otettiin 111 kuvaa joista muodostettiin yllä näkyvät 37 HDRI-kuvaa. Näin kuvan kirkkaimman kohdan luminanssiksi saatiin 59, kuin se LDR-kuvassa olisi vain 0-1. Tarpeeksi suurella määriä kuvia eri valotusarvoilla päästään lähemmäksi todellisia luminanssarvoja jotka voivat olla aurinkoisena päivänä monta tuhatta. HDRI-kuvaan voidaan auringon kohdalle toki jälkikäteen myös lisätä luminanssia, jotta saadaan haluttu terävyys 3D-mallin varjoihin.



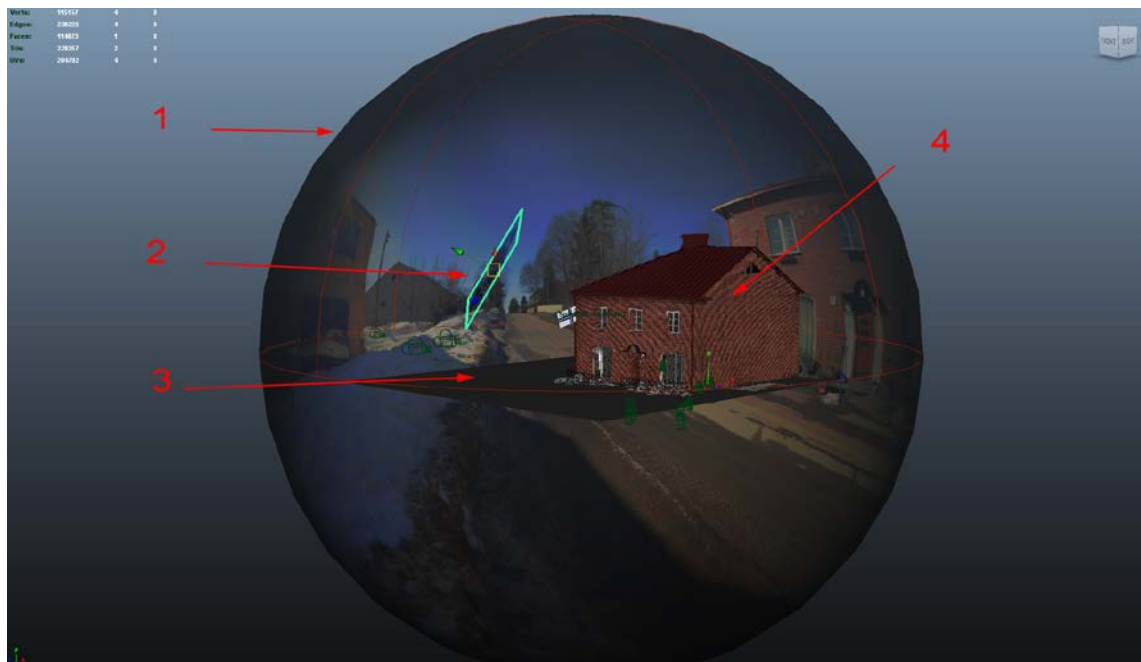
Kuvio 34. 37 HDR-kuvasta poistettiin kromaattinen aberraatio ja ne yhdistettiin panoraamaohjelmassa equirectangular projektioksi (kuvassa). Kuvan ylä- ja alalaidassa näkyy mustaa, koska kuvatessa ei saatu katettua aivan koko 360°180 asteen palloa. Otetuissa kuvissa pitää aina olla myös noin kolmasosa samaa kohtetta kuin edellisessä kuvassa, jotta panoraamaohjelma osaa yhdistää ne toisiinsa vastaavien pisteiden avulla kuin mitä edellä mainitut fotogrammetriaohjelmatkin käyttävät.



Kuvio 35. Edellisessä equirectangular projektiossa kuvan ylä- ja alaosassa on suurimmat vääristymät. Se tekee kuvan korjaamisesta hankalaa, koska juuri näissä kohdissa on yleensä aina ongelmaa. Korjauksen ajaksi kuva usein litistetään vaakaristiksi, tai zenith/nadir kuvaksi. Vasemmalla on Flaming Pear Flexify 2 -filtterillä on panoraamasta tehty Zenith, keskellä Nadir ja oikealla vaakaristi. Kuvasta korjataan mustat alueet ja muut epätoivotut asiat, kuten yleensä kuvaan jäävä kameran jalusta, tämän jälkeen panoraama palautetaan entiseen muotoonsa.



Kuvio 36. Lopullinen korjattu HDRI-pallopanoraama equirectangular projektiona, jonka kuvasuhde on 2:1. 3D-mallinnusohjelmat haluavat pallopanoraaman käytännössä aina juuri tässä muodossa.



Kuvio 37. HDRI-pallopanoraama 3D-mallinnusohjelmassa luomassa 3D-mallin ympäristöä. **1.** HDRI-panoraama, joka muodostaa 360 asteen valaistuksen ja heijastukset. Sitä voidaan käyttää myös taustana, mutta silloin panoraamakuvan pitää olla erittäin tarkka (16k leveä kuva olisi tarpeeksi iso 2k kokoisen kuvan renderointiin). **2.** Puun kuva on laitettu levyn pintaan, josta se heittää puun varjon maahan. **3.** Maan pintatekstuuri. Sitä voidaan käyttää myös vain varjojen heijastuspintana, jos panoraamakuvaa käytetään taustana. **4.** Varsinainen 3D-malli talosta.

6.3.3 Lineaarinen työnkulku

HDRI-kuvien käyttö tuo meille uuden ongelman, jonka voimme muuttaa eduksemme. HDRI-kuvat ovat lineaarisessa avaruudessa, eli niiden luminanssi arvo voi olla äärettömän suuri, tähän tapaan oikea maailma myös toimii. Monitorit ja tekstuurit joita yleensä käytämme 3D-mallien pinnalla ovat taas RGB väriavaruudessa, jossa on gamma arvoksi määritetty 2.2. Tämä on tehty siksi, että ei kulutettaisi turhia bittejä sen valon voimakkuuden tallentamiseen mitä monitori, tai edes ihmisen silmä ei pysty näkemään.

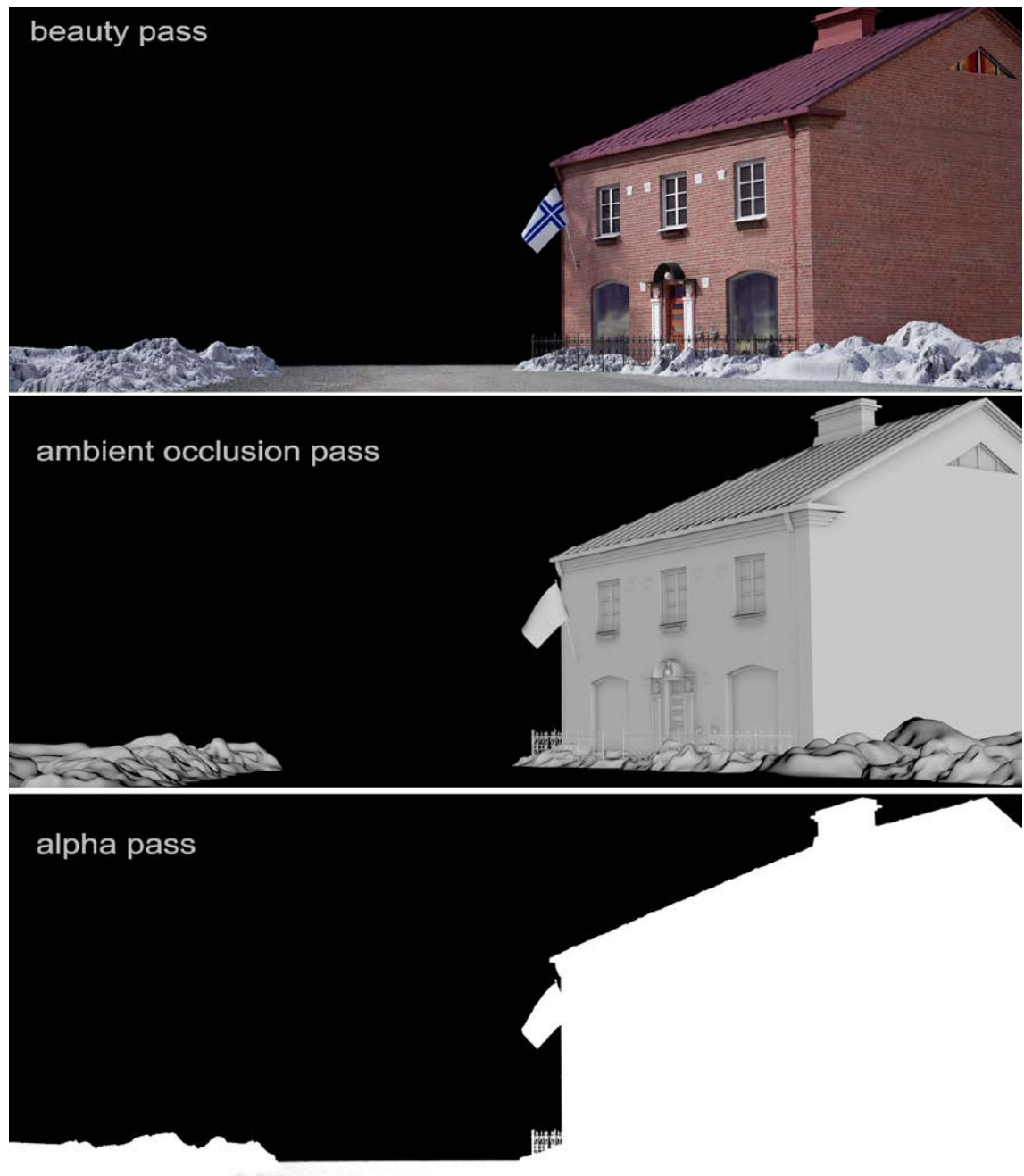
Kun käytämme HDRI-kuvia meidän kannattaa ottaa käyttöön lineaarinen työnkulku eli kaikki kuvat pidetään gamma arvossa 1. Se tarkoittaa sitä, että jokainen RGB kuva pitää gamma korjata $1 / 2.2$ eli 0.455 kertoimella. Kun tallennamme näin renderöidyn kuvan 32 bittiseksi liukulukutiedostoksi on meillä käytössä paljon suurempi sävyavaruus, kun jos toimisimme vain 8 tai 16 bittisillä kuvilla. Suuresta sävyavaruudesta on erityisesti hyötyä jälkikäsitteilyssä, jossa näin vältämme vaaleiden sävyjen palamisen ja tummien sävyjen tukkeutumisen. Monitorit eivät pysty kuitenkaan lineaarista väriavaruutta näyttämään tarkasti siksi lineaariset kuvat näyttävät usein liian tummilta monitorissa. Siksi ruudulla näyttämistä varten lopullinen kuva näytetään aina RGB kuvana eli se korjataan taas gamma arvolla 2.2.



Kuvio 38. Yläkuva ilman HDR valaistusta ja alakuva sen kanssa. HDRI-kuvasta saamme epäsuoran valaistuksen lisäksi myös aidot heijastukset pintoihin.

6.4 Jälkikäsittely

3D-mallinnusohjelmasta saadaan jo hyvin valmis kuva, mutta käytännössä aina renderöidyt kuvat jälkikäsitellään kuvankäsittely- tai jälkikäsitelyohjelmassa, tämä siksi, että tarkin hienosäätö on nopeampaa tehdä 2D:nä kuin pysyä 3D:ssä. Lopullinen kuva on kuitenkin vain kaksiulotteinen tuloste niin 3D:stä kannattaa siirtyä heti pois kuin vain on mahdollista. 3D-mallinnusohjelmista saadaan onneksi paljon muutakin dataa kuin pelkkä yksi valmiin oloinen kuva. Nämä eri kuvakanavat (pass) ovat hyödyllisiä erilaisten sävytysten ja valintojen teossa. Elokuva-produktioissa kuvasta voidaan luoda kymmeniä eri kanavia, mutta muutamakin jo usein riittää.



Kuvio 39. Varsinaisen kuvan lisäksi (beauty pass), tulostin epäsuoran valon varjokanavan (ambient occlusion pass), jolla varjostuksia saadaan syvennettyä. Läpinäkyvyyskanavalla (alpha pass) saadaan valokuvatausta helposti liitettyä 3D-kuvaan. Renderöinti aika full hd tarkkuudella 11 minuuttia 6 sekuntia.



Kuvio 40. Lopullinen malli yhdistettynä valokuvataustaan.

7 Yhteenveto

Olemme tämän opinnäytetyön puitteissa käyneet läpi kolme toisistaan eroavaa tapaa luoda 3D-malli olemassa olevasta talosta käyttäen apuna vain valokuvia. Seuraavaksi vertailemme näitä kolmea tapaa ja käymme läpi jokaisen tavan edut ja haitat, mitä tekniikkaa kannattaa käyttää missäkin tapauksessa.

7.1 Mallintaminen kuvista

7.1.1 Manuaalinen mallinnus sivuprojektio kuvan avulla

Ortografisten sivuprojektiopiirustusten eli kaavakuvien käyttäminen mallinnuksen pohjana on varmastikin se perinteisin tapa luoda 3D-objekti, varsinkin jos mallinnettavaa kohdetta ei vielä ole edes olemassa. Valokuvia voi kuitenkin käyttää kaavakuvien tapaan, jos ne on otettu mahdollisimman tarkkaan sivulta.

Sivuprojektio kuvien avulla mallinnuksessa on kuitenkin omat haasteensa. Koska kuvista poistetaan perspektiivi on syvyyden hahmottaminen välillä hankalaa vaikka käyttäisi useampaakin kuvaa. Jos mallinnettava talo on kovin monimutkainen, tai siinä on esimerkiksi sisäpiha, niin voidaan tarvita jo leikkauskuvia talon keskeltä joita tietysti on mahdotonta kuvata. Siksi voi olla tarpeen ottaa sekalaisia referenssikuvia joista voi varmistaa yksityiskohtien oikean mallintamisen.

Sivuprojektio kuvien avulla ei yleensä saada aivan tarkkaa mallia kohteesta, mutta mallinnustapana se on varsin nopea ja jos käytössä on vain yksi tai kaksi projektio kuvaa niin tämä saattaa olla ainoa vaihtoehto.

7.1.2 Manuaalinen mallinnus manuaalisesti asetettavan kameran avulla

Kun kamera asetetaan 3D-tilaan täysin silmämääräisesti jää paljon varaa virheille, varsinkin jos kuvan mittakaavaa ei tiedetä. Ihmisen luomien kohteiden mallintamisessa on kuitenkin se hyvä puoli, että niistä on kaikkein helpoin päätellä kohteen koko.

Manuaalisesti kameran asettaminen on hieman helpompaa, jos fotogrammetriasovelluksen avulla on asetettu jo muutama kamera 3D-avaruuteen ja näiden avulla on luotu alustava 3D-malli. Tällöin esimerkiksi rakennuksen katto voidaan varsin tarkasti mallintaa jälkikäteenkin otetun kuvan avulla.

Manuaalista kameran asettamiseen ei tulisi koskaan pelkästään luottaa, varsinkin jos kohteen täytyy olla mahdollisimman totuuden mukainen. Jos halutaan luoda uutta käyttäen vain apuna olemassa olevaa arkkitehtuuria niin manuaalinen kameran asettelu kuin myös sivuprojektio kuvan käyttö on täysin käypä vaihtoehto mallinnukseen.

7.1.3 Puoliautomaattinen mallinnus fotogrammetriasovelluksen avulla

Fotogrammetriasovelluksen käyttäminen kuvia vastaavan 3D-avaruuden luomiseksi tuo selvää tarkkuutta mallintamiseen vaikkakin kymmenien pisteiden tarkka asettelu moneen kuvaan onkin aikaa vievää hommaa. Tulos on kuitenkin yleensä halutun lainen. Tämän tavan hyviä puolia on se, että kuvia tarvitsee ottaa minimissään vain

kolme ja nekään ei tarvitse olla tarkalleen tietystä kulmasta niin vaikeankin rakennuksen saa tarkasti mallinnettua.

Varsinkin elokuvia tehtäessä fotogrammetriasovellusta käytetään lähes aina. Jos mallinnettavia kohteita on paljon, LiDar-skanneria käytetään apuna esimerkiksi nostokurjen päässä luomaan suuri ja tarkka pisteavaruus, joka sitten yhdistetään samaan aikaan otettuihin valokuviin. Lopullinen talojen mallinnus tehdään kuitenkin vielä aina käsin pisteitä ja kuvia käyttämällä. (McWilliams, 1.2013).

Fotogrammetriasovelluksen luoman 3D-avaruuden avulla mallintaminen tuntuu melkein taianomaiselta kuin luotu malli osuu kaikissa kuvissa varsin tarkasti kohdalleen. Kalibrointipisteiden asettamisessa saa kuitenkin olla tarkkana. Fotogrammetriaohjelma onneksi osaa varoittaa, jos asetellut pisteet eivät voi olla kyseisissä paikoissa.

7.1.4 Automaattinen mallinnus fotogrammetriasovelluksen avulla

3D-mallin luominen vain ottamalla joukon valokuvia tuntuu liian helpolta ollakseen totta ja vielä toistaiseksi se käytännön sovelluksissa onkin. Automaattinen mallinnus luo niin heikkotasoisia geometriaa, että sitä voi käyttää lähinnä vain referenssinä. Peter Hartwig käyttää Autodesk 123D Catch sovellusta juuri tähän tarkoitukseen. Hän ottaa kuvia alueesta, johon pitää elokuvaa varten upottaa 3D-objekteja, näin hän saa tarkan paikan mihin mallintaa rakennukset ja muut pää elementit (Hartwig, 2013).

Niin Autodeskin ilmainen 123D Catch ja tuhansia euroja maksava Photoscan Pro tuottavat vielä liian kehnoa geometriaa ja lisäksi ei ole lainkaan varmaa, että ylipäättänsä saat ottamistasi kuvista minkään näköistä todellisuutta vastaavaa geometriaa aikaiseksi. Lisäksi manuaalisia pisteitä ja maskeja voi joutua laittamaan, jotta saadaan edes jonkinlainen tulos. Tulevaisuudessa automaattisesti mallinnuksesta varmastikin tulee vielä niin toimivaa, että se on vielä jonain päivinä kännykkäpuhelimien vakio ominaisuus. Jo nyt 123D Catch -ohjelman saa iPhone puhelimille. Kevään 2013 aikana Autodesk julkaisee Recap Photo ja Recap Studio sovellukset 3D-objektien luomiseksi suoraan kuvista ja pistedatasta (Autodesk Unfold Event, 27.3.2013). Kohteiden suora skannaus on myös tulossa harrastajan kukkaron

ulottuville, muunmuassa Microsoft on tuomassa Xbox Kinect liiketunnistimeen perustuvaa 3D-pintojen muodostamista. Tuotteen nimi on Kinect Fusion.



Kuvio 41. Vasemmalla noin 1000 euroa maksava kauko-ohjattava helikopteri, jolla ylhäältä päin kuvaaminen tulee halvemmaksi. Oikealla Microsoft Kinect ja Kinetic Fusionilla realiajassa luotu 3D-malli valokuvasta.

7.2 UV-kartoitus vai Ptex

UV-kartoituksen teko on taistelua kahden asian välillä; sen, että saa mahdollisimman vähän vääristymää tekstuuriin ja että saa mahdollisimman vähän saumoja. Jos esimerkiksi talon UV-kartoituksen tekee saumojen määrästä välittämättä niin saa varmasti tasaisen tekstuurin, mutta eritoten tiiliseinien kanssa voi huomata tuhlaavansa aikaa vaikka ikkunan syvennyksissä kun yrittää saada tiilikuvion kohtaaman rinnakkaisten seinien kanssa joita voi helposti olla kolmekin. Jos talossa on 12 ikkunaa, tästä tulee huomattava työsarka, joka voitaisiin välttää saumojen minimoimisella. Tämän takia UV-kartan teko kannattaa suunnitella huolella.

Ptex on tietenkin vastaus käytännössä kaikkiin UV-kartoituksen ongelmiin, sekään ei ole kuitenkaan täydellinen ratkaisu ja tuottaa omat ongelmansa. Talojen teksturoinnissa suurin ongelma Ptexin kanssa on se, että teksturointi pitää tehdä 3D-tilassa, jossa voi olla hyvinkin vaikeaa saada tarkkaa geometristä kuviota osumaan talon jokaisella seinällä kohdakkain. Koska 3D-teksturointiohjelmat projisoivat maalattavan tekstuurin aina katsomissuunasta suoraan malliin. pitää mallia katsoa suoraan sivusta päin, jolloin on hyvin vaikea kertoa missä kohdassa tekstuurin kuvio menee sivuseinällä. Tähän hieman auttaa kohdistus viivojen piirtäminen, tai Autodeskin sovelluksissa View Cuben käyttö, jolla katsomiskulmaa voidaan kääntää tarkalleen 45 tai 90 astetta.

Tarkkojen tekstuurien kohdistamisen osalta pääsee helpommalla kun käyttää UV-kartoitusta ja kohdistaa tekstuurit pikselin tarkasti kuvankäsittelyohjelmassa. Automaattinen mallinnustapa tosin luo niin huonon UV-kartan, että UV-kartan joutuu tekstuuria varten luomaan uudestaan jos tekstuuria meinaa vähänkään editoida kuvankäsittelyohjelmassa.

Talon pienemmissä osissa, kuten lamputissa, lipputangoissa ja ikkunoissa voidaan hyvin käyttää Ptexiä vaikka talon seinät olisikin UV-kartoitettu. UV-kartoitetusta mallista voidaan toki tehdä Ptex versio, tai päinvastoin ja siirtää tekstuurit mukana.

Ptex ja UV-kartoitus voidaan jättää kokonaan pois osissa joihin riittää täysin tietokoneella luotu laskennallinen eli proceduraalinen tekstuuri. Allogorithmic Substance Designerilla ja Foundry Marilla saadaan luotua jo hyvinkin monimutkaisia proceduraalisia tekstuureita joissa ei ole Ptexin eikä UV-kartoituksen haittoja.

7.3 Teksturointi

7.3.1 Teksturointi sivuprojektiokuvan avulla

Sivuprojektiokuvat voidaan suoraan projisoida niistä luodun mallin pintaan, mutta kaikki pinnat jotka eivät ole suoraan kameraa kohti joudutaan teksturoimaan käsin. Tämä tarkoittaa käytännössä tekstuurin kloonaamista yhdestä paikasta toiseen, jota joutuisi muutenkin tekemään varjojen ja erilaisten tekstuuriin kuulumattomien asioiden poistamiseksi kuvasta. Kuitenkin mitä vähemmän lähdetekstuuria on käytettävissä sitä vaikeammaksi täydellisen teksturoinnin tekeminen tulee. Tämän takia monesti käytetään avuksi kolmannen osapuolen tekstuureja, joilla teksturoidaan kohteet joihin lähdekuvista ei saada tarpeeksi hyvä materiaalia.

7.3.2 Teksturointi 3D-teksturointiohjelmassa

3D-teksturointiohjelmat ovat parhaimmillaan orgaanisen mallin teksturoinnissa. Myös epäorgaanisissa malleissa on paljon orgaanista tekstuuria jotka on helppo lisätä teksturointiohjelmassa. Tällaisia ovat pinnan lohkeamat, klommot, repeämät, lika, ruoste jo muu ajan patina. Tarkat tekstuurit kannattaa tehdä UV-kartan avulla

kuvankäsittelyohjelmassa, jossa voidaan pikseleitä viilata pilkulleen. UV-kartan avulla tehdyt tekstuurit voidaan toki siirtää mallin Ptex versioon.

7.3.3 Teksturointi automaattisen mallinnuksen avulla

Fotogrammetriaohjelmat luovat automaattisesti vielä niin huonoa geometriaa, että edes sen siivoaminen ei ole kovin kannattavaa. Mallia pitää käyttää vain uuden mallin pohjana. Yllättäen mallista saatu tekstuuri voi olla hyvin laadukas vaikka tekstuuri olisi kuvio, josta on helppo huomata pienimmätkin virheet, kuten esimerkkitalossa ollut punatiilitekstuuri.

Automaattisella mallinnuksella saatu tekstuuri onnistuttiin myös hienosti siirtämään puoliautomaattisella mallinnustekniikalla luotuun taloon. Näin voidaan säättää huomattavasti aikaa teksturoinnissa ja käyttää haluttaessa Ptexiä myös siinä osassa taloa, joka muuten kannattaisi ilman muuta teksturoida UV-kartoitusta käyttäen.

7.4 Loppusanat

Kun teknisen työn osuutta saadaan vähennettyä jatkuvasti pystytään enemmän keskittymään lopputuloksen parantamiseen. Teknologia, jota suuret produktiot käyttivät eilen on pian normaali harrastajien ulottuvilla. Harrastaja kamerat paranevat, edullisia LiDar-skanneria vastaavia pistedatan keruumenetelmiä tulee, kuten Kinect Fusion, kuvaaminen helpottuu edullisilla kauko-ohjattavilla kameraa kantavilla helikoptereilla, kuten DJI Phantom quadcopter. Tylsä lapiotyö vähenee ja uudet haasteet odottavat, koska ihmisten odotukset lopputuloksesta kasvavat vuosi vuodelta.

Lisämateriaali ja keskustelut jotka liittyvät tähän opinnäytetyöhön sekä mahdolliset tulevaisuuden lisäykset voi löytää seuraavasta osoitteesta:

<http://tinyurl.com/nzanrsv>

8 Lähteet

Autodesk Unfold Event, 27.3.2013

Behind the Magic: Building a Digital New York for "The Avengers", Youtube, 24.2.2013

Chiu, Bobby 2010. The Perfect Bait, Imaganisim Studios Inc.

Hartwig Peter, Photorealism in Vray for Maya, <http://www.fxphd.com> (1.2013).

Holland Phil, High Dynamic Range Imaging for Live Action VFX with Phil Holland, <http://tinyurl.com/pfsd8sb> (2.2013).

Image Modeller käyttöäopas, Autodesk, 242.

Inventions That Shook The World, 2011, Discovery Channel.

McWilliams Paul, 3D Environment Creation Workshop,

<http://workshops.cgsociety.org/courseinfo.php?id=369> (1.2013).

Microsoft Kinect Fusion, <http://tinyurl.com/o2f3f8t>

9 Liitteet

9.1 Ohjelmia käyttötarkoituksen mukaan

Fotogrammetria	Agisoft Photoscan Pro, Autodesk 123D Catch, Autodesk Image Modeller, EOS Systems Photomodeller, Enwii Banzain-pipeline, Insight 3D (open source), Meshlab (open source), Microsoft Photosynth, Tactical Space Lab Bundler.
Linssivääristymien korjaus	DxO Labs DxO Optics Pro, ePaperPress PTLens, Photoshop lens correction -filteri.
HDRI-kuvan luonti	Creative Technologies HDR Shop on Phil Hollandin mukaan paras HDRI-kuvien luontiin ja hän on testannut yli 20 eri HDR-ohjelmaa. New House Internet Services PTgui pystyy HDR panoraaman kasaamaan yhdellä kerralla. Fotomatix.
Normal mapin luonti	Quixel nDo2, Ryan Clark's Crazy Bumb, Santiago Orgaz's Xnormal, Autodesk Mudbox, Foundry Mari.
Panoraamakuvan luonti	New House Internet Services PTgui. Phil Hollandin mukaan PTgui on paras ohjelma tähän tarkoitukseen (PTgui = Panoraama Tools graphical user interface).
Teksturointi	Adobe Photoshop, Foundry Mari, Maxon Bodypaint 3D, Pilgway 3D Coat, Autodesk Mudbox, Pixologic Zbrush.
UV mapin luonti	Headus UV layout, Polygonal Design Unfold 3D, Pullin Shapes Roadkill.

9.2 Tämän opinnäytetyön kuvien tekoon käytettyjä ohjelmia

Adobe Photoshop, Autodesk 123D Catch, Autodesk Maya, Autodesk Image Modeller, Autodesk Mudbox, Chaosgroup V-ray, Flaming Pear Flexify 2, Foundry Mari, Garden Gnome Software Pano2VR, HDRsoft Photomatix, Headus UV Layout, New House Internet Services PTgui.

9.3 Sanasto

Ambient Occlusion

Blue print

Kaavakuva eli suoraan sivulta, ylhäältä tai alta otettu kaksiulotteinen kuva tai piirustus, jossa ei ole perspektiiviä.

Bump map

Töyssykartta - Perustuu harmaasävykuvaan, jonka perustella määritellään korkeuserot 3D-mallissa. Ei ole yhtä realistinen kun useasta kuvasta luotu Normal map, mutta sen tavoin ei vaikuta mallin geometriaan. Mallin profiili, tai siis silhuetti ei siis muutu bump mapin avulla. Töyssykartassa 50% harmaa sävy tarkoittaa tasaista pintaa, mustaan päin mentäessä tehdään pintaan kuoppaa, ja valkoiseen päin mentäessä kumpareita. Bump map ei voi luoda kielekkeitä eli alueita jotka jäisivät toisen alueen taakse. Tähän tarkoitukseen on vector displacement map. Töyssykarttaa käytetään usein esittämään pinnan pienimpiä ja yksityiskohtaisempia epätasaisuuksissa, kuten tiilen pinnanmuotoja, tai ihon huokosia.

CPL-filtteri

Cross Polarizing Lens filter - Kameran eteen laitettuna auttaa poistamaan tasoittamaan liian korostuneita kohtia, kuten ihon rasvaisuuden heijastuksia, veden ja ikkunoiden heijastuksia. Erittäin hyödyllinen kuvattaessa tekstuureja ja kuvia joita tietokeen pitää yhdistellä, tai jos halutaan kuvata mitä ikkunan takana, tai veden alla näkyy.

Diffuse map

Käytetään myös nimiä Color map ja Diffuse color map. On materiaalin perusväri eli tekstuuri.

Displacement map

Siirtokartta - luodaan samalla tavalla kuin töyssykartta, eli mustavalkoista kuvaa käytetään määrittämään pinnan muodot. Toisin kuin töyssykarttaa, siirtokarttaa käytetään muokkaamaan varsinaista geometriaa. siirtokartta vaikuttaa näin myös kohteen profiiliin toisin kuin töyssykartta ja normaalikartta eli normal map. Se vie myös eniten laskentatehoa. Se on kuitenkin tehokkaampi

kuin, että loisi kaikki yksityiskohdat oikeana geometriana. Esimerkiksi ray tracing algoritmille voidaan sanoa, että se ei ota siirtokarttaa ollenkaan huomioon. Tämä luo suuren säästön renderöintiajassa, mutta sillä on vain vähän vaikutusta mallin realismille. Elokuviissa käytetään usein siirtokarttaa, koska käytössä on usein tehokkaat koneet. Siirtokartta ei voi luoda kielekkeitä eli alueita jotka jäisivät toisen alueen taakse. Tähän tarkoitukseen on vektorisiirtokartta.

Equirectangular
projektio

On pallo litistettynä tasolle niin, että saadaan 360x180 asteen projektio, jonka kuvasuhde on siis 2:1. 3D-mallinnusohjelmille annettavat pallopanoraamakuvat pitääkin olla useimmiten tällä projektiolla ja kuvasuhteella.

Procedural
Fotogrammi

Photogram - on valokuva, jonka valmistamiseen ei ole käytetty kameraa. Perinteisesti esine (tai mikä tahansa asia, joka vaikuttaa valon kulkuun) asetetaan valoherkälle materiaalille, yleensä valokuvapaperille ja materiaali valotetaan esineen tms. ollessa sen päällä. Kuva muodostuu valoherkälle pinnalle varjokuvana. (Wikipedia, 4.4.2013)

Fotogrammetria

Photogrammetry - Tarkoittaa kuvan muuttamista keinotekoisesti. Yleensä sillä käsitetään kohteiden kolmiulotteista mittausta kohteesta otetuilta kuvilta. Tunnetuin fotogrammetrisista sovelluksista on ilmakuvaus, jota käytetään monien kartoitusten pääasiallisena tietolähteenä. Kohteena olevasta alueesta otetaan riittävästi ilmakuvia, jotta jokainen maastonkohta on löydettävissä vähintään kahdelta eri kovalta. Kun kuvien suhteet toisiinsa ja maastoon on selvitetty, voidaan kohteen sijainti määrittää kuvista kolmiulotteisesti. Ilmakuvia käytetään erilaisten karttojen

tekemiseen, maaston topografiseen kartoitukseen ja maastomallimitoituksiin vaikkapa tiensuunnittelua varten. (Wikipedia, 15.3.2013)

-gram Kreikkalaisperäinen jälkiliite, joka tarkoittaa jotakin, joka on kirjoitettu, piirretty, tai muuten tallennettu. Tullut alkujaan sanasta "graphó", joka tarkoittaa raapaista, naarmuttaa. (Wiktionary, 4.4.2013)

HDRI-kuva High Dynamic Range Image. 32 bittinen kuva, joka on yleensä muodostetaan ottamalla samasta kohtaa useampi 8 bittinen tai 16 bittinen kuva eri valotusarvoilla ja muodostamalla niistä kuvan, jossa on laajempi valon voimakkuus kuin mitä normaali monitori pystyy esittämään. Tämä dynaaminen alue on siis kuvan valoisuusarvot kuvan kirkkaimmasta pikselistä tummimpaan, tätä arvoa kutsutaan kontrastisuhteeksi (contrast ratio). 32 bittisessä liukulukukuvassa ei ole säädettyä maksimi arvoa vaan arvon potentiaalia voidaan nostaa loputtomiin. HDRI-kuvan ansiosta kuvasta saadaan esiin kaikki yksityiskohdat vaikka osa olisi kirkkaassa auringonpaisteessa, tai pimeimmässä nurkassa. HDRI-kuvan avulla 3D-mallille saadaan täysin aitoa vastaava valaistus. HDRI-kuva voidaan muuntaa LDR-kuvaksi (Low Dynamic Range), jolloin kuvan valoisuuden ääriarvot näkyvät tavallisen monitorinkin ruudulla. Tätä muutosta kutsutaan sävyttämiseksi (tone mapping). LDR-kuva voidaan tuki myös keinoitekoisesti muuttaa HDRI-kuvaksi.

Heijastuskartta Katso kohdasta Specular map.

IBL Image Based Lighting, kuvaan perustuva valaistus. Jos 3D-malli halutaan saumattomasti istumaan esimerkiksi elävään videokuvaan niin videon kuvaushetkellä otetaan HDRI-kuva, jota käytetään luomaan vastaava valaistus 3D-mallille. Myös normaali kuvaa voidaan käyttää valaisimena, mutta 16 bittisellä HDR kuvalla saadaan yleensä parempi tulos, varsinkin jos tarvitaan kirkasta

päivänvaloa. Kuvan resoluution ei tarvitse olla kovin iso, jos kuvaa ei käytetä heijastuksissa, tai taustana.

k lyhenne sanasta kilo, eli tarkoittaa numeroina tuhatta. Lyhenne 4k tarkoittaa siis neljätuhatta. Tätä lyhennettä käytetään yleensä kuvien pikselikoosta puhuttaessa. Full HD kuva on 1920 x 1080 eli sitä kutsutaan 2k kuvaksi sen leveyden mukaan.

Kromaattinen aberraatio

on valon erilaisesta taitumisesta johtuva ilmiö. Spektrin pienemmät aallonpituudet taittuvat linssissä enemmän kuin spektrin suuremmat aallonpituudet. Valon taittuminen riippuu linssin (tai muun taittavan esineen) taitekertoimesta. Taitekerroin riippuu taas valon aallonpituudesta, tästä seuraa se, että eri aallonpituudet taittuvat eri kulmissa, jolloin havaitaan väriaberraatio. Karkeasti yleistäen voidaan sanoa, että sininen valo taittuu enemmän kuin punainen. (Wikipedia, 10.4.2013) Värien erilaisen taittumisen seurauksena on se, että kuvan värisävyjen reunoille tulee värivirheitä jotka halutaan yleensä poistaa.

Kuvasuhde Aspect ratio - On kuvan leveyden suhde sen pituuteen eli leveys jaettuna pituudella; x/y .

LDR-kuva Low Dynamic Range - HDR-kuvan vastakohta. 16 bittisessä kuvassa on enemmän värisävyjä kuin 8 bittisessä, mutta kummassakaan valon voimakkuus eli luminanssi ei ylitä 1:tä. HDR-kuvasssa valon luminanssi voi olla monia tuhansia. HDR-kuva on aina 32 bittinen.

Lineaarinen työnkulku on menetelmä, jossa kaikki kuvankäsittely tehdään 32 bittisessä väriavaruudessa. Lineaarisen työnkulun tarkoitus on olla hävittämättä pikselin väriarvoja ja näin parantaa renderöityjä kuvia.

Luminanssi Luminanssi (tunnus L) kuvaa pinnalta lähtevää valon voimakkuutta eli "pinnan kirkkautta". Luminanssi kertoo valovoiman tarkastelusuunnassa pinta-alaa kohti.

Leipominen	<p>Luminanssin SI-järjestelmän mukainen mittayksikkö on kandela per neliometri (cd/m²). (Wikipedia, 11.4.2013)</p> <p>Bake - tarkoittaa, että tekstuuri, kuva tai algoritmi kiinnitetään kohteeseen pysyvästi ja sitä ei enään lasketa jokainen kerta uudestaan. Vastaavalla tavalla kuvankäsittelyohjelmassa tasot litistetään yhdeksi kuvaksi eli leivotaan kokoon.</p>
LiDar	<p>Light Radar – Laser tutka, jolla saadaan kohteen pinnanmuodot kartoitettua, vastaava kuin radar eli radioaaltoihin perustuva tutka ja sonar, ääneen perustuva tutka.</p>
Normal map	<p>Käytetään esittämään pinnan pieniä muotoja ja epätasaisuuksia. Normal map ei ole kovin tarkka, koska RGB värejä käytetään osoittamaan pinnan normaalin suunta eli suunta, joka on suoraan pois päin pinnasta. Normal map vaatii kaikkein vähiten laskentatehoa (vähemmän kuin bump map tai displacement map) ja tästä syystä sitä käytetään varsinkin peleissä. Normal map voidaan filterin avulla luoda suoraan yhdestä valokuvasta, mutta paras normal map saadaan kun kohde kuvataan edestäpäin neljä kertaa, joka kerta vaihtaen spottivalon suuntaa päällmansuuntien mukaan (näin saadaan kohteen kaikki pinnanmuodot esiin (mikäli kohde ei ole itseään varjostava, joka tuottaa ongelmia).</p>
Occlusion map	<p>Okklusio kartta - Sisältää varjostumat jotka syntyvät vaikka suoraa kohdevaloa ei ole. Okklusio karttaa käytetään parantamaan normaali varjostusta ja syventämään varjon tummimpia kohtia. Sitä käytetään usein myös mallin mahdollisten virheiden löytämiseksi (näkyvät yllättävinä mustina alueina), tai teksturoinnin apuna kuvankäsittelyohjelmassa.</p>

Ortografinen	Tarkoittaa, että kuvasta on poistettu perspektiivi eli kohteet eivät pienene etäännyttäessä kamerasta vaan pysyvät saman kokoisina. Ortografisen kameran käyttö helpottaa mallinnusta ja teksturointia, koska perspektiivi ei luo vääristymää kuvaan, joka projisoidaan kaksiulotteisena objektin pintaan.
Polttoväli	Focal length - Mitta sille, kuinka paljon objektiivi kokoaa tai hajottaa valoa. Zoom-objektiiveissa on muuttava polttoväli, joka merkitään esimerkiksi 18-120. 18 on laajakulma ja 120 on zoomaus.
Polygon	Monikulmio jossa on vähintään kolme kulmaa. Ngon on monikulmio jossa on enemmän kuin neljä kulmaa. Nelikulmiota kutsutaan nimellä quad.
Ptex	Pixarin luoma automaattinen UV-kartoitus malli, joka perustuu siihen, että tekstuuri automaattisesti projisoidaan 3D-objektin jokaiseen pienimpään mahdolliseen tasopintaan, joka on kolmikulmio eli triangeli.
Retopologisointi	Topologiat ovat yksinkertaisimpia matemaattisia rakenteita, joissa voidaan määritellä sellaisia käsitteitä kuin avoimuus, jatkuvuus, homeomorfinisuus ja yhtenäisyys. (Wikipedia, 17.4.2013). Retopologisointi tarkoittaa matemaattisen rakenteen eli 3D-mallin geometrian muuttamista niin, että se vastaa paremmin tarkoitusta. Usein uutta topologiaan vaativat mallit jotka ovat joko vapaasti mallinnettu mallinnuspensseleillä, tai ovat luotu skannatusta pistepilvestä.
Siirtokartta	Katso kohdasta Displacement map.
Specular map	Heijastuskartta - On harmaasävykuva, jolla määritellään, mitkä osat materiaalista ovat kiiltäviä ja mikä on mattaa. Jos yritetään luoda märkää pintaa, heijastuskarttaa voidaan kutsua myös wet mapiksi. Heijastuskartassa valkoinen on heijastavaa pintaa ja musta mattaa, harmaasävyt ovat väliarvoja.

Töyssykartta	Katso kohdasta Bumb map.
UV-kartta	UV map - On kaksiulotteinen kartta, jonka perusteella kuvatekstuuri saadaan mahdollisimman hyvin istumaan 3D-objektin ympärille. UV-kartta saadaan aikaiseksi hajottamalla 3D-objekti osiin ja litistämällä osat kaksiulotteiselle pinnalle. Näin kaksiulotteinen kuva pystytään projisoimaan 3D-objektiin. Aivan kuin ommeltavasta paidasta on ensin kaavakuvat etu ja takapuolesta, joiden perusteella kangas leikataan ja ommellaan kolmiulotteiseksi paidaksi. Kirjaimet UV eivät tarkoita mitään, ne ovat vain haluttu selvästi erottaa kulmiulotteisesta XYZ koordinaatistosta. 3D-objektin UV-kartta voi muodostua useasta UV laatasta. Jokainen UV laatta edustaa yhtä kuvatiedostoa, jota käytetään objektin teksturointiin. Automaattinen Ptex kartoitus on tullut viime vuosina ainakin osittain korvaamaan UV-kartoituksen.
Valotusaukko	Camera Aperture Size - Kameroiden yhteydessä aukon koosta puhuttaessa tarkoitetaan valotusaukon kokoa, joka määrittää paljonko valoa päästetään valoherkälle sensorille. Aukon koko määritellään kameroissa usein f-stop numerolla, joka on aukon koko suhteessa objektiivin polttoväliin. 3D-mallinnusohjelmissa aukon koko esiintyy usein myös tuumissa, esimerkiksi 0.886 x 0.591.
Zenith / Nadir	Zenith on kuvitteellinen taivaan lakipiste suoraan tarkasteltavan kohteen yläpuolella. Nadir on vastakohta eli piste suoraan kohteen alla.