

Panu Vuoristo

MENETELMIÄ KOLMIULOTTEISEN TILAN VISUAALISEN PROTOTYYPIN NOPEAAN TUOTANTOON

Opinnäytetyö

Viestintä

Huhtikuu 2015



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Panu Vuoristo	Medianomi	Huhtikuu 2015
Opinnäytetyön nimi		
Menetelmiä kolmiulotteisen tilan visuaalisen prototyypin nopeaan tuotantoon.		54 sivua 22 liitesivua
Toimeksiantaja		
Panu Vuoristo		
Ohjaaja		
Marko Siitonen		
Tiivistelmä		
<p>Tässä opinnäytetyössä on pyritty kartoittamaan menetelmiä, hyviä käytäntöjä ja käyttökelpoisia lähestymistapoja kolmiulotteisten tilojen prototyyppien nopeaan visualisointiin. Tiloilla tarkoitetaan mitä tahansa kolmiulotteista tilaa tai kokonaisuutta, joka on suurpiirteisesti esitettävissä 2d- tai 3d-grafiikan tai 3d-tulostuksen keinoin. Painopisteenä on ollut kehitellä tuotantoprosessi, joka rakentuu erityisesti säännöllisen asiakaspalautteen ympärille ja on riittävän joustava kestämään suhteellisen huomattavatkin muutokset kesken tuotannon. Toinen tärkeä kriteeri on ollut suunnitella prosessi nopeaksi ja kokonaisuuslähtöiseksi. Toisin sanoen, tuotanto pyritään aina aloittamaan tilan karkealla ja kokonaisvaltaisella hahmottamisella, josta kehitys jatkuu vaiheittain kohti tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa rakennelmaa, kunnes asiakas katsoo prototyypin olevan valmis. 3d-grafiikan joustavan luonteen ja tehokkaiden ohjelmistojen ansiosta asiakkaalla on halutessaan mahdollisuus jatkojalostaa prototyypistä valmis tuote. Prosessi menetelmien on suunnattu itsenäisesti toimiville 3d-mallintajille tai pienille, 2–5 hengen ryhmille.</p> <p>Tilan visualisoinnille tai esivisualisoinnille on käyttöä kun halutaan kevyt ja kustannustehokas tapa nähdä, ymmärtää ja kokea kokonaan uusi tai mukailtu olemassa oleva ympäristö. Visualisointia voidaan käyttää apukeinona havainnollistamaan tai myymään ideoita, helpottamaan päätöksentekoa tuotannon kalliimpia vaiheita varten ja paikantamaan mahdollisia ongelmakohtia. Prosessia voidaan myös käyttää kartoittamaan lopullisen 3d-tilan edellyttämät elementit, eli osat ja rakenteet, joista kokonaisuus rakentuu. Kun tilan edellyttämät elementit ovat tiedossa, voidaan ne jaotella helposti toistettaviksi moduuleiksi. Näin aikaa säästyy huomattavasti, sillä jokaista tilassa ilmenevää osaa ei tarvitse erikseen rakentaa. Prosessia voidaan soveltaa mm. pelialan, rakennusalan ja elokuva-alan yritysten tuotantoon.</p> <p>Opinnäytetyön ja prosessin laatiminen on edellyttänyt tutustumista erilaisiin menetelmiin kuten fotogrammetria, kameraprojisointi, tilan sommittelu yksinkertaisten perusmuotojen avulla, valon ja varjojen prosessointi tekstuureihin, instanssien hyödyntäminen, Lidar datan hyödyntäminen ja python apuohjelmien kirjoittaminen. Edellytyksenä on ollut myös perehtyminen ohjelmiin kuten Blender, Zbrush, Python Photogrammetry Toolbox, Meshlab, Hugin, 3d-Coat, Unity, LAS-tools, Photoshop, Keyshot, CrazyBump ja Sketchbook Pro.</p>		
Asiasanat		
prototyyppi, mallintaminen, 3d, tila, visualisointi, ympäristö		

Author (authors) Panu Vuoristo	Degree Bachelor of Culture and Arts	Time April 2015
Thesis Title Rapid Prototyping Methods for Spatial Visualization		54 pages 22 pages of appendices
Commissioned by Panu Vuoristo		
Supervisor Marko Siitonen		
Abstract <p>The aim of this thesis is to map out methods, good practices and usable approaches for rapidly producing visual prototypes of 3D spaces. Here, a space is defined as any 3D space or structure that is representable through the means of photography, 2d- or 3d-graphics or 3d-printing. The focus is on developing a production pipeline that especially relies upon frequent customer feedback, and is robust and flexible enough to withstand large changes in the midst of construction. Another important criteria is to ensure that the process is quick to utilize and focuses on the bigger picture rather than details, to always start by roughly shaping the entire space through basic geometric forms. From this point the process gradually grows in detail until the client finally states that the prototype is complete. Due to the flexible nature of 3d-graphics and the powerful applications employed, the client always has the option of incorporating the prototype into another production process and to refine it further. The process, with its methods, is targeted for independent 3D modelers or small, 2-5 person groups.</p> <p>Visualizing or pre-visualizing a space is especially useful when a light and cost effective method is required in order to enable the client to see, understand or experience an entirely new or modified existing environment. Visualizations are an important resource acting as an aid to help sell ideas, to ease decision making in other more expensive parts of client's production process and to highlight possible problem areas. The process may also be used to map out the elements - or modules - required building a final environment. This saves a huge amount of time, as each individual object in the space does not have to be modeled separately. This process may be applied or incorporated into the production pipeline of game, building or movie companies.</p> <p>The making of this thesis and the definition of the process has required the author to look into such techniques as photogrammetry, camera projection, composing a space out of simple geometric forms, baking light and shadows into textures, utilizing instancing, processing lidar data and programming python plugins for Blender. The project required familiarity with the following applications as Blender, Zbrush, Python Photogrammetry Toolbox, Meshlab, 3d-Coat, Unity, LAStools, Photoshop, Hugin, Keyshot, CrazyBump and Sketchbook Pro.</p>		
Keywords Prototype, modeling, 3d, space, visualization, environment		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	PROSESSI	7
2.1	Ensimmäinen vaihe	7
2.2	Toinen vaihe	11
2.3	Kolmas vaihe	18
3	YMPÄRISTÖN HYÖDYNTÄMINEN DIGITAALISEN MATERIAALIN TUOTANNOSSA.....	21
3.1	Valo-, HDR-kuvat ja tasavälinen lieriöprojektiio.....	21
3.2	Träkkäys, fotogrammetria ja laserkeilaus	24
3.3	Kameraprojektiot.....	29
4	TOISEN VAIHEEN MENETELMÄT	31
4.1	Luonnostelu	32
4.2	Boolean-operaatiot	33
4.3	Proseduraaliset mallinnustyökalut	34
4.4	Instanssit ja arrayt.....	34
4.5	Texture atlas ja baking-operaatiot.....	37
5	KOLMANNEN VAIHEEN MENETELMÄT	38
5.1	Skulptaus.....	38
5.2	Retopologia	40
5.3	Jälkituotanto ja OpenExr.....	42
6	JULKAISU	43
6.1	Interaktiiviset mediat	43
6.2	Kuvat ja videot	45
6.3	3d-tulostus	46
7	LOPUKSI	47
	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET	
	Liite 1. Messutori	
	Liite 2. Kitbashing hämähäkki	
	Liite 3. Research Facility	

Liite 4. Royal Pavilion

Liite 5. Lieriöprojektiokuvat

Liite 6. Taidetalo

Liite 7. Array-näyte

Liite 8. Kallo

1 JOHDANTO

Oli kyseessä pieni huoneisto tai kaupunkimaisema, kolmiulotteisten ympäristöjen on tuottaminen pitkäjänteisyyttä edellyttävää työtä (Lesperance, 2012a). Työstettäviin osa-alueisiin kuuluu muun muassa jatkuva tutkimustyö, mallintaminen, teksturointi, valaiseminen, sopivien pintamateriaalien löytäminen, luonnostelu, mittasuhteiden varmistaminen, visuaaliset tehosteet, jälkituotanto ja renderöinti tai testaus peliympäristössä. On myös pidettävä huolta siitä, että ympäristö vastaa sekä esteettiseltä että tekniseltä toteutukseltaan sille asetettuja kriteerejä, jotka voivat vaihdella melkoisesti käyttötarkoituksesta riippuen.

Huomattavin ongelma minulle ja monille digitaalista mediaa tai pelialaa opiskeleville oppilaille on ollut löytää käytännöllinen lähestymistapa tällaisten projektien toteutukseen. Usein projekteja on lähestytty yksityiskohdista käsin, eikä tekijällä välttämättä ole selkeää kuvaa työstettävästä kokonaisuudesta (Siitonen 2015). Tällöin on vaarana, että ympäristö rakentuu väkinäisesti yksittäisten elementtien ehdoilla sen sijaan, että kannattelevana voimana olisi alkuperäinen idea. Tämä asettaa työn tilaajan hankalaan tilanteeseen, sillä muutosten tekeminen jälkikäteen on vaikeaa, ja pahimmassa tapauksessa koko työ saatetaan joutua hylkäämään. Vertauskuvallisesti voidaan ajatella talonrakennusurakkaa, jossa tekijä aloittaa rakentamisen sattumanvaraisesta kohdasta ja toivoo parasta.

Tässä opinnäytetyössä esittelen prosessin, joka mahdollistaa kolmiulotteisten ympäristöjen rakentamisen ja testauksen kokonaisuuslähtöisesti. Tarkoitus on, että prosessia seuraava tekijä pääsisi arvioimaan mallinnettavan tilan yleistä toimivuutta mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ilman sitoutumista aikaa vievien yksityiskohtien parissa työskentelyyn. Tästä syystä tuotettu projekti on aina lähtökohtaisesti yksinkertainen prototyyppi - ympäristön esivisualisointi. Jos prototyyppi on onnistunut, muodostaa se varman pohjan tarkemmalle ja yksityiskohtaisemmalle rakentamiselle. Prototyypin tärkein tehtävä on tuottaa tietoa jatkokehitystä varten; Se sellaisiin vastaa kysymyksiin, kuten onko mallinnettavan tilan alkuperäinen idea toimiva ja minkä asioiden työstämiseen tuotannossa kannattaa käyttää aikaa. Prosessi ei itsessään sisällä mitään ennennäkemätöntä tai mullistavaa tietoa, vaan kyse on pikemminkin ohjenuorasta, jonka pitäisi olla sovellettavissa useanlaisiin tilanteisiin. Prosessin esittelyn jälkeen tekstissä käydään läpi erilaisia menetelmiä, jotka

voivat auttaa tekijää prototyypin tuotannossa. Lopuksi tutustutaan erilaisiin tapoihin julkaista tuotettu materiaali.

2 PROSESSI

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyössä käsiteltävän prosessin rakennekomponentteineen. Prosessin rakenne on jaksotettu kolmeen päävaiheeseen: alustukseen, karkeaan toteutukseen ja tarkentavaan toteutukseen. Prosessi on suunniteltu siten, että säännöllinen asiakaspalaute muovaa projektia. Tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen vaiheen toteutuksen jälkeen tuotoksista lähetetään versio asiakkaan arvioitavaksi. Asiakkaan antama palaute antaa suunnan seuraavalle tuotantovaiheelle. Jos muutostöimukset ovat suuria, voidaan yksittäisistä päävaiheista tuottaa uusi tai mukautettu versio niin monta kertaa kuin tarve vaatii ja aikataulu sallii ennen siirtymistä eteenpäin. Erityisesti toinen päävaihe on suunniteltu kestämään huomattaviakin muutoksia. Kolmas, eli tarkentava vaihe suoritetaan toistuvasti kunnes asiakas katsoo prototyypin olevan valmis.

Toimivuuden ja joustavuuden takaamiseksi, prosessi edellyttää käyttäjältään tiettyä valmiutta, kuten sommittelun ja käytettävien tekniikoiden¹ hallintaa.

Prosessin yleistä ohjeistusta tulee myös noudattaa: mallinnettavan tilan rakentamista ei saa aloittaa ennen alustusvaiheen suorittamista, eikä mallinnusvaiheessa saa käyttää aikaa yksityiskohtiin ennen kuin asiakas on hyväksynyt kokonaisuuden. On myös hyväksyttävä, että ensimmäinen versio ei välttämättä näytä erityisen miellyttävältä (Lesperance 2012a). Tekijälle aiemmista projekteista mahdollisesti kertynyt materiaali, kuten tekstuurit, referenssikuvat ja 3d-mallit ja palveluiden kuten CGTextures.com asiakkuus voivat antaa toteutukseen paljon vauhtia, eritoten ensimmäisen ja toisen päävaiheen suhteen.

2.1 Ensimmäinen vaihe

Ensimmäisessä vaiheessa projekti alustetaan. Otetaan selvää mitä asiakas haluaa nähdä, mihin tarkoitukseen prototyyppi tulee, mitkä ovat sen edellytyk-

¹ Tekniikat esitellään luvuissa 4 ja 5.

set ja rajoitukset - ja eritoten - mikä on projektin aikataulu. Tämän jälkeen siirytään ideoimaan ja suunnittelemaan projektin toteutustapaa, joka voi vaihdella huomattavasti riippuen asiakkaan määrittelemän tehtävän luonteesta ja käytettävissä olevasta tukimateriaalista. Kyseessä voi olla esimerkiksi olemassa oleva, todellinen kohde, kuten rakennus, jonka tontille on suunnitteilla uusi paikoitusalue. Asiakas haluaa ennalta tarkastella tai esitellä prototyypin avulla rakennuksen ja paikoitusalueen suhdetta ympäristöön. Tällöin tukimateriaalina voidaan käyttää mitä tahansa ympäristössä mitattavaa ja tuotettavaa olennaista tietoa, kuten maaston topografia, läheisyydessä olevat rakennukset ja rakenteet, kuten tiet, mittoineen ja ulkonäköineen, luonnollinen ja keinovaistutus sekä asiakkaan toimittamat piirustukset ja muut tiedot suunnitellusta paikoitusalueesta. Koska valtaosa tarvittavasta tiedosta on tällaisessa tapauksessa on saatavilla, tekijän tehtäväksi jää selvittää mikä on tehokkain tapa välittää tieto ympäristön digitaaliseen prototyyppiin ja miten rajata ja kiteyttää kokonaisuudesta asiakkaan tarkoitusta parhaiten palveleva esitys. Jos sen sijaan projektin tarkoitus on tuottaa fiktiivinen ympäristöprototyyppi esimerkiksi videopeliä varten, ja käytettävissä on konseptimaalaus sekä suuntaa antava pohjapiirustus suunniteltavasta alueesta, edellytetään tekijältä varsin erilaista lähestymistapaa; konseptimaalauksista on tulkitettava tarkasti, jotta yksityiskohdat ja tunnelma välittyvät 3d-ympäristöön. Ympäristö on myös samanaikaisesti suhteutettava pohjapiirustukseen.

Prosessin tarkoitus on olla helposti muotoutuva ja sikäli yleispätevä, että sitä voitaisiin käyttää pohjana erityyppisille lopputuotteille, kuten interaktiivisille julkaisuille, joissa asiakkaalla on mahdollisuus vapaasti tutkia tilaprototyyppiä esimerkiksi virtuaalisesti kävelemällä sen sisällä tai ympärillä, tai video- ja kuvajulkaisuille, jotka toimivat ennalta määrättyllä tavalla. Yhdestä prototyypistä voidaan tarvittaessa tuottaa *molemmat tyypit* versiot ja mahdolliset 3d-tulosteet. Mutta jos ennalta tiedetään millaista lopputulosta asiakas tavoittelee ja missä formaatissa se tullaan julkaisemaan, helpottaa se valittavien tuotantomenetelmien käyttöä ja voi sen myötä nopeuttaa prosessin etenemistä huomattavasti. Jos esimerkiksi pelkkä tilan läpi liikkuva kamera-animaatio riittää, pääsee rakentamisen suhteen vähemmällä, sillä vain kameralle suoraan näkyvät alueet tulee mallintaa². Hyvä käytäntö on toteuttaa heijastukset ja

² Jos animaatio toteutetaan 360 asteen videona, mallinnettavaa tulee enemmän. Aihetta käsitellään tarkemmin aliluvussa 6.2.

etäällä olevat alueet taustakuvilla (de Jongh 2010, 80-82). Tehokkaan tuotannon varmistamiseksi onkin projektin alustusvaiheessa tärkeää saada mahdollisimman selkeä ymmärrys prototyypin käyttötarkoituksesta, rajauksesta ja hyödynnettävästä tukimateriaalista.

Ennen varsinaisen mallintamisen, tai minkään muun prototyyppiä konkreettisesti rakentavan menetelmän aloittamista, on luotava *riittävän* selkeä toimintasuunnitelma, jotta ainakin tekijä itse ymmärtää mitä on tekemässä. Opinnäytetyössä esiteltävien menetelmien ja käytäntöjen nopeasta luonteesta huolimatta tehtävään huolimaton valmistautuminen ja ennenaikainen pyrkimys realisoida idea johtaa todennäköisesti ennalta arvaamattomiin ongelmiin myöhemmin. Kiusaus aloittaa mallintaminen välittömästi tukimateriaalin pohjalta voi olla suuri, mutta tällöin on vaarana, että tekijä väärinkäsityksen tai huonon työskentelytavan vuoksi päätyy tuhlaamaan sekä omaansa että asiakkaan aikaa ja voimavaroja (de Jongh 2010, 55-60). Suunnitelma auttaa jo alussa paikantamaan kohdat projektissa joita asiakkaan toimittama materiaali ei kata. Toisin sanoen, tekijä kykenee päättämään miltä osa-alueilta lisätietoa on hankittava ja onko tieto tekijän itsensä hankittavissa vai onko asiakkaan toimittava se. Toiseksi, ilman suunnitelmaa tekijän on vaikea saada realistista käsitystä projektin lähtökohtien suhteesta toivottuun lopputulokseen. Kuvaanollisesti sanoen, suunnitelma muodostaa sillan läpi tuntemattomien alueiden lähtöpisteen ja lopputuloksen välillä. Kolmanneksi, suunnitelma vahvistaa tekijän ja asiakkaan yhteistä näkemystä projektista ja luo hyvän pohjan kommunikoinnille. Vaikka tehtävänanto tuntuisi lähtökohtaisesti yksinkertaiselta ja tuotanto itsestäänselvyydeltä, kannattaa prosessi käydä paperilla läpi kaikesta huolimatta: kirjoittaminen ja eritoten luonnostelu antaa tekijälle varmuutta ja auttaa huomaamaan muuten helposti ylenkatsottavat ongelmakohdat, joiden setvimiseen varautumattomana saattaisi kulua huomattavasti aikaa. Minulle tehokkain tapa ratkaista monimutkaisen oloisia pulmia on ollut piirtää niistä jonkinlainen rakenne- tai kulkukaavio paperille³.

Kun alustava suunnitelma on saatu valmiiksi, alkaa materiaalin ja tiedon keruu. Selvitetään millaisilta elementeistä prototyyppi tilana rakentuu, mikä on niiden toimintaperiaate ja keskinäinen suhde. Referenssimateriaalia kannattaa hankkia enemmän liian paljon kuin liian vähän, sillä suuresta määrästä voi - ja kannattaa - aina poimia parhaat ja mielenkiintoisimmat osuudet omaksi eril-

³ Luonnostelua käsitellään tarkemmin aliluvussa 4.1.

liseksi kokonaisuudeksi (Thompson 2014). Yli jäävän osuuden voi säilyttää toissijaisena tiedon lähteenä. Jotta referenssimateriaali, joka voi koostua esimerkiksi kuvista, kaavioista, videoista, lehtiartikkeleista ja kirjoista olisi jatkuvasti tavoitettavissa, tekijän on hyvä käyttää selkeää järjestelmää, joka sallii tiedon lisäämisen, järjestelyn mielekkäisiin luokkiin, uudelleen järjestelyn, helpon löydettävyyden, välittämisen edelleen muille käyttäjille ja lopulta arkistoinnin. Käytännöllisen järjestelmän merkitys korostuu erityisesti kun tekijä yrittää etsiä vanhaa tai lisätä uutta tietoa arkistoonsa, ja esimerkiksi kuvatiedostojen määrä ylittää useisiin tuhansiin (Thompson 2014; Klimov 2014). Referenssimateriaalia kasattaessa suuri tiedon määrä on etu muttei itseisarvo: hankitusta tiedosta on lopulta hyötyä vain jos tekijä perehtyy siihen huolella, ja osaa valita ja soveltaa sen oleellisimpia osuuksia projektissa (Klimov 2014).

Eräs haaste tekijälle voi olla löytää yhtenäinen linja tai teema muotokielen, värien, aikakauden, arkkitehtuurin yms. suhteen, ellei asiakas ole sitä selkeästi määritellyt (Limonick 2014). Tekijällä on myös oltava, tai sen puuttuessa hankittava, jonkinlainen perustava ymmärtämys prototyypissä ilmenevien asioiden toiminnallisuudesta ja suhteesta ympäristöönsä (Ruppel 2012, 146). Ymmärtämys osoittaa tekijän oikeaan suuntaan tietoa haettaessa ja ehkäisee toteutusvaiheessa epäloogiselta tai luonnottomalta vaikuttavia, yhtenäisyyden rikkovia ratkaisuja. Jos esimerkiksi projektissa kuvattu paikka sijoittuu johonkin tiettyyn aikakauteen on pidettävä huolta, ettei mukaan satu jotakin täysin ristiriitaista. Jos prototyypissä esiintyy jokin selkeästi tunnistettava toimintaympäristö, kuten vaikkapa laboratorio tai autokorjaamo, on ympäristön *näytettävä* siltä, että se todella *voisi* palvella tarkoitustaan. Koska prosessin tarkoitus on kuitenkin ennen muuta visuaalisesti kommunikoida asiakkaan ideaa helposti ymmärrettävän kolmiulotteisen kokonaisuuden muodossa, tekijän vastuulla ei ole varmistaa, että mallinnettu tila olisi sellaisenaan suoraan sovellettavissa todellisuuteen - kyse ei ole insinööriyöstä. Ennen siirtymistä toiseen päävaiheeseen, eli karkeaan toteutukseen, tekijällä on oltava selkeä käsitys projektista, tarvittavat materiaalit käsillä ja suunnitelma.

Alvarezin mukaan asiakkaalle kannattaa alussa esitellä kolme mahdollisimman erilaista suunnitelmaehdotusta (2014). Tilan visualisoinnissa projektin luonnetta ja lähtökohtia voi olla vaikea ennakoida, joten se missä vaiheessa prosessia nämä kolme vaihtoehtoa asiakkaalle kannattaa esittää ei ole itsestään selvyyttä. Jos projekti on määrittelyltään hyvin avoin, ja siten edellyttää te-

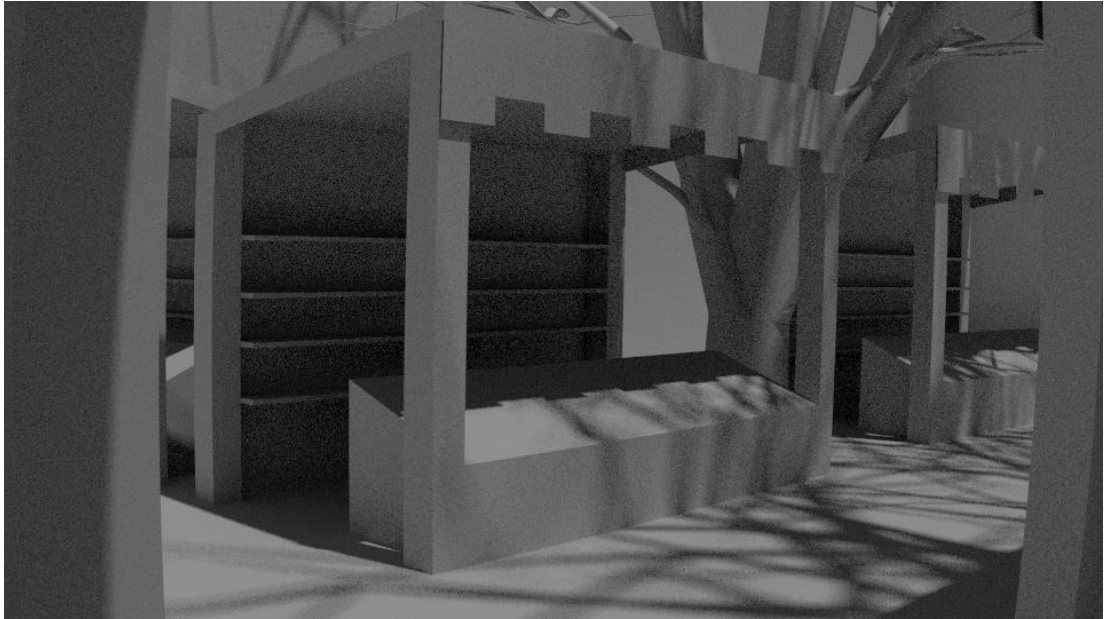
kijältä paljon alustavaa suunnittelua, voinee vaihtoehtoiset suunnitelmat ja ideat lähettää hyväksyttäväksi ennen karkean toteutusvaiheen aloittamista. Suunnitelman on voitava esittää selkokielisesti ja ymmärrettävästi, ja tässä kohtaa on huomioitava minkä tyyppisestä asiakkaasta on kysymys; Visuaalisesti orientoitunut henkilö voi sisäistää tekijän välittämän viestin muutaman kirjoitetun lauseen ja nopean luonnoksen perusteella (Frederick 2007, 48). Toista ääripäätä edustaa henkilö, joka edellyttää hyvin pitkälle vietyä ja selkokielistä konseptia, jotta viesti tulee ymmärretyksi (Bertling & Robertson 2014, 13). Jälkimmäisessä tapauksessa tekijän kannattanee siirtyä suunnitelmasta suoraan karkeaan toteutukseen ja laatia vaihtoehtoiset esiteltävät versiot vasta tässä vaiheessa. Toisen päävaiheen tuotosten on oltava, suurpiirteisyydestään huolimatta, jo niin selkeitä, että käytännössä kuka tahansa kykenee ymmärtämään millaista tilaa prototyyppi esittää (Frederick 2007, 48).

2.2 Toinen vaihe

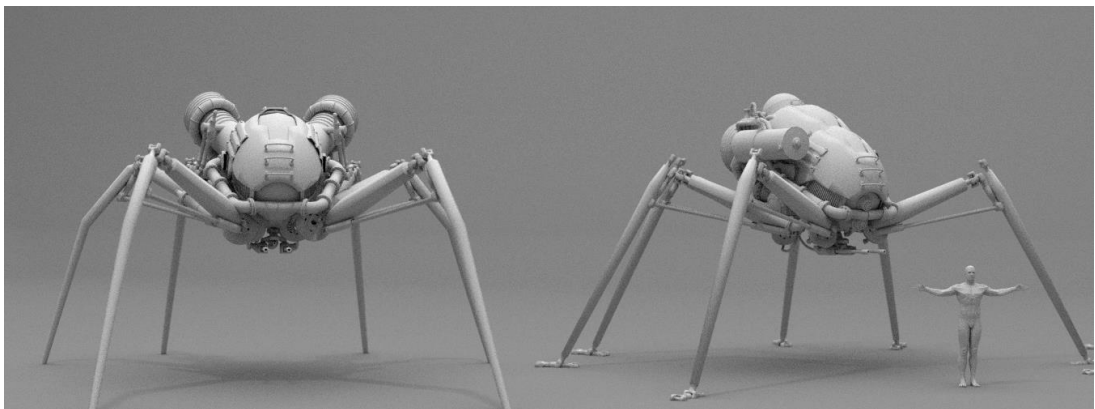
Toisessa päävaiheessa keskitytään luomaan tilan tai ympäristön rakenne suurpiirteisesti. Ensisijainen tavoite on toteuttaa yksinkertainen, mutta tarkoitusta vastaava ja helposti ymmärrettävä tilaprototyyppi asiakkaalle. Työtavan on tässä vaiheessa prosessia tarkoitus olla tahdiltaan reipas. Jotta tekijä voi keskittyä katkoitta projektin kantavan ajatuksen toteuttamiseen ja välttyä tarkentumista teknisiin tai muihin yksityiskohtiin, hänen on työstettävä tilaa kokonaisuutena – kolmiulotteisen sommittelun, valaistuksen ja ympäristön elementtien keskinäisten mitta- ja etäisyysuhteiden kautta (Klimov 2014; Lesperance 2012a). Tilaa massoitetaan, muotoillaan ja rajataan yksinkertaisilla geometrisillä perusmuodoilla kuten suorakulmaisilla särmiöillä⁴, palloilla ja lieriöillä. Tarkoitus on saada ensimmäiseksi tilaa voimakkaasti hallitsevat ja rajaavat elementit, kuten seinät ja katto paikoilleen – tai ympäröivä maasto yksinkertaisine rakennuksineen, jos kyse on ulkotiloista. Pöydät, ajoneuvot ja muut suuret esineet tai rakenteet voi aluksi sommitella paikoilleen karkeiden ja yksinkertaisten muotojen avulla (kuva 1) – myöhemmin ne korvataan tarkemmin mallinnetuilla kappaleilla. Vaihtoehtoisesti tekijä voi käyttää valmiita malleja osineen esineiden ja rakenteiden kokoamiseen. Valmiista yksittäisistä ele-

⁴ Monitahokas, joka koostuu kuudesta suorakulmion muotoisesta tahkosta. Toisin sanoen, kyse on laatikon muotoisesta kappaleesta.

menteistä yhdisteltyjen mallien rakentamista kutsutaan nimellä *kitbashing* (Klimov 2014) (kuva 2).



Kuva 1. Keskiakateemaisten messujen myymäläkojujen ja kadun sommittelua yksinkertaisilla geometrisilla muodoilla. Lisää kuvamateriaalia messutorin toteutuksesta on liitteessä 1.



Kuva 2. Kuvassa näkyvät kaksi hieman erilaista mekaanista hämähäkkiä ovat esimerkki kitbashingin käytöstä. Hämähäkit on kasattu nopeasti käytettävissä olevista, tai aiemmista projekteista ylijääneistä, kappaleista, kuten putkista, ilmastointiritilöistä ja auton levyjarruista. Aikaa kasaamiseen kului noin 2 tuntia, eikä mitään alustavia luonnoksia tehty. Oikeassa alakulmassa näkyvä ihmisfiguuri antaa käsityksen hämähäkkien koosta. Tarkempia kuvia hämähäkeistä on liitteessä 2.

Mallintajat ja eritoten 3d-ohjelmia hyödyntävät kuvittajat suosivat kitbashingiä, sillä se mahdollistaa monimutkaisten kokonaisuuksien luomisen nopeasti ja joustavasti, sillä teknisistä asioista, kuten rakenteen topologian yhtenäisyydestä ei tarvitse välittää (Scott Robertson 2013). Kitbashing mahdollistaa siten myös useiden variaatioiden helpon toteutuksen yksittäisestä mallista – ja etenkin elokuva- ja peliteollisuudessa variaatioita edellytetään paljon (Alvarez

2014). Valmiiden mallien käyttöä sellaisenaan hyödynnetään erityisesti arkkitehtuurisissa visualisoinneissa, jolloin esimerkiksi yksittäinen huone halutaan sisustaa nopeasti nojatuolein, valaisimin ja kirjahyllyin ja aikaa säästyy seinien, ikkunoiden ja muiden rakenteiden muotoiluun (Andrew Peel 2015). Toinen tapa on käyttää proseduraalisilla mallinnustyökaluilla tuotettuja 3d-malleja⁵. Oli menetelmä mikä hyvänsä, prosessin toisessa vaiheessa aikaa ei ole tarkoitus käyttää topologian⁶ tarkkaan mallintamiseen tai muuhun optimointiin, josta asiakas ei välttämättä edes olisi missään vaiheessa kiinnostunut tai valmis maksamaan (Lesperance 2012a). Vain *kokonaisuuden* toimivuudella on merkitystä.

Ympäristöä työstettäessä mittasuhteisiin on kiinnitettävä erityistä huomiota (WorldofLevelDesign 2015). Oli työn alla kaupunkimaisema tai yksittäinen talo, on mittasuhteiden näytettävä luonnollisilta. Katsoja huomaa helposti jos esimerkiksi talon ovet omituisen pieniä ja huonekorkeus on luonnon. Väärät mittasuhteet tekevät tilasta epärealistisen näköisen ja oloisen, mutta ennen kaikkea projektin edetessä vääristymät kasautuvat ja lopulta mallintamisesta tulee erittäin hankalaa, sillä tekijä joutuu jatkuvasti kompensoimaan edeltäviä mittavirheitä uusilla. Tästä syystä oikeat mittasuhteet kannattaa varmistaa jo heti mallinnusvaiheen alussa (WorldofLevelDesign 2015). Luonteva ja helppo tapa tähän on tuoda tilaan 3d-malli keskimääräisen pituisesta ja kokoisesta ihmisestä. Mallinnettaessa tilaa tarkkaillaan useista eri suunnista ja eri etäisyyksiltä vapaasti sen mukaan mitä tekijä kullakin hetkellä työstää. Ongelmana on, että tekijän voi olla vaikeaa hahmottaa minkä kokoisia tilan elementit oikeastaan ovat ja kuinka kaukana ne ovat toisistaan. Ihmisfiguurin läsnäolo 3d-ympäristössä auttaa tekijää löytämään oikeat suhteet.

Jos tilasta ollaan tekemässä interaktiivista prototyyppiä, kannattaa ympäristön toimivuutta testata säännöllisesti pelimoottorissa, kuten esimerkiksi Unity 5:ssä tai Unreal Engine 4:ssä. Omien kokeilujeni perusteella Blenderillä toteutetun ympäristön vieminen ja testaus Unity-pelimoottorilla onnistuu parhaassa tapauksessa muutamassa minuutissa, jos tarkoituksena on vain voida liikkua "kävellen" mallinnetussa ympäristössä. Tilaan tutustuminen pelimoottorin avul-

⁵ Proseduraalista mallinnusta käsitellään tarkemmin aliluvussa 4.3.

⁶ Topologialla tarkoitetaan 3d-mallin pinnan polygoniverkon rakennetta. Hyvässä topologiassa polygoniverkko jakautuu tasaisesti koko mallin pinta-alalle, se mukaillee virtaviivaisesti mallin muotoa ja siinä on mahdollisimman vähän - tai ei lainkaan - kolmikulmaisia tai n-gon polygoneja (About 2015a). N-gonit esitellään lyhyesti aliluvussa 4.2.

la on mielestäni suositeltavaa aina kun siihen on hyvä mahdollisuus, sillä se antaa tekijälle mahdollisuuden kokea tila virtuaalisesti luonnollisemmalla ja ihmismäisemmällä tavalla kuin 3d-mallinnusohjelmassa. Tällaista tapaa simuloida liikkumista virtuaalitulasssa ihmisen näkökulmasta kutsutaan nimellä walkthrough (de Jongh 2010, 317). Blender tarjoaa myös mahdollisuuden tarkastella tilaa walkthrough-menetelmällä, mutta tekstuurit ja valaistus kannattaa ensin lasketuttaa bake-toiminnolla⁷ valmiiksi kuvatiedostoksi, jotta reaaliaikainen tarkastelu on mahdollista (Andrew Price 2014).

Valo ja kontrasti ohjaavat katsetta voimakkaasti, joten tilan sommittelussa valaistuksella on valtava merkitys. Se auttaa katsojaa ymmärtämään tilan muodon, sen sisältämät esteet, kuten huonekalut keskinäisine etäisyyksineen, tunnelman ja ajankohdan. Valolla kiinnitetään myös katsojan huomio tärkeisiin kohtiin ja luodaan tilojen välille jatkuvuus johdattelemalla katsojaa eteenpäin haluttua reittiä (Lesperance 2012a). Eräs hyvä tekniikka on käyttää apunaan silmien siristelyä apunaan varmistukseksi, että valaistus ohjaa pelaajan huomion pelikentässä aina oikeaan suuntaan, ympäröivistä yksityiskohdista riippumatta (GDC 2015). Valaistuksen suunnittelu kulkeekin rinta rinnan tilan valitsevien rakenteiden mallintamisen kanssa. Valo määrää miten tila nähdään ja geometriset rakenteet puolestaan rajaavat mihin valo pääsee, eli mitä tilassa nähdään ja mikä on piilossa. Hyvinkin yksinkertaisella muotoilulla ja valaistuksella voi viestiä tilan luonteesta paljon. Jos kokonaisuus ei toimi tässä vaiheessa, se tuskin muuttuu paremmaksi lisätyllä monimutkaisuudella ja yksityiskohdilla (Lesperance 2012a) (kuva 3). Tästä syystä valaistuksen ja rakenteiden keskinäisen suhteen toimivuus on hyvä varmistaa mahdollisimman aikaisin, sillä tällöin muutoksia on vielä helppo tehdä nopeasti.

⁷ Bake-toimintoa käsitellään tarkemmin aliluvussa 4.5.



Kuva 3. Tilan täyttäminen yksityiskohdilla ei paikkaa huonoa valaistusta tai sommittelua, kuten kuva osoittaa; Lopputuloksesta vain tulee entistäkin sekavampi.

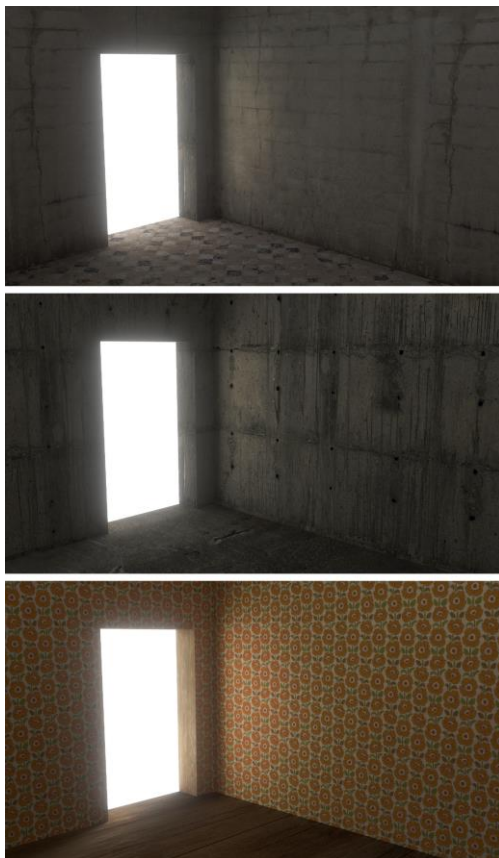
Tilasta kannattaa tasaisin väliajoin ottaa kuvankaappaus tai renderöity⁸ still-kuva; Photoshop:ssa kuvaa on helppo peilata horisontaalisesti, joka auttaa tekijää havaitsemaan ongelmia mm. sommittelussa (Lesperance 2012a). Toinen hyvä käytäntö on välillä pitää työstä taukoa, jolloin palatessaan näppäimistön ääreen tekijä voi nähdä projektin ns. tuorein silmin (Herman 2014). Photoshop:ssa voi tehdä myös muita nopeita kokeellisia muutoksia kuvaan, kuten säätää valaistusta Lighting Effects-työkalulla, korjata värejä, lisätä yksityiskoh-
tia tai kokonaisia esineitä (Hawkins 2014; Lesperance 2012a). Hyväksi havaitut muutokset voi kokeilun jälkeen päivittää 3d-ohjelmassa ympäristöön. Yksinkertaisilla elementeillä sommittelu auttaa tekijää havaitsemaan mihin kohtiin kannattaa käyttää aikaa ja mitkä alueet tai osat ovat toissijaisessa asemassa; Lesperancen mukaan vaarana on, että tekijä käyttää paljon aikaa mallintamalla jonkin esineen tarkasti vain huomatakseen, että lopullisessa ympäristössä esine joko näkyy huonosti tai pahimmassa tapauksessa ei sovi yhteen kokonaisuuden kanssa lainkaan (2012a). Nyrkkisääntönä voi sanoa, että jos jokin osa tai alue ei ole kameralle tai pelaajalle näkyvässä, sitä ei kannata mallintaa (de Jongh 2010, 312). Joskus, eritoten ulkotiloja tuotettaessa, ympäristön valaistukseen saattaa riittää yksittäinen valonlähde ja ympäristötekstyyri, kuten tasavälinen lieriöprojektiokuva⁹. Valaistuksen ja muotoilun yhteydessä ympäristölle esineineen voi kokeilla erilaisia tekstuureja. Kun teksturoinnin

⁸ Renderöinti tarkoittaa matemaattisten kolmiulotteisten kappaleiden prosessointia kuvaksi. Prosessissa lasketaan koko 3d-ympäristön tila-, tekstuuri- ja valoinformaation yhteisvaikutus jokaiselle renderöitävän kuvan pikselille (About, 2015b)

⁹ Tasavälisiä lieriöprojektiokuvia käsitellään tarkemmin aliluvussa 3.1.

apuna käyttää esimerkiksi Blenderin mukana toimitettavaa Texture Atlas:ia¹⁰, hoituu teksturointi sukkelasti, sillä ohjelma pitää huolen siitä, että tekstuurit skaalautuvat ja toistuvat oikein koko tilassa.

Tekstuurit vaikuttavat paljon sekä tilan luonteeseen että valoisuuteen. Jos pienen huoneen seinät pinnoittaa neutraalilla tapettitekstuurilla, voi huone näyttää osalta tavallista asuntoa – jos taas seinät pinnoittaa synkällä betonitekstuurilla, mieleen tulee ehkä bunkkeri (kuva 4). Pintojen valööri vaikuttaa oleellisesti myös valon heijastumiseen, ja sitä kautta tilan yleiseen kirkkauteen (Descottes & Ramos 2011, 30-31). Käyttäjällä voi myös olla mahdollisuus *projisoida* kuvatiedosto ympäristögeometrian pinnalle. Projisointi on nopea tapa luoda yksityiskohtaisia ja realistisen näköisiä tekstuureja, mutta tekniikan käyttö edellyttää valmistautumista¹¹ (Fry 2014). Toinen nopea tapa lisätä yksityiskohtia esineiden pinnalle on käyttää digitaalisia maalaustyökaluja yhdessä valokuvien kanssa. Tämä onnistuu ohjelmien, kuten Blender, 3d-Coat, ZBrush ja Photoshop avulla.

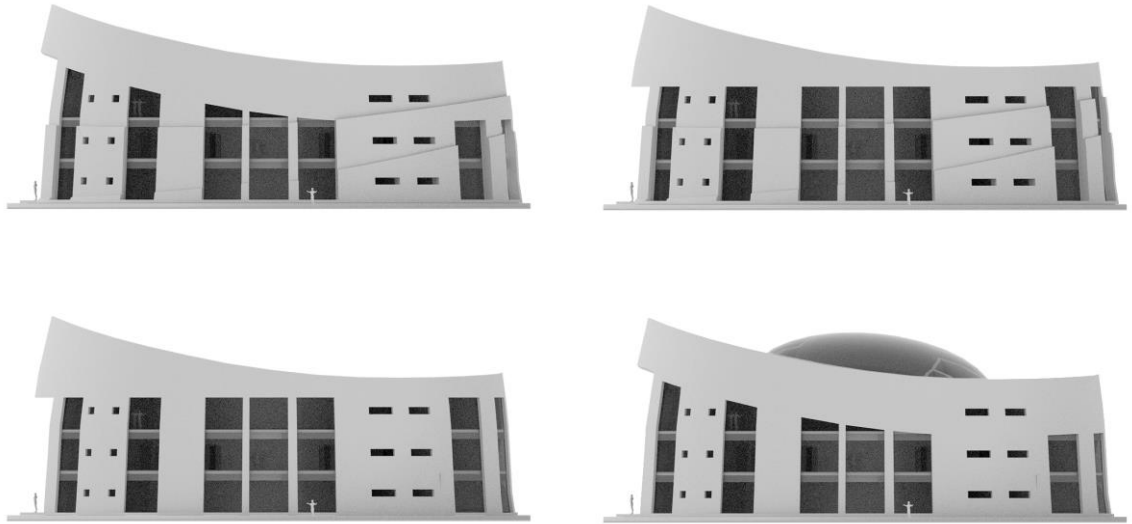


Kuva 4. Jokaisessa yllä olevista kuvista on täysin sama geometria. Vaihtamalla tekstuureja tilan luonteeseen voidaan tehdä huomattavia muutoksia.

¹⁰ Texture Atlas-pluginia käsitellään tarkemmin aliluvussa 4.5.

¹¹ Projisointia käsitellään tarkemmin aliluvussa 3.3.

Kun ensimmäinen karkea versio variaatioineen tilaprototyypistä on saatu valmiiksi, lähetetään se asiakkaalle arvioitavaksi. Riippuen projektin luonteesta variaatiot voivat yksinkertaisia vaihtoehtoehtoja, kuten kuvan 5 tapauksessa joka perustuu Eda Brasileño-Hatanpään laatimiin pohja- ja elevaatiopiirustuksiin Research Facility-projektiin (kuva 5) (ks. liite 3), tai jopa konkreettisesti täysin erilaisia alustavia prototyypivaihtoehtoja.



Kuva 5. Vaihtoehtoisia ratkaisuja ikkunoiden ja rakennuksen ulkokuoren suhteen.

Vaikka projekti olisi henkilökohtainen, kannattaa palautetta silti kysyä ulkopuoliselta taholta, sillä etenkin kokeneemmilta alan osaajilta voi saada arvokkaita vinkkejä, jotka auttavat tekijää kasvamaan ammatillisesti (Thompson 2014; Alvarez 2014). Epäselvissä tilanteissa on parempi esittää ns. tyhmiäkin kysymyksiä kuin yrittää arvata oikea ratkaisu omin päin (Futurepoly 2013). Materiaalin toimittamiseen ja esittelyyn asiakkaalle on useita vaihtoehtoja aina yksittäisistä still-kuvista selainpohjaisiin 3d-esityksiin¹². Jos asiakaspalautteessa tulee paljon tai suuria muutosehdotuksia, toteutetaan – tarvittaessa kokonaan – uusi versio asiakkaan arvioitavaksi. Tätä jatketaan kunnes asiakas hyväksyy karkean tilaprototyypin, ja kolmas, tarkentava vaihe voi alkaa. Prosessin itseisarvo ei ole laatia valtavaa määrää erilaisia versioita prototyypistä, mutta sen on kuitenkin tarkoitus olla riittävän nopea sallimaan suuriakin muutoksia tässä vaiheessa. Tietenkin ideaalisessa tilanteessa ensimmäinen versio olisi kaikin puolin juuri halutunlainen, mutta oman kokemukseni mukaan muutostoiivomuksia tulee aina. Joskus on niin, ettei asiakas oikein edes tiedä mitä ha-

¹² Luvussa 6 esitellään erilaisia julkaisutapoja.

luaa ennen kuin on nähnyt ensimmäisen version. Lähes aina tuote myös paranee uusien versioiden myötä (Klimov 2014). Avoimuus muutoksille on ylipäättänsä tekijälle etu (Lesperance 2012a).

2.3 Kolmas vaihe

Prosessin kolmannessa vaiheessa tilaprototyypistä rakennetaan viimeistelympi versio. Tässä vaiheessa tilassa useasti toistuvat elementit - kuten esimerkiksi pilarit, tynnyrit, autot, lattialaatat tai mitä ikinä tilassa onkaan – paikannetaan. Tarkoituksena on tuottaa lista valmistettavista moduuleista, joita yhdistelemällä tilaprototyyppi voidaan jälleenrakentaa, mutta tällä kertaa tarkemmin ja näyttävämmin. Lista sisältää myös tiedon tehtävistä tekstuureista ja materiaaleista. Ennen kaikkea aikaa säästyy huomattavasti kun kaikkea ei tarvitse, eikä kannata, erikseen mallintaa. Kuuluisan tuotesuunnittelija Dieter Ramsin mukaan hyvä suunnittelu on niin vähän suunnittelua kuin mahdollista (Objectified 2009).

Modulaarisuutta on hyödynnetty arkkitehtuurissa ja rakentamisessa jo vuosisatojen ajan. Sen tuomiin etuihin on kuulunut mahdollisuus jakaa rakenteelliset elementit osiin helpomman, nopeamman ja edullisemmän tuotannon, kuljetuksen ja rakentamisen saavuttamiseksi. Samoista käytännöllisistä syistä sitä suositaan myös kaikessa 3d-materiaalin tuotannossa, joskin digitaalisuus on tuonut modulaarisuuteen uusia ominaisuuksia kuten yksittäisten moduulien vapaan muokattavuuden ja riippumattomuuden fyysisestä maailmasta (Agkathidis 2009, 47-49). (Kuva 6a ja 6b.)



Kuva 6a. Royal Pavilion, Brighton (Vuoristo 2014). Nämä kuvat toimivat modulaarisuusanalyysini pohjana. Kuvista saatoin päätellä rakennuksen arkkitehtuurissa toistuvat elementit.



Kuva 6b. Alemmassa kuvassa on nähtävissä Royal Pavilionin arkkitehtuurissa yleisimmin toistuneet moduulit. Ylempi kuva havainnollistaa miten näiden moduulien yksinkertaisilla variaatioilla rakennus voidaan jälleenrakentaa digitaalisesti. Aiheesta on lisää kuvia liitteessä 4.

Toistettavien moduulien lista voi myös olla prosessin lopputuote; Jos asiakas on esimerkiksi tuottamassa videopeliä, hän saattaa haluta testata 3d-prototyypin avulla jonkin konseptimaalauksen tai idean toimivuutta. Jos toisen vaiheen tilaprototyyppi osoittaa konseptin toimivaksi, voi asiakkaalle riittää tieto tilan edellyttämistä moduuleista, joiden toteutuksen hän voi delegoida edelleen mallintajille ja tekstuuriantiteille. Koska projektit voivat lähtökohdiltaan ja toteutustavoiltaan olla hyvin erilaisia, eivät kaikki prototyypit välttämättä hyödy modulaarisuudesta; Tekijän on projektikohtaisesti pääteltävä mitkä menetelmät parhaiten tukevat työtä.

Kun tarvittavat moduulit on paikannettu, ne mallinnetaan huolellisemmin, ja tekstuurien tekemiseen käytetään enemmän aikaa. Toisen vaiheen prototyypistä voidaan hyödyntää ja jatkojalostaa 3d-malleja muun muassa retopologia työkalujen avulla¹³. Valmiista moduuleista toteutetaan myös assetsheet, eli yksittäinen kuvatiedosto, josta kaikki moduulit ovat kerralla nähtävissä.

Luonnollisesti projektin tarkoitus määrittelee pitkälti käytettävät työtavat ja rajoitteet. Jos 3d-ympäristöä tullaan käyttämään videokuvassa, voi rakennelma olla hyvinkin monimutkainen ja laskennallisesti raskas ja mukana voi olla monenlaisia tehosteita kuten savu- tai nestesimulaatiota ja volumetristä valaistusta. Tietysti tässä on otettava huomioon projektin aikataulu, sillä käytettävän laitteiston ja rakennelman asettamista vaatimuksista riippuen renderöintiajat voivat venyä hyvinkin pitkiksi. Toisaalta, jos 3d-ympäristön on toimittava reaaliajassa esimerkiksi mobiililaitteilla, on mallinnettavien kappaleiden topologian on oltava siistiä. Yksityiskohdat on esilaskettu bake-toiminnoilla tekstuureihin, sillä vähäpolygoniset 3d-mallit soveltuvat geometriansa puolesta vain karkeiden tai yksinkertaisten muotojen toistamiseen. Erilaiset tehokeinot kuten savu tai sumu toteutetaan pelimoottorin ja kohdelaitteiston, kuten älypuhelimien, tukemilla menetelmillä. Ympäristön jälleenrakennus kannattaa pelien tapauksissa toteuttaa suoraan pelimoottorissa, etenkin jos kyse on suuresta tai laajasta tilasta (Crespi 2013). Tarkoitus on kuitenkin pitäytyä nopeissa ja helppokäyttöisissä menetelmissä tehtävän luonteesta riippumatta, sillä kyse on yhä prototyypistä.

Kun kolmannen vaiheen prototyypistä on saatu versio valmiiksi, lähetetään se asiakkaan arvioitavaksi. Jos asiakas haluaa muutoksia, lisää yksityiskohtia tai vastaavaa, käytetään prototyypin viimeistelyyn ja hiomiseen enemmän aikaa. Tätä toistetaan kunnes asiakas katsoo projektin olevan valmis julkaistavaksi tai muuten päätettäväksi. Yksi kolmannen vaiheen tärkeimmistä ominaisuuksista on, että asiakkaalla on mahdollisuus sisällyttää prototyyppi komponentteineen osaksi suurempaa tuotantoa, kuten videopeliä tai elokuvaa, tai muuten jatkokehittää sitä. Toisin sanoen, prosessin kolmannessa vaiheessa prototyyppiä valmistellaan aina pitkällä tähtäimellä, ellei ole varmaa, että prototyyppiä ei tulla jatkojalostamaan.

¹³ Retopologiaa käsitellään tarkemmin aliluvussa 5.2.

3 YMPÄRISTÖN HYÖDYNTÄMINEN DIGITAALISEN MATERIAALIN TUOTANNOSSA

Prosessin yhteydessä tekijällä voi olla mahdollisuus hyödyntää olemassa olevasta ympäristöstä saatavaa tietoa monin eri tavoin. Tietoa voidaan hyödyntää välillisesti, esimerkiksi referenssinä tai suoremmin tuottamalla siitä digitaalista materiaalia, joka on tekijän manipuloitavissa. Joissakin tapauksissa ympäristöstä saatava informaatio voi muodostaa hyvän perustan tilaprototyypille, kuten aliluvuissa 3.2 ja 3.3 esitellään. Tiedon hyödyntäminen referenssinä on perusteltua, sillä se antaa tietoa mielenkiinnon kohteena olevan esineen tai ympäristön materiaaleista, rakenteesta ja toiminnallisuudesta; monien esineiden ja ympäristöjen kohdalla useimmat tällaiset ratkaisut on tehty jo, eikä tekijän tarvitse ns. keksiä pyörää uudelleen (Lesperance 2012b).

Toinen hyvä peruste hyödyntää todellisuudesta saatavaa tietoa on uskottavuus; Vaikka tuotettava tilaprototyyppi käsittelee tieteisfiktiota tai fantasiaa on tilassa esiintyvien asioiden pääosin oltava tunnistettavia ja ymmärrettäviä. Hyvä nyrkkisääntö tieteisfiktiviisiä ympäristöjä suunnitellessa on, että 70% nähtävistä asioista ovat tavallisia, normaaliin elämään kuuluvia yksityiskohtia tai piirteitä, ja loput 30% ovat fiktiivisiä (Limonick 2014). Lisäksi on hyvä muistaa, että yhdistelemällä tuiki tavallisia asioita tai esineitä – kuten vaikkapa kodinkoneita ja ajoneuvoja – voi saada aikaan erikoisia mutta uskottavia yhdistelmiä.

3.1 Valo-, HDR-kuvat ja tasavälinen lieriöprojektiio

Valokuvien ottaminen tänä päivänä on helppoa, sillä lähes jokaisella meistä on puhelimesaan kamera. Nykyään matkapuhelinkamerat ovat vieläpä varsin laadukkaita. Tietenkään ne eivät voi dynamiikkansa ja säätömahdollisuuksiensa puolesta pääse samalle viivalle järjestelmäkameroiden kanssa, mutta matkapuhelinkameroiden suuri etu on pieni koko ja sen myötä helppo kuljettavuus (Hutchinson 2014). Kännykkäkameralla on kätevää tallentaa valokuva esimerkiksi kaupungilla nähdystä mielenkiintoisesta yksityiskohdasta. Valokuvauksen lisäksi melkein kaikki kamerat, aina kännyköistä järjestelmäkameroihin, mahdollistavat videokuvauksen, jolle on omat käyttökohteensa, kuten aliluvussa 3.2 esitellään. Itse otetuissa valokuvissa on myös se hyvä puoli, että kuvien ottaja omistaa oikeudet kuviinsa ja on siten vapaa käyttämään niitä (Thompson 2014). Sama ei välttämättä päde internetistä ladattuihin kuviin.

Sen lisäksi, että valokuvat käyvät referenssimateriaalista mallinnusprojekteihin, voi niistä tuottaa muunlaistakin tietoa (Thompson 2014). Kuvista voi tuottaa esimerkiksi saumattomasti toistettavia tekstuureja. Tekstuurien tuottaminen asettaa kuville tiettyjä edellytyksiä kuten kuvattavan pinnan tasainen valaistus ilman heijastuksia ja 90 asteen kulma kameraan nähden, jottei perspektiivivääristymiä ilmene (Cgtextures 2007). Valokuvaa voi myös käyttää taustakuvana 3d-ympäristössä, kuten kuvassa 3 ikkunan takana näkyvän maiseman tapauksessa toimittiin (kuva 3).

Eräs tärkeä käyttökohde valokuville on tasavälisen lieriöprojektiokuvien tai cubemappien¹⁴ tuottaminen. Lieriöprojektiokuvalla tarkoitetaan useista yksittäisistä kuvista yhdisteltävää panoraamakuvaa, joka kattaa ympäristön horisontaalisesti 360 astetta ja sekä lakipisteen, eli zenithin, että maan, eli nadiirin (Holland 2012). Toisin sanoen, tällainen kuva kattaa koko näkyvän ympäristön kameran ympärillä. Lieriöprojektiokuvia käytetään valaisemaan 3d-ympäristö realistisesti tai tuottamaan heijastuksia kiiltävän kappaleen pinnalle, ja esimerkiksi trökkäyksessä niiden käyttö on lähes välttämätöntä¹⁵. Samalla ne voivat toimia taustakuvina ympäristöille, ja tätä ominaisuutta hyödynnetäänkin erityisesti pelimoottoreissa erilaisten skyboxien muodossa (Unity 2015a). Jotta lieriöprojektiokuvan voi toteuttaa on tunnettava käytettävän kameran linssin polttopiste. Kameraa on käännettävä polttopisteen ympäri, jotta panoraamakuvaan ei ilmesty parallaksi siirtymää. Parallaksilla tarkoitetaan ilmiötä, jossa kuvan etualalla näkyvät kohteet näyttävät liikkuvan taka-alaan nähden. Tästä syystä tavallinen kolmijalka ei sovellu tehtävään, sillä kolmijalalla kameraa ei voi kääntää tai kallistaa niin, ettei otettavien kuvien yhteinen polttopiste muutu (Downing 2005). Tehtävään erikoistuneita, kolmijalan päälle kiinnitettäviä panoramapäitä voi ostaa, mutta niiden lähtöhinnat ovat sadoissa euroissa¹⁶. Itse en investoinut tehdasvalmisteiseen telineeseen vaan rakensin sellaisen paikallisesta Robinhoodista, K-Raudasta ja purkamastani kameran akkukahvasta saaduista osista. Teline ajaa asiansa, kuten kuva 7 havainnollistaa, mutta on kokonsa puolesta kömpelö verrattuna kaupallisiin malleihin (kuva 7).

¹⁴ Cubemap koostuu on kuudesta neliön muotoisesta kuvasta, jotka yhdessä muodostavat kuvitteellisen kuution, joka ympäröi 3d-mallia. Cubemappeja käytetään usein heijastusten teettämiseen esineiden pinnalle, mutta niitä voidaan käyttää myös 3d-ympäristöä ympäröivän taivaan, eli skyboxin, tekemiseen (Unity 2015a)

¹⁵ Trökkäys esitellään seuraavassa aliluvussa.

¹⁶ Esimerkiksi 360Precisionin edullisin panoramapää Atome maksaa sovittimesta riippuen noin 340 euroa (360Precision 2015). Laite on tosin erittäin käyttökelpoinen, jos kuvaajalla on käytettävissään siihen sopiva kalansilmäobjektiivi (Holland 2012)

Mahdollisesti paras kalusto tuottaa lieriöprojektiio- tai pallopanoraama kuvia olisi suurikennoinen kamera, kalansilmälinssi ja kevytrakenteinen teline kuten 360Precisionin valmistama Atome, sillä valokuvia tarvitsisi parhaassa tapauksessa ottaa vain kolme kappaletta (Holland 2012). Kuvasin opinnäytetyössä esiteltävät lieriöprojektiokuvat Canon 5D Mark II:lla, jossa oli 12mm laajakuvalinssi. Pystyäkseen kattamaan koko ympäristön minun oli tällä kalustolla otettava 8 kuvaa: 6 horisontaalisesti ja yksi ylös ja alas. Mitä vähemmän kuvia tarvitsee ottaa, sitä helpompaa, nopeampaa ja virheettömämpää sekä valokuvauksesta, että kuvien yhdistelystä panoraamaksi tulee (Holland 2012).



Kuva 7. Tasavälinen lieriöprojektiokuva Korian vanhalta rautatiesillalta (Vuoristo 2014). Kuva on koostettu Hugin-ohjelmalla. Lisää lieriöprojektiokuvia on katsottavista liitteessä 5.

Lieriöprojektiio kuvia voi tuottaa myös digitaalisesti. Blenderin Cycles renderöintimoottorilla olen hyödyntänyt ympäristön renderöintiä lieriöprojektiokuvaksi. Virtuaalikameralla tämä on huomattavan vaivatonta verrattuna oikeaan kameraan, sillä ohjelmassa tällainen kuva on tuotettavissa kirjaimellisesti napin painalluksella (Blender 2013). Renderöityä kuvaa voidaan käyttää valeheijastusten tuottamiseen esineiden pinnalla. Unity 5:ssä on mahdollisuus käyttää samantyyppistä toimintoa tuottamaan valeheijastuksia. Reaaliaikaiset heijastukset ovat myös mahdollisia mutta niitä on käytettävä harkiten, sillä ne edellyttävät enemmän laskentatehoa (Unity 2015b).

Lieriöprojektiokuvat toteutetaan usein HDR-kuvina. HDR-kuvalla tarkoitetaan usealla eri valotuksella otettua valokuvaa samasta kohteesta (kuva 8), jotka yhdistetään yksittäiseksi kuvatiedostoksi esimerkiksi Photoshopin .psd tai

OpenEXR formaattiin¹⁷. Menetelmällä varmistetaan, että kuvan joka alueella – kirkkaista kohdista varjoihin – on tasainen valotus. Tästä saatava hyöty on, että kuva on erittäin vapaasti säädettävissä aina värikorjailusta kirkkauden säätöön ilman pikselöitymistä, puhki palamista tai muita häiriöitä. Tavallinen valokuva on aina kompromissi tässä suhteessa: karrikoidusti voidaan sanoa, että jos haluaa kirkkaan valokuvan maastosta, taivas palaa puhki, ja jos taas haluaa hyvä kuvan taivaasta, maasto on liian tumma. HDR-kuvan voi koostaa esimerkiksi Adobe Photoshopilla (Holland 2012).



Kuva 8. Neljällä eri valotuksella otetut valokuvat sillasta yhdistetään HDR-kuvaksi. (Vuoristo 2014)

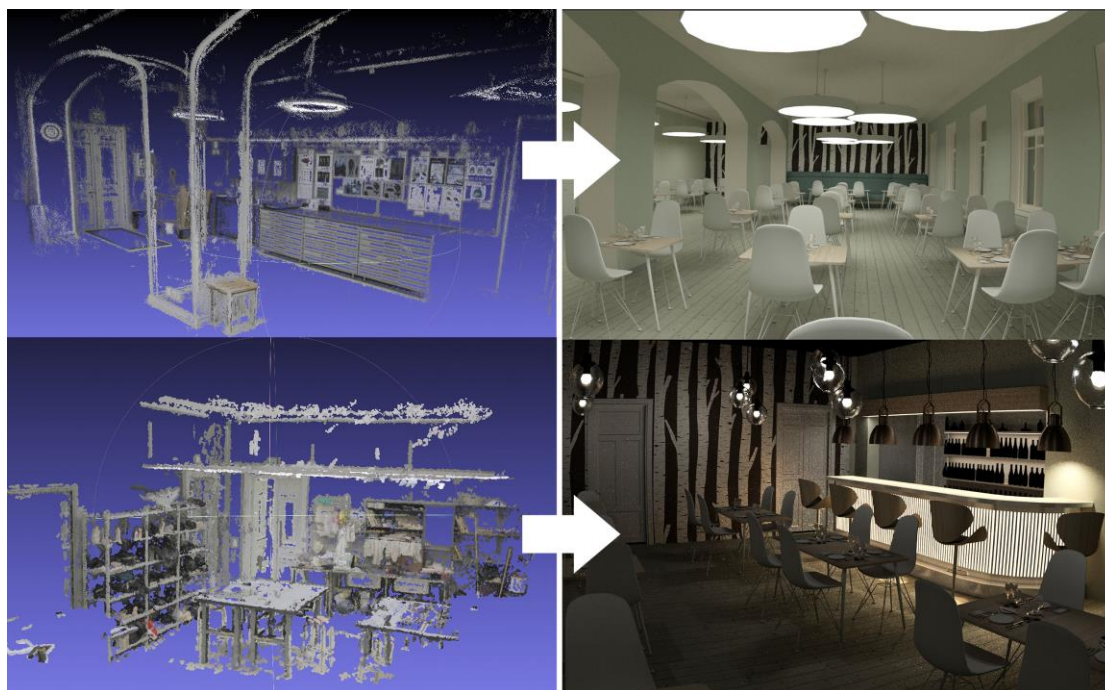
3.2 Träkkäys, fotogrammetria ja laserkeilaus

Fotogrammetriassa tavallista kameraa voidaan käyttää mittainstrumenttina määrittämään olemassa olevan kolmiulotteisen esineen muoto. Kun muoto on määritelty, esine voidaan toteuttaa digitaalisena 3d-mallina tietokoneavusteisesti. Päinvastoin kuin panoraamakuvien tuotannossa parallaksia tarvitaan tässä menetelmässä. Menetelmällä voidaan tuottaa huomattavan tarkkoja koordinaatistoja kaksikulotteisista kuvista, erityisesti jos käytettävä laitteisto ja ohjelmisto on laadukasta ja työ on huolella suunniteltu (Fryer, Mitchell & Chandler 2007, 9.) Itse mittaustyö perustuu matematiikkaan, mutta ohjelmis-

¹⁷ OpenEXR esitellään luvussa 5.3.

toa käytettäessä käyttäjän ei ole välttämätöntä ymmärtää prosessia perusteita syvällisemmin. Perehtymisestä on kuitenkin hyötyä ongelmien ratkaisussa ja haluttaessa hyödyntää kaikkia fotogrammetrian tarjoamia mahdollisuuksia (Fryer, Mitchell & Chandler 2007, 11). Fotogrammetriaa käytetään muun muassa raskaiden kantavien rakenteiden kuten rautatiesiltojen vääristymien korjaukseen, rikospaikkojen ja -tilanteiden visualisointiin kolmiulotteisesti ja lääketieteessä esimerkiksi kehon eri osien tarkkaan mittaamiseen (Fryer, Mitchell & Chandler 2007, 40-41, 103-104, 171).

Nykyään fotogrammetrisia ohjelmistoja tavallisille tietokoneille on saatavilla suuri kirjo. Hinnossa on eroja, mutta käyttökelpoisen ohjelman voi saada varsin edullisesti. Helppo saatavuus ja käytettävyyys on mahdollistanut fotogrammetrian hyödyntämisen käyttäjille, joilla ei ole asiantuntemusta menetelmästä (Fryer, Mitchell & Chandler 2007, 18). Opinnäytetyössäni olen käyttänyt Python Photogrammetry Toolbox, tai lyhyesti PPT, -ohjelmistoa. PPT:hen syötetään joukko kuvia, joista ohjelmisto valitsee käyttökelpoiset automaattista 3d-rekonstruktiota varten. PPT perustuu avoimen lähdekoodin ohjelmien yhteistyöhön, jossa Bundler-ohjelma arvioi kameran sijainnin ja ominaisuudet ja CMVS/PMVS-ohjelma vastaa pistepilven laskemisesta (Bezzi & Moulon 2011, 5). PPT laskee pistepilvet käyttäjän tietokoneella, eikä lähetä niitä laskettavaksi etäservereille. Tästä syystä, oman kokemukseni mukaan, valmiin pistepilven tuottamiseen kotikoneella aikaa saattaa kulua parista kymmenestä minuutista kymmeneen tuntiin. (Kuva 9)



Kuva 9. Fotogrammetrialla tuotettu pistepilvi kahdesta eri huoneesta Kymenlaakson Ammatti-korkeakoulun Taidetalo-rakennuksen sisätiloista on nähtävissä vasemmalla. Oikeanpuoleisissa kuvissa näkyvien 3d-tilojen rakenne perustuu näihin pistepilviin. Tästä projektista on lisää kuvia liitteessä 6.

Kameraträkkäystä käytetään elokuvateollisuudessa paljon (Koenig 2012).

Träkkäyksessä 3d-ohjelman virtuaalikamera kalibroidaan vastaamaan videon kuvaamiseen käytetyn todellisen kamerasiirrettä, CCD-kennoa ja linssin polttoväliä. Jotta tämä onnistuisi, on videomateriaalista merkittävä tunnistuskel-
poisia referenssipisteitä, kuten huonekalujen tai rakennusten kulmia tai muita selkeitä kohteita, joiden keskinäisestä liikkeestä videossa tietokone päätelee kolmiulotteisen tilan muodon ja kamerasiirrettä (Koenig 2014). Joskus ympäristöprototyyppejä tuottaessa kameraträkkäyksen käyttö voi olla nopein ja mielekkäin vaihtoehto, eritoten jos olemassa olevaan kohteeseen halutaan digitaalisesti lisätä uutta sisältöä tai tehdä muita visuaalisia muutoksia. Se on myös menetelmänä paljon vakuuttavampi kuin pelkkä still-kuva. Träkkäyksen vahvuutena on, ettei ympäristöä välttämättä tarvitse erikseen mallintaa, ja sen käyttö menetelmänä on yksinkertaista jos käytettävä videomateriaali on toteutettu oikein (Koenig 2014). Jotta träkkäyksessä videokuvaan upotettavat 3d-mallit näyttäisivät uskottavilta, on ne voitava valaista siten, että ne todella näyttävät sopivan ympäristöönsä (Alvarez 2014). Paras tapa tähän on käyttää tasavälistä lieriöprojektiota tai pallopanoraamakuvaa, joka on valokuvattu mahdollisimman lähellä sitä sijaintia, jossa 3d-mallit videossa esiintyvät. (Kuva 10).



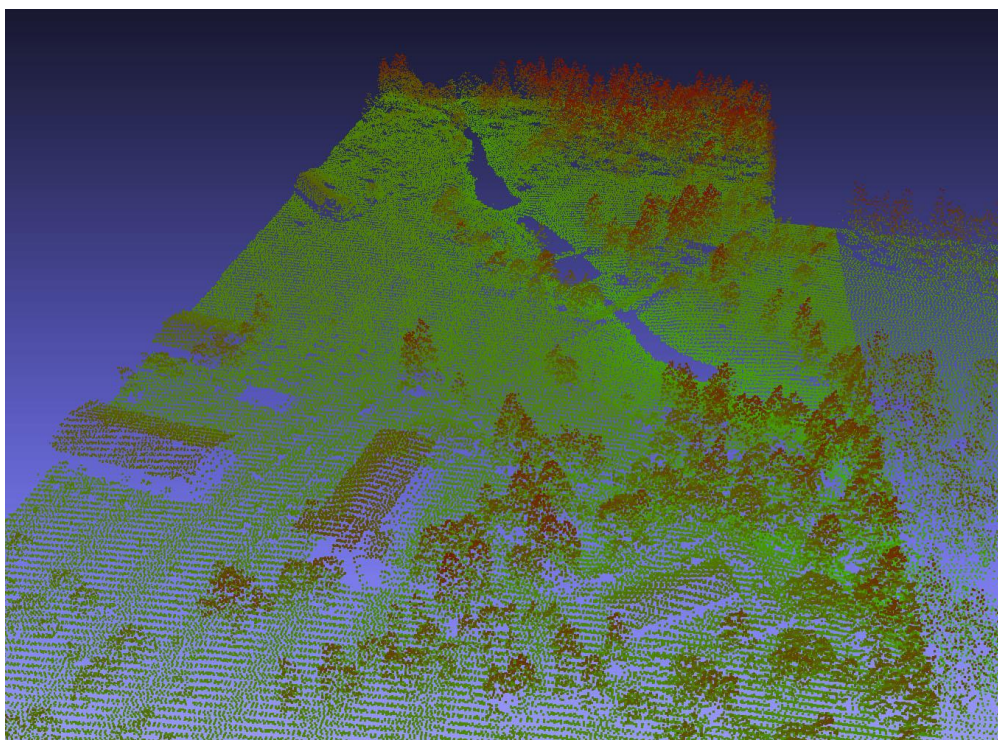
Kuva 10. Yllä Kymenlaakson Ammattikorkeakoulun päärakennuksen aulasta otettu lieriöprojektiokuva, jota käytetään tuottamaan heijastuksen alemman kameraträkkäyskuvan 3d-malleihin, jotka ovat nähtävissä alaoikealla. Kuvat on nähtävissä suuremmissa liitesissä 2 ja 5.

Jos projektissa hyödynnetään olemassa olevaa, todellista ympäristöä, tekijän kannattaa selvittää millaista satelliittitietoa kohteesta on saatavilla. Eritoten jos maaston topografia on mutkikas – esimerkiksi kumpuileva – on maaston muotoja vaikea päätellä valokuvista tai tavallisista karttakuvista. Tai jos tekijän tehtävä on mallintaa esimerkiksi rakennus, jonka korkeus ei ole tiedossa tai on muuten vaikeasti pääteltävissä. Tällöin ilmasta käsin Lidar-tekniikalla toteutettu maaston laserkeilaus, jota käytetään muun muassa korkeuskartoitustiedon tuottamiseen, voi osoittautua erittäin hyödylliseksi. Lidar, eli Light Detection and Ranging, on etätunnustelu teknologia, joka kokoaa kolmiulotteisia piste-pilviä Maapallon pinnasta lähettämällä laserpulsseja satoja tuhansia kertoja

sekunnissa. Pulssien paluuviveestä lasketaan maaston korkeusvaihtelu. Osa pisteistä on yleensä myös ns. korvamerkittyjä maaston erilaisten attribuuttien kuten, viljelysalueiden, metsien, teiden, rakennusten ja vesistöjen mukaan.

Lidar tieto toimitetaan LAS formaatissa, jossa pistepilvi attribuutteineen on kirjattuna pituus-, leveys- ja korkeuskoordinaattien sarjoihin (USGS 2012).

Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen palvelusta ladattava laserkeilaus aineisto on saatavissa kompressoituna .LAZ formaatissa (Maanmittauslaitos 2015). Lidar tiedostot voi purkaa ja konvertoida muihin formaatteihin jatkotyöstöä varten esimerkiksi LAStools ohjelmistolla (Rapidlasso 2015). Ohjelma, jota olen käyttänyt pistepilvien manipulointiin on avoimen lähdekoodin Meshlab, joka mahdollistaa muun muassa pistepilvien harventamisen ja yhdistämisen kiinteäksi polygonipinnaksi (Meshlab 2014). Laserkeilauksen käyttö ei ole rajoitettua ilmalentoihin, vaan laitteisto voidaan tarvittaessa asentaa esimerkiksi ajoneuvoon (Aalto-yliopisto 2014). (Kuva 11)

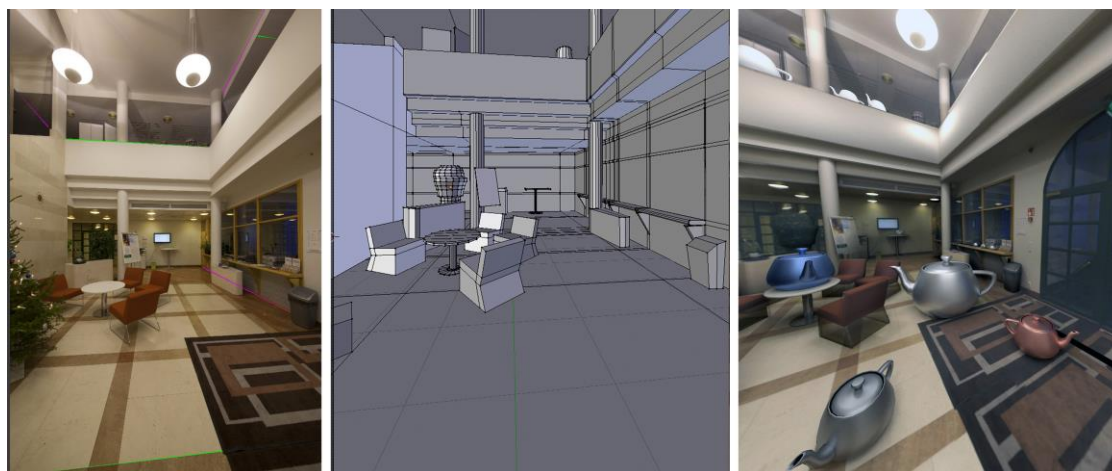


Kuva 11. Laserkeilauksella tuotettua pistepilvitieta Korian Pioneeripuistosta. Tässä pisteet on värjätty korkeuden mukaan – alimmat kohdat ovat vihreimpiä ja korkeimmat kohdat, kuten puut, punaisimpia. Keskellä näkyvä sininen juova on koski. Alkuperäinen Lidar-tiedosto on ladattu Maanmittauslaitoksen Avoimen Tiedon palvelusta.

3.3 Kameraprojektiot

Kameraprojektio mahdollistaa valokuvien projisoinnin 3d-mallien pinnalle. Jotta projisointi toimisi oikein, on virtuaalisen kameran vastattava mahdollisimman tarkasti alkuperäisen valokuvan ottanutta todellista kameraa. Tärkeintä on saada 3d-ympäristön perspektiivi vastaamaan valokuvan perspektiiviä (Studio LLB 2015). Kameraprojektiota voidaan käyttää teksturointiin projisoidulla kuva kamerasta käsin esineiden pinnalle tai sitä voidaan käyttää pohjana ympäristön mallintamiselle, tai sekä että (Fry 2014). Viimeisessä tapauksessa yksittäisestä valokuvasta voidaan tuottaa uskottava kolmiulotteinen versio, jossa virtuaalista kameraa voi liikuttaa ikään kuin valokuvan *sisällä* (Andrew Price 2013). Tekniikkaa suositaan tilanteissa, joissa 3d-ympäristön on näytettävä erittäin realistiselta mutta mahdollisimman pienellä vaivalla (Fry 2014; Alvarez 2014). Tästä syystä se soveltuu tekniikkana erityisen hyvin prototyyppeihin tai pienen tuotannon projekteihin (Fry 2014). Lopputulos muistuttaa kameraträkkäystä mutta videon sijasta perustuu valokuvaan.

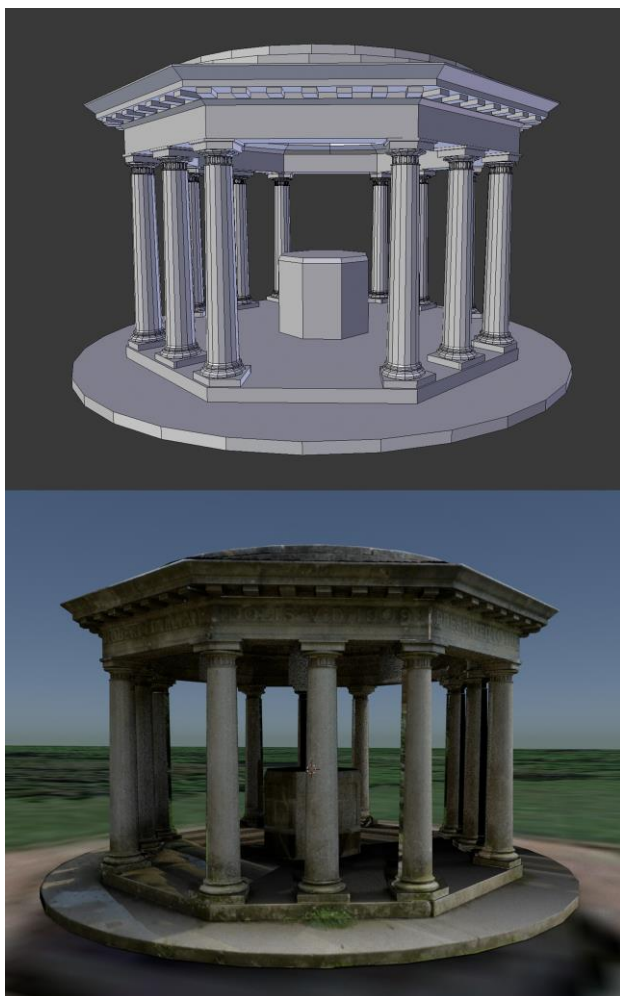
Tein opinnäytetyötä varten muutaman pienen kokeilun kameraprojektion käytöstä mallinnuksen tukena. Ensimmäisessä esimerkissä mallinsin erittäin yksinkertaisen 3d-tilan Kymenlaakson Ammattikorkeakoulun päärakennuksen aulasta käyttäen apuna ottamaani valokuvaa ja Blenderiin asennettavaa BLAM pluginia. Havaitsin kokeen ohessa, että myös tasavälisiä lieriöprojektorioita voi käyttää mallinnuksen tukena kameraprojektiossa; tällöin on mahdollista mallintaa koko ympäröivä tila. (Kuva 12)



Kuva 12. Vasemmalla projektion pohjana käytetty kuva. Keskellä projektion avulla mallinnettu yksinkertainen geometria. Oikealla kuva projisoituna geometrian päälle. Kolmiulotteisuuden havainnollistamiseksi tilaan on laitettu muita 3d-malleja.

Jotta BLAM toimisi oikein, on kameran linssin tuottamat vääristymät valokuvasta oiottava. Lisäksi on etu jos käytettävä kamera tuottaa kuvaan metatietoa kameran ja linssin ominaisuuksista ja asetuksista; Huomasin, että vanhalla kompaktikameralla kuvaamani kuvat eivät tuottaneet läheskään yhtä luotettavia tuloksia kuin Canonin 550D:llä ja 5D Mark II:lla ottamani kuvat. BLAM ei myöskään sovellu kaikkien kuvien projisointiin, ja usein tekijä saa parempia ja luotettavampia tuloksia kalibroimalla kameraprojektion manuaalisesti. Tämä edellyttää tekijältä hyvää perspektiivisääntöjen tuntemusta (Studio LLB 2015).

Toisessa kokeessani halusin selvittää onko 3d-mallien tuottaminen kamera-projektion avulla kohteista, joissa en ole koskaan vierailut mahdollista. Kohteeksi valitsin Etelä-Englannin Colley Hill:ssä sijaitsevan The Inglis Memorial muistomerkin ja informaation lähteeksi Google-Maps:in ja Google kuvahaun. Minun onnistui asetella projisoiva kamera muutamasta kuvakulmasta, joten sain selville rakennuksen muodon ja heijastettua sen pinnalle tekstuurin, joka ei ole virheetön, mutta kelpaa tähän tarkoitukseen. (Kuva 13.)



Kuva 13. Ylhäällä projektion avulla mallinnettu geometria. Alhaalla eri suunnista projisoidut kuvat näkyvät 3d-mallin pinnalla tekstuurina.

Viimeisenä esimerkkinä projektion käytöstä esittelen pienen apuohjelman, jonka kirjoitin Blenderille. Tässä tapauksessa tosin, kameran kalibrointia ei tehdä ollenkaan vaan mallinnus tapahtuu suoraan Blenderiin ladattavan kuvapinnan päälle. Apuohjelma mahdollistaa esimerkiksi rakennusten tai laitteiden julkisivujen nopean mallinnuksen siten, että kuva on aina näkyvässä tekstuurina kappaleen pinnalla (kuva 14). Apuohjelmassa on myös toiminto, joka mahdollistaa toistettavien ja saumattomien tekstuurien tekemisen, mutta kyseistä ominaisuutta ei tässä tarkemmin esitellä.



Kuva 14. Alkuperäiset tekstuurit mallinnettujen kappaleiden pinnalla. Alempana nähtävissä kappaleiden pintarakenne.

4 TOISEN VAIHEEN MENETELMÄT

Tässä luvussa käydään läpi erilaisia nopeita ja helppokäyttöisiä menetelmiä, jotka soveltuvat hyvin prosessin toisen vaiheen toteutukseen. Tarkoitus on suoraan sanoen saada aikaan mahdollisimman paljon mahdollisimman vähällä vaivalla, ja yllättävää kyllä lopputuloskin on usein näin parempi (Lesperance 2012a). Jos prototyypin tekijällä on mahdollisuus käyttää jotakin työskentelyä helpottavaa työkalua, sitä kannattaa ilman muuta hyödyntää. Tästä syystä on

hyvä pysytellä ajan tasalla päivittyvien ohjelmistojen suhteen - niihin erikseen hankittavia lisäosia unohtamatta. Ja koska menetelmät ja käytännöt muuttuvat vähitellen, on oltava valmis omaksumaan uusia työskentelytapoja pysyäkseen kehityksen tahdissa mukana. (Lesperance 2012a).

4.1 Luonnostelu

Mallinnettaessa vastaan tulee paljon tilanteita, joihin ratkaisua ei välittömästi ole saatavilla. Tällainen tilanne on todennäköinen esimerkiksi realisoitaessa konseptimaalaus 3d-ympäristöksi; Vaikka maalaus olisi hyvinkin yksityiskohtainen, aina ilmenee paikkoja, joita kuva ei yksiselitteisesti – tai lainkaan – selvennä. Miltä jokin esine näyttää toiselta puolelta tai millainen maisema nurkan takaa avautuu? Voi olla niinkin, ettei minkäänlaista konseptimaalausta edes ole, ja tekijän on itse kehiteltävä sisältöä ympäristöön. Tällöin nopein tapa suunnitteluun on luonnostelu – eritoten siluettien luonnostelu (Scott Robertson 2014). Vaikka modernit 3d-ohjelmat ovat nopeita ja helppokäyttöisiä luonnostelu on silti nopein tapa saada ajatukset ja ideat talteen sekä arvioida niiden toimivuutta (Scott Robertson 2013). Luonnosten on tarkoitus tukea tekijän ajattelu- ja ongelmanratkontaprosessia, eikä niitä tarvitse näyttää ulkopuolisille (Alvarez 2014). Oman kokemukseni mukaan kynä ja paperi helpottavat ongelmien ratkaisua huomattavasti.

Luonnostelemalla voi ratkaista monenlaisia ongelmia aina tilan sommittelusta yksityiskohtiin. Yksi hyvä käytäntö on piirtää suuri määrä pieniä kuvakkeita tai siluetteja, jotka kaikki käsittelevät samaa ongelmaa mutta aina hieman eri tavalla. Painopiste on määrässä pikemminkin kuin laadussa. Piirrosten joukosta valitaan sitten muutama mielenkiintoisin kuva pohjaksi uusille luonnoksille, ja lopulta valitaan kaikkein paras (Alvarez 2014). Luonnostelemalla voi toki ratkaista muitakin ongelmia kuin vain visuaalisia. Esimerkiksi kirjoittaessani Python ohjelmointikielellä yksinkertaista apuohjelmaa Blenderille opinnäytetyötä varten¹⁸, sain selvitettyä monet visaiselta tuntuneet ongelmat piirtämällä ohjelman toiminnasta UML¹⁹ aktiviteettikaavion paperille.

Luonnoksia voi perinteisen kynän ja paperin ohella toteuttaa 2d-grafiikkaan erikoistuneilla ohjelmilla - kuten Photoshop tai Sketchbook Pro - tai suoraan

¹⁸ Plugin on esitelty aliluvun 3.3 lopussa.

¹⁹ Unified Modeling Language, eli UML ohjelmien, taloudellisten prosessien ja tietorakenteiden toiminnallisuuden, rakenteen ja arkkitehtuurin mallinnuskieli (UML 2015). Huom. UML mallinnuksella ei ole mitään tekemistä 3d-mallinnuksen kanssa.

mallinnusohjelmalla, kuten Blender tai Maya. Jos tekijällä on käytössään piirtopöytä voi muistiinpanoja ja luonnoksia piirtää suoraan 3d-ympäristöön tai 3d-mallien pinnalle. Etuna on, että piirroksia on helppo muokata ja tarvittaessa ne ovat myös animoitavissa (tähän ne uudet lähteet). Tämä mahdollistaa muun muassa storyboardien teon kolmiulotteisesti (Roosendaal 2015).

4.2 Boolean-operaatiot

CSG, eli Constructive Solid Geometry on mallinnustekniikka, joka käyttää boolean operaatioita. Boolean operaatioilla kaksi osittain tai kokonaan toisensa leikkaavaa kappaletta yhdistetään yhdeksi kappaleeksi jollakin seuraavista menetelmistä: kappaleet yhdistetään toisiinsa (Union), ensimmäisestä kappaleesta erotetaan toinen kappale (Difference) tai kappaleiden *yhteinen* tilavuus erotellaan omaksi muodokseen (Intersect). (Wallace, ca. 201- ; Shene 2013). Boolean operaatiot ovat yleinen työkalu kaikessa 3d-mallintamisessa.

Tilaprototyyppien teossa boolean-operaatiot ovat tärkeässä roolissa. Kun prosessin toisessa vaiheessa halutaan esimerkiksi nopeasti kokeilla mihin kohtaan rakennuksen seinässä ikkunat tulisivat, kuinka suurina ne olisivat ja minkä muotoisia, voidaan hyödyntää boolean-muunninta. Tämä tarkoittaa sitä, että ikkunakohtainen leikkaava muoto, joka voi olla esimerkiksi laatikko, on vapaasti liikuteltavissa, vääristeltävissä ja monistettavissa reaaliajassa. Toisin sanoen, pelkästään tätä leikkaavaa muotoa liikuttamalla ikkuna tai ikkunarivistö seinällä vaihtaa paikkaa välittömästi. Boolean-muuntimen käyttö on paljon nopeampaa kuin jokaisen yksittäisen ikkunanreiän mallintaminen seinään - eritoten jos ikkunoiden paikkaa, muotoa tai määrää joudutaan jälkikäteen muuttamaan. Niin kauan kuin boolean-muuntimen leikkaavaa ja leikattavaa muotoa ei lopullisesti yhdistetä, seinän geometriassa ei tapahdu todellisia muutoksia. Esimerkiksi kuvassa 5 esitellyn Research Facilityn kaikki ikkunat on toteutettu vapaasti säädettävillä Boolean-muuntimilla (ks. kuva 5).

Kun muodot lopulta yhdistetään, ikkunan tai oven reiät kaivertuvat pysyvästi seinään. Boolean-operaation yhteydessä seinän topologiaan todennäköisesti ilmestyy n-goneja. N-gonit ovat polygoneja, joilla on enemmän kuin 4 kulmaa. Jatkotyöstön kannalta n-gonit on hyvä jakaa nel- tai kolmikulmaisiksi polygoneiksi retopologian avulla (Masters 2014). Retopologiasta kerrotaan tarkemmin luvussa 5.2.

4.3 Proseduraaliset mallinnustyökalut

Proseduraalinen mallinnus on yleisnimitys erilaisille tekniikoille tuottaa 3d-malleja, jotka perustuvat ennalta määrättyihin sääntöihin. Useat proseduraaliset mallinnustyökalut sisältävät joukon säädettäviä parametrejä, joiden perusteella tietokoneohjelma laskee ja rakentaa valmiin 3d-mallin. Proseduraalisuus on erityisen käytännöllistä kun kappaleen mallintaminen käsin olisi hankalaa, tai kun kappaleelle on asetut tietyt vaatimukset, mutta samalla sen on oltava säädettävissä, kuten CAD-avusteisessa arkkitehtuurissa. Yleisiä käyttökohteita proseduraalisille menetelmille ovat kasvien ja puiden, arkkitehtuuristen elementtien ja maastojen mallintaminen (Wikipedia 2015; Agkathidis 2009, 48-54).

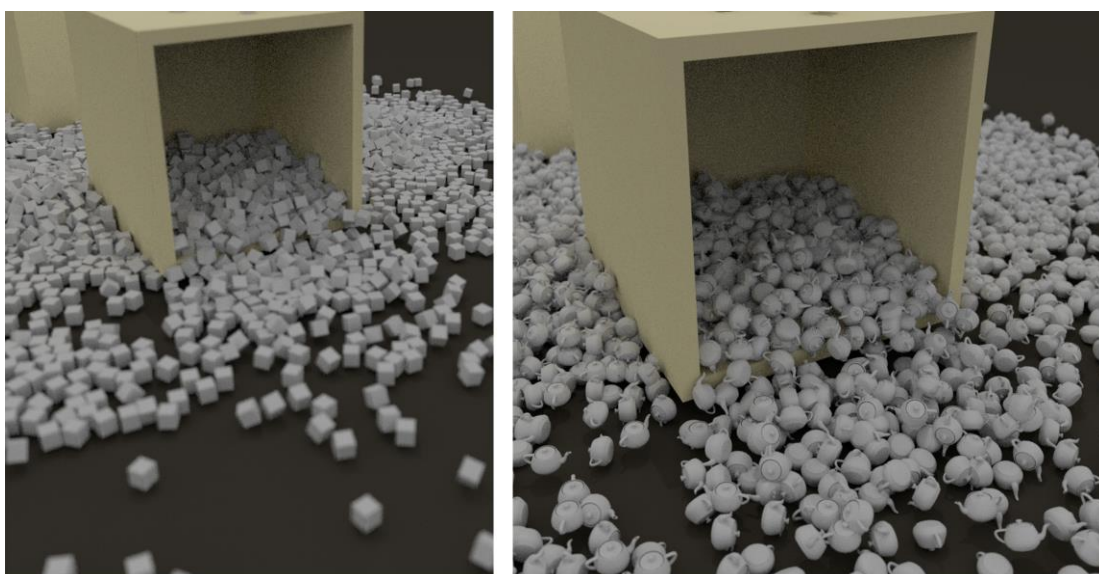
Blenderin mukana toimitetaan joukko proseduraaliseen mallinnukseen erikoistuneita työkaluja, kuten Ivygen, jolla tuotetaan 3d-mallin pinnalle kiemurtelevia muratteja, Sapling, jolla tuotetaan puita, Ant-landscape, jolla saa teetettyä yksinkertaisen, mutta säädettävän maaston, Gear, jolla tehdään hammasrattaita ja hammastankoja ja Bolt, jolla mallinnetaan pultteja, ruuveja ja muttereita. Lisäksi olen asentanut netistä erikseen ladattavia lisäosia, kuten Antonio Vazquezin kehittämän Archimeshin, jolla voidaan tuottaa laajasti säädettävä valikoima arkkitehtuuriin ja sisustukseen tarvittavia 3d-malleja, kuten portaikkoja ja hyllystöjä, ja Hidesato Ikeyan kehittämän LowPoly Rockin, jolla tuotetaan vähäpolygonisia kiviä.

Proseduraalisista mallinnusmenetelmät voivat nopeuttaa joidenkin alueiden tai osien toteutusta tilaprototyypissä oleellisesti, jos käsin mallintamisen voi korvata automaattisella työkalulla. Joidenkin asioiden, kuten suurten maastoalueiden mallintamista ei välttämättä edes kannata tehdä käsin - ellei aikaa ole käytettävissä huomattavan paljon - sillä tietokoneohjelma suoriutuu tehtävästä nopeasti ja arvokasta tuotantoaikaa säästyy muihin tehtäviin (Lesperance, 2012b). Maaston mallinnukseen erikoistuneita ohjelmia ovat muun muassa Bryce, Grome, Terragen, World Machine ja Vue.

4.4 Instanssit ja arrayt

Suuret tai monimutkaiset 3d-ympäristöt vaativat valtavasti laskentatehoa renderöityäkseen. Jotta yksityiskohtien määrästä ei tarvitsisi tinkiä, käytetään in-

stansseja (Pursche 2013). Instanssi näyttäytyy ulkoisesti toisen 3d-mallin kopia, mutta on itse asiassa pelkkä viittaus alkuperäiseen malliin. Aina, kun mallintaja tekee muutoksen alkuperäisen mallin geometriaan, kaikki instanssit muuttuvat vastaavasti. Instansseja voi kuitenkin liikuttaa, suurennella, käännellä, vääristää tai jopa animoida itsenäisesti (Autodesk 2014). Toisin kuin todellisen kopion kohdalla, instanssit ovat tietokoneelle huomattavasti nopeampia laskea (Pursche 2013). Tämä on yksi painava peruste siihen, miksi prosessin kolmannessa vaiheessa ympäristö pyritään purkamaan moduuleiksi, sillä moduulit mahdollistavat instanssien käytön läpi koko 3d-ympäristön (Crespi 2013).



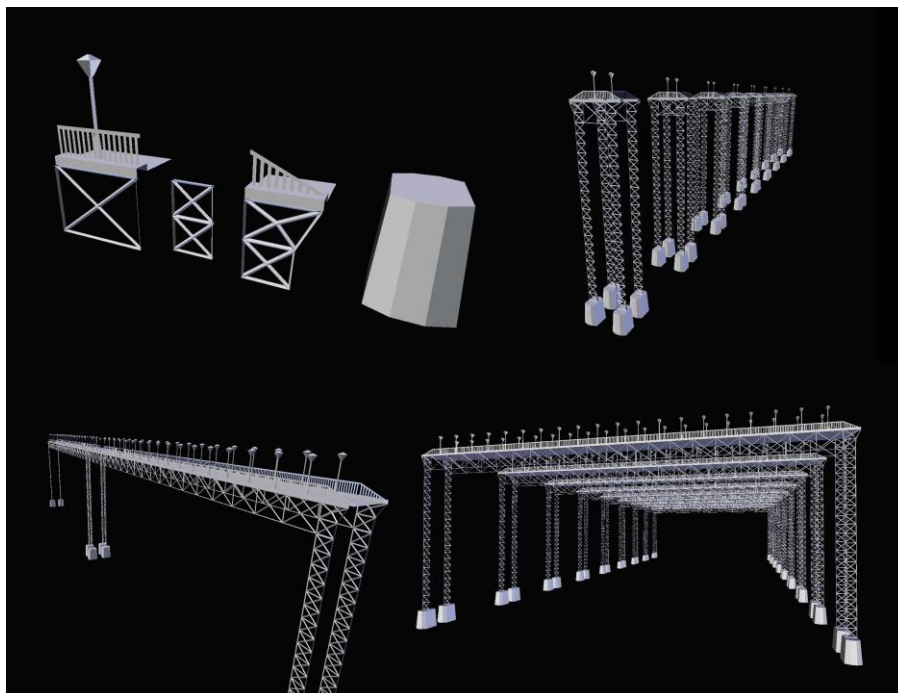
Kuva 15. Esimerkki instanssijoukon geometrian vaihtamisesta. Vasemman puoleisessa kuvassa instanssit esiintyvät yksinkertaisina, kuuden polygonin kuutioina. Oikeanpuoleisessa kuvassa geometria on vaihdettu 800 polygonin teekannuihin. Geometrian vaihtaminen onnistuu muutamassa sekunnissa.

Koska jokainen instanssi on viite yhteen ja samaan esineeseen, minkä tahansa instanssin geometrian muuttaminen vaikuttaa välittömästi kaikkiin. Tätä ominaisuutta hyödyntäen olen voinut esimerkiksi ripotella suuria määriä esineitä 3d-ympäristöön rigid-body²⁰-simulaatioiden avulla; Laskenta on tapahtunut hyvin vähäpolygonisilla esineillä, mutta jälkikäteen olen kirjaimellisesti muutaman napin painalluksella voinut korvata ne huomattavasti monimutkaisemmilla esineillä (kuva 15). Mahdollisuutta välittömästi korvata yksinkertai-

²⁰ Rigid Body Dynamics:lla tarkoitetaan kiinteiden ja joustamattomien kappaleiden liikkeen ja vuorovaikutuksen toteutusta siten, että niiden käytös näyttää perustuvan fysiikan lakeihin. Käytetty fysiikkalaskenta on kuitenkin todellisista fysiikan laeista yksinkertaistettu versio, jotta simulaatioita voitaisiin käyttää reaaliaikaisiin sovelluksiin, kuten peleihin (Souto 2010).

nen geometria monimutkaisella - tai päinvastoin - voi käyttää monimutkaisten ympäristöjen rakentamisessa yleisesti, sillä esineiden yksinkertaistetut mallit keventävät tietokoneen laskentataakkaa (Lesperance 2012b). Toinen hyvä tapa säästää muistia mutta säilyttää ympäristön monimutkaisuus on linkittää raskaat 3d-mallit erillisistä tiedostoista; 3d-mallien geometriaa koskeva tieto on tallennettuna muualle, vaikka ulkoisesti 3d-mallit näyttävät sijaitsevan samassa ympäristössä (Blender Stack Exchange 2013).

Instansseja voidaan käyttää myös array-työkaluissa. Arrayssä instanssit tai kopiot ilmenevät haluttuna määränä tietyin välimatkoin toisiinsa nähden. Array voi olla suorana linjana etenevä joukko instansseja tai kopioita, tai se voi muun muassa mukailla käyrän tai spiraalin muotoa. Array-joukkoja voidaan myös liittää toisiinsa (Zbrush 4R7 Online Documentation 2015a). Array on hyvä tekniikka monenlaisten toistuvien rakenteiden nopeaan mallintamiseen (kuva 16). Array-toiminnallisuutta on mahdollista käyttää kaikissa yleisimmissä 3d-mallinnusohjelmissa, kuten Cinema 4D, Maya, 3ds Max, Blender ja ZBrush. On tosin hyvä huomata, että joissakin ohjelmissa, kuten Blenderissä, Arrayt eivät toimi instansseina, vaan geometrian todellisina kopioina, jolloin muistin kulutus on moninkertainen (Blender Stack Exchange 2014).



Kuva 16. Vasemmassa yläkulmassa on nähtävissä 4 erillistä 3d-mallia, jotka yhdessä muodostavat siltaa muistuttavan rakenteen. Array toimintojen avulla sillan pituutta ja korkeutta voi säätää helposti. Lisäksi siltoja voi monistaa, jolloin niistä voi rakentaa esimerkiksi teräsrakenteista hallia muistuttavan tilan, kuten kuvassa alaoikealla on havainnollistettu. Katso toisenlainen array-esimerkki liitteestä 7.

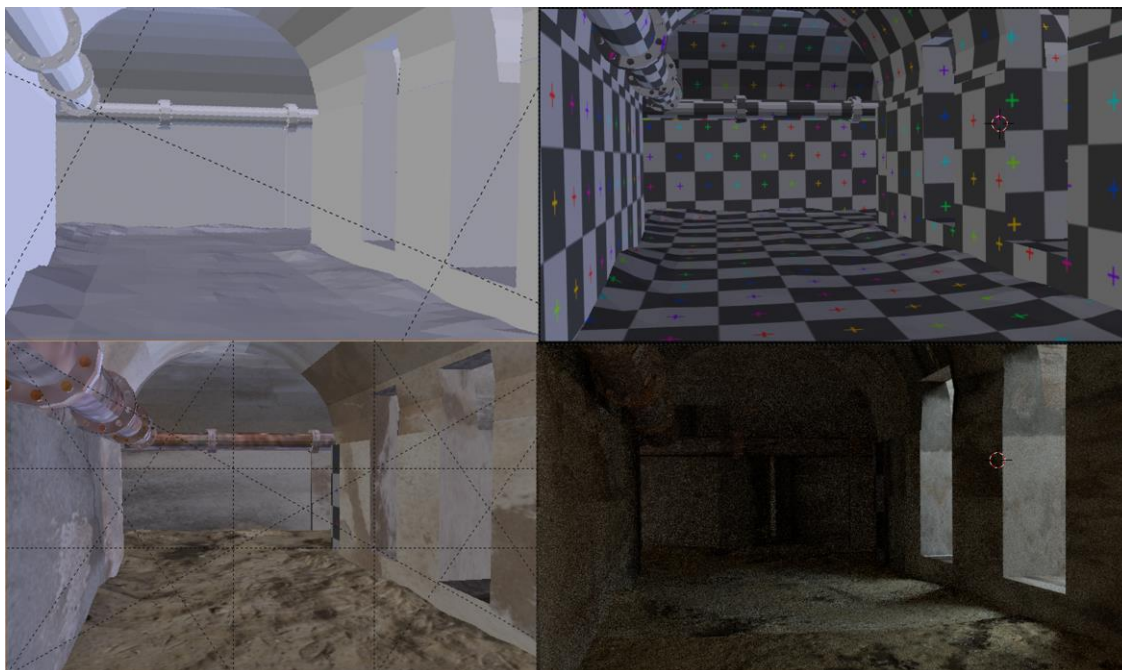
4.5 Texture atlas ja baking-operaatiot

Kun tekstuurille suoritetaan baking-operaatio, kaikki normaalisti renderöinnin aikana tapahtuva valojen, heijastusten ja varjojen laskenta tallentuu suoraan tekstuuriin. Jos kaikille ympäristössä oleville materiaaleille suoritetaan tämä operaatio, ei ympäristöä tarvitse tämän jälkeen enää erikseen renderöitä - paitsi jos ympäristöön tulee operaation jälkeisiä muutoksia. Tällöin baking suoritetaan uudelleen. Menetelmän hyöty tulee siitä, että ympäristöä varjoineen on mahdollista tarkastella reaaliajassa (Andrew Price 2014).

Videopeleissä tekniikkaa käytetään erityisesti varjojen laskentaan ympäristön toteutuksen yhteydessä, jotta pelimoottorin ei ajon aikana tarvitse laskea varjoja staattisille, paikallaan pysyville esineille erikseen (Blackman 2012). Tekniikka on kuitenkin hyvin hyödyllinen myös tilaprototyyppisiä esitteleviä animaatioita tehdessä, sillä sen sijaan, että 15 sekunnin mittaisen videon renderöintiin kuluisi esimerkiksi 7,5 tuntia²¹, saattaa tällä tavalla selvittää tehtävästä alle tunnissa. Tästä on lähinnä hyötyä jos ympäristössä olevat esineet eivät liiku, sillä tekstuureihin piirtyneet varjot eivät reagoi esineiden siirtelyyn (Andrew Price 2014).

Tehokas tapa hyödyntää baking-tekniikkaa on käyttää sitä yhdessä Texture Atlaksen kanssa. Texture Atlaksella tarkoitetaan yhtä suurta tekstuuria, joka voi kattaa koko ympäristön (Gleb Alexandrov 2014). Aina kun baking-operaatio suoritetaan, koko ympäristö päivittyy samanaikaisesti. Texture atlas-ta kannattaa käyttää ympäristö prototyyppien teossa muutenkin, sillä se pitää huolta siitä, että 3d-mallien tekstuurit skaalautuvat oikeissa suhteissa toisiinsa nähden (Lesperance 2012a). (Kuva 17.)

²¹ Jos oletetaan, että yhden kuvan renderöimiseen kuluu 30 minuuttia, ja yhteen sekuntiin animaatiota tarvitaan 25 kuvaa.



Kuva 17. Ensimmäisessä kuvassa näkyvää käytävää ei ole vielä teksturoitu. Toisessa kuvassa käytävälle tuotetaan yhteinen UV-kartta ja testitekstuuri Texture Atlaksen avulla. Testitekstuurin tarkoitus on havainnollistaa mallintajalle, että tekstuurit tulevat jakautumaan tasaisesti esineiden pinnoille. Kolmannessa kuvassa käytävän eri osille on laitettu tekstuuri ja neljännessä kuvassa käytävä nähdään renderöitynä valojen ja varjojen kanssa. Aikaa koko toimitukseen meni noin 5 minuuttia.

5 KOLMANNEN VAIHEEN MENETELMÄT

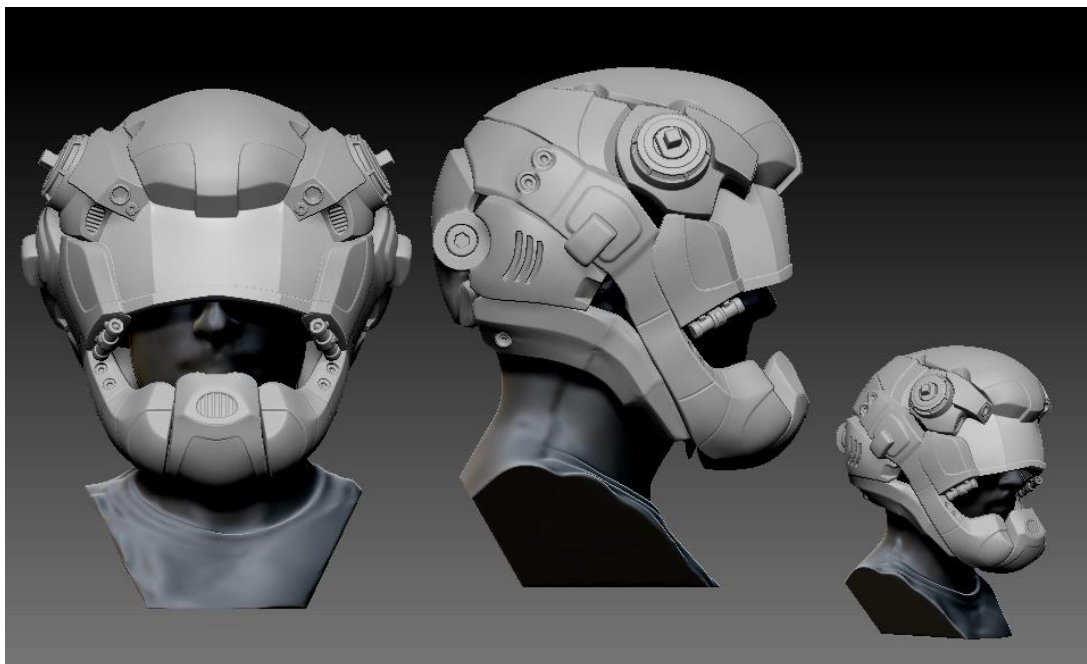
5.1 Skulptaus

Kun tiedetään tarkasti millaisia kappaleita lopullinen 3d-ympäristö tulee edellyttämään, tekijällä on mahdollisuus käyttää useita erilaisia tekniikoita kappaleiden hienovaraiseen valmistamiseen. Perinteisten mallinnustekniikoiden lisäksi käytettävissä on skulptaus, joka lähestyy mallintamista täysin erilaisesta näkökulmasta. Skulptauksessa mallia työstetään ikään kuin se olisi savesta muotoiltu kappale. Mallia voidaan veistää, leikellä ja venyttää, siihen voidaan lisätä massaa tai yhdistää kokonaan uusia muotoja (Scott-Spencer 2015). Ja koska skulptaus menetelmänä suosii myös erittäin korkeapolygonisia malleja, voi käyttäjä helposti maalata tai kaivertaa pieniäkin yksityiskohtia kappaleiden pinnalle.

Skulptausta on mahdollista tehdä sellaisilla ohjelmilla kuten Zbrush, Mudbox, Blender, Sculptris ja 3d-Coat. Zbrush on elokuva- ja peliteollisuudessa standardiohjelma monimutkaisten ja realististen 3d-mallien valmistamiseen (Pilogic 2015). Sitten version 4R2 Zbrushissa on ollut mahdollista käyttää Dy-

namesh-ominaisuutta, jonka avulla 3d-malleja voi saumattomasti ja automaattisesti yhdistellä toisiinsa, pilkkoa, vääristellä ja venyttää ilman, että käyttäjän on huolehdittava polygoniverkon hajoamisesta ja yhtenäisestä topologiasta (Zbrush 4R7 Online Documentation 2015b). Toinen vaihtoehto erittäin yksityiskohtaisten mutta helposti hallittavien mallien skulptaukseen on dynaaminen topologia skulptaus, jossa ohjelma jakaa polygoniverkkoa automaattisesti pienempiin ja tarkempiin osiin vain niiltä osin kuin on tarpeen (Williamson 2013). Kolmantena vaihtoehtona ovat vokselit, jotka eivät käyttäydy polyginien lailla ollenkaan, vaan koko kappale koostuu ikään kuin kolmiulotteisten pikselien muodostamasta massasta. Vokselit antavat tekijälle kenties kaikkein suurimman vapauden muotoilla kappaleita, sillä erilaisia muotoja voi luoda tyhjästä ja yhdistellä ja leikellä täysin mielivaltaisesti. Vapauden hintana on, että suuriresoluutioinen vokselimassa kuormittaa tietokonetta paljon, eivätkä massan muotoiluun käytettävät työkalut välttämättä sovellu hallittuun ja yksityiskohtaiseen työskentelyyn. Vokselimassan voi kuitenkin muuntaa polygonipinnaksi jatkokäsittelyä varten (Smith 2013, 47). Vokselikappaleita on mahdollista luoda ja työstää 3d-Coat-ohjelmalla.

Skulptatut mallit ovat renderöitävissä eri valaistus- ja materiaaliasetuksilla suoraan skulptausohjelmassa, tai ne voidaan lähettää renderöitäväksi tehtävään erikoistuneeseen renderöintiohjelmaan, kuten Keyshot (Marantz 2014). Tekijällä on myös mahdollisuus käyttää erilaisia taustakuvia tai lieriöprojektioita 3d-mallin valaisemiseksi ja istuttamiseksi ympäristöön renderöinnin ajaksi. Tässä vaiheessa tekijä voi tuottaa turntable animaatioita tai stillkuvat (kuva 18) ja assetsheetit asiakkaan arvioitavaksi. Myöhemmin, jotta skulptattuja 3d-malleja voitaisiin animoida, tai käyttää esimerkiksi rekvisiittana peleissä, on mallien geometria yksinkertaistettava ja yhtenäistettävä retopologian avulla, ja yksityiskohdat siirrettävä tekstuureihin.



Kuva 18. ZBrushilla skulptattu kypärä, joka on nähtävissä eri suunnista. Kypärän sisällä oleva pää on ladattu Pixologicin internetsivuilta.

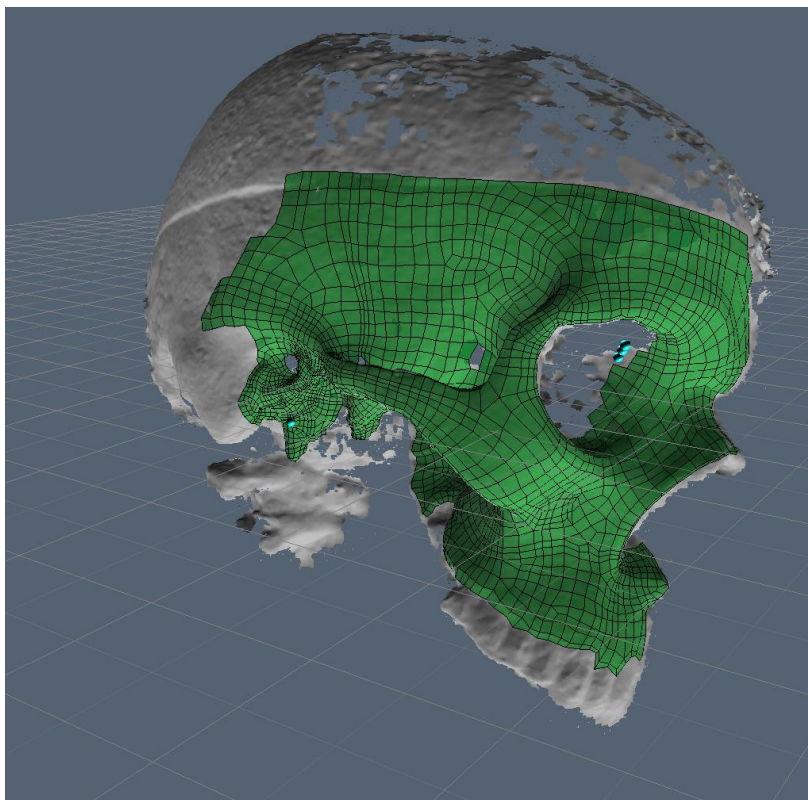
5.2 Retopologia

Retopologialla tarkoitetaan 3d-mallin topologian uudelleen rakentamista. Tarkoituksena voi olla yksinkertaistaa monimutkaisen kappaleen polygonirakennetta, jolloin kappaleesta tulee laskentatehokkaasti kevyempi käsiteltävä tietokoneelle. Videopelien ja elokuva-animaatioiden suhteen näin on käytännössä pakkokin toimia, sillä liian monimutkainen kappale sekä hidastaisi että vaikeuttaisi kappeleiden käsittelyä, renderöintiä ja animointia yleisesti kaikilla osaluilla (Alvarez 2014). Millainen polygonimäärä on sopiva ja mikä on liikaa riippuu tosin käyttötarkoituksesta. Esirenderöintävissä kuvissa, kuten animaatioelokuvissa 3d-mallit voivat olla monimutkaisiakin, kunhan renderöintiin varattua aikaa ei ylitetä. Reaaliaikaisesti renderöitävissä kuvissa, kuten videopeleissä, 3d-mallien polygonimäärä ei saa olla liian suuri, jottei päätelaitetta, kuten tablettia tai matkapuhelinta kuormiteta liikaa. Retopologiaa käytetään myös kappaleiden topologian yhtenäistämiseen, jos alkuperäinen pintarakenne on rikkiäinen tai muutoin käyttökelvoton.

Automatisoidussa retopologisoinnissa tietokoneohjelma yrittää päätellä alkuperäisen kappaleen muotokielen ja rakentaa uuden polygoniverkon tulkitansa mukaisesti. Jos prosessi on onnistunut, uusi retopologialla tuotettu kappale on ulkoiselta muodoltaan hyvin samankaltainen kuin alkuperäinen kappale,

mutta polygoniverkon topologia tiheyksineen ja rakenteineen on erilainen. Vaikka automaattiset työkalut useimmiten suoriutuvat tehtävästä hyvin, on käyttäjällä mahdollisuus vaikuttaa prosessiin esimerkiksi piirtämällä alkuperäisen kappaleen pinnalle viivoja, joilla kulmien tai muiden hallitsevien linjojen tärkeyttä voidaan korostaa tai värittämällä tiettyjä kohtia kappaleesta, joihin käyttäjä haluaa tiheämmän polygonirakenteen paikallisten yksityiskohtien säilyttämiseksi. Yksinkertaisimmillaan käyttäjän tarvitsee vain numeraalisesti ilmoittaa ohjelmalle kuinka suureen - tai pieneen - polygonimäärään ohjelman tulee pyrkiä. Ohjelmat, kuten Zbrush ja 3d-Coat tarjoavat hyvät työkalut tähän tarkoitukseen.

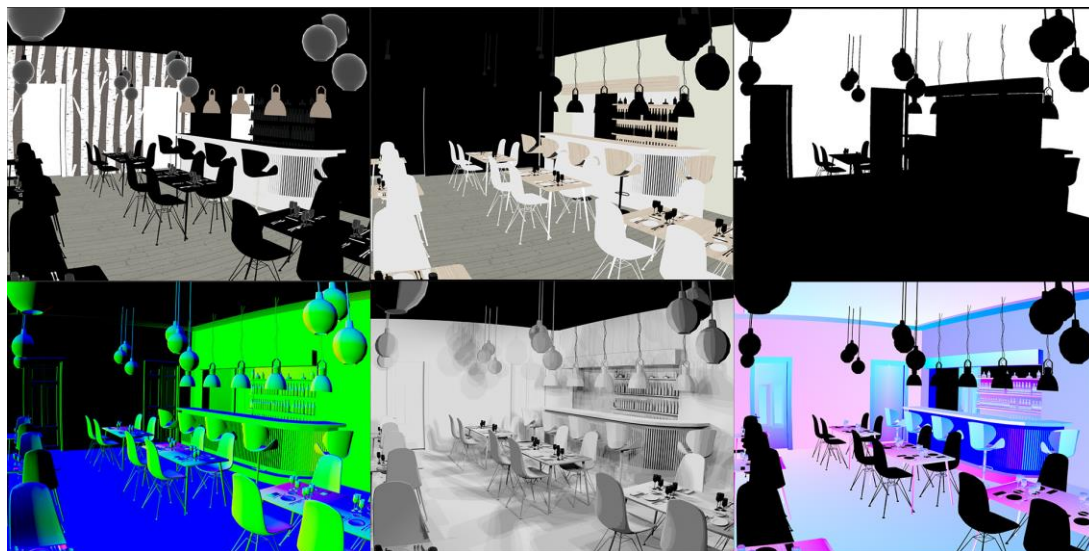
Joskus retopologia on suoritettava käsin ilman automaatiota. Näin toimitaan kun tuloksista halutaan erityisen tarkkoja tai kun automaatio ei kykene suorittamaan tehtävästä. Esimerkiksi hyvin vähäpolygonisia kappaleita valmistettaessa on parempi, että käyttäjä ottaa täyden vastuun topologian jälleenrakentamisesta, sillä yksittäisillä polygoneilla on korostunut vaikutus kappaleen yleiseen rakenteeseen, ja sen kautta ulkonäköön ja muuhun toimivuuteen. Vastaan voi myös tulla tilanne, jossa automaatiota ei voida käyttää esineen rikkonaisen pinnan vuoksi kuten kuva 19 havainnollistaa (kuva 19).



Kuva 19. Fotogrammetrialla tuotetun pääkallon 3d-mallin manuaalista retopologisointia 3D-Coat-ohjelmassa. Rikkonaisen pinnan vuoksi automaattiset retopologiatyökalut eivät tuottaisi mielekkäitä tuloksia. Lisää kuvia tästä projektista on liitteessä 8

5.3 Jälkituotanto ja OpenExr

Jälkituotanto on vaihe, joka tyypillisesti toteutetaan kun tuotannon muut vaiheet ovat valmiit (Elokuvaopas n.d.; Elokuvantaju n.d.). Jälkituotannossa elokuvia tehtäessä tehdään äänityöt, leikkaaminen, efektit ja värikorjailu. Tässä luvussa keskitytään kuitenkin ennen muuta siihen mitä se tarkoittaa CGI²² materiaalin tuotannossa (ja peleissä). CGI jälkituotannossa renderöitävän kuvan ulkonäköön pyritään vaikuttamaan muun muassa yhdistelemällä sitä muuhun materiaaliin, kuten trökkäyksessä, säätämällä värejä, korjaamalla gamma-käyrän ja laittamalla siihen tehosteita kuten hohtoa, linssivääristymiä, aberratiota, bokehia, vinjetointia ja partikkeliefektejä kuten pölyä. Tavoitteena on uskottavan näköinen lopputulos. Tosin on muistettava, että uskottava ei automaattisesti tarkoita fotorealismia (Nederhorst 2011).



Kuva 20. Kuvassa poiminta erilaisista passeista, joita renderöinti tuottaa. Heijastusväri, diffuusioväri, esine indeksi, normaali, varjo ja UV.

CG kuvien tuotantoprosessi etenee yleensä siten, että kun mallinnus, teksturointi, sommittelu ja valaistus on saatu 3d-ympäristössä - tai yksittäisen 3d-mallin suhteen - valmiiksi, materiaali renderöidään, jonka jälkeen renderöinnillä tuotettua materiaalia jälkityöstetään siihen erikoistuneiden työkalujen avulla. Yksittäinen renderöity kuva on yhdistelmä monia eri *passeja*, joihin kuuluu väri, alpha, syvyys, diffuusio, spekulaaisuus, varjot, heijastukset, taittuva valo, epäsuora valo, ympäristö, usva ja niin edespäin (kuva 20). Lisäksi kuvan sisältö 3d-malleineen on voitu jakaa useille eri tasoille, kuten esimerkiksi etu- ja ta-

²² Computer-Generated Imagery

ka-alalla näkyviin esineisiin. Jälkituotannossa kaikkia edellä mainittuja passeja ja tasoja päästään säätämään tarkasti hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi (Vepakomma 2014). Jälkituotannon edut eivät toki rajoitu vain esirenderöityyn materiaaliin, sillä esimerkiksi Unity 5 tarjoaa käyttäjälle mahdollisuuden hyödyntää monia jälkituotannon etuja, kuten värien korjailua ja kameraefekteja reaaliaikaisesti suoraan pelissä (Unity 2015c).

Jotta jälkituotannon tehokkuuden voisi maksimoida, on renderöidyt kuvat tallennettava OpenEXR Multilayer formaattiin. Tällöin kaikki renderöintiä ennen asetuksista aktivoidut passit ja tasot tallentuvat jälkikäteen säädettäväksi informaatioksi .exr tiedostoon (Vepakomma 2014, 27). OpenEXR on HDR-kuvaformaatti, jonka kehittäjänä on ollut Industrial Light & Magic. Yrityksen internetsivujen mukaan ensimmäiset elokuvat, joissa tiedostoformaattia käytettiin olivat Harry Potter ja Viisastenkivi, Men in Black II, Gangs of New York ja Signs. Sittemmin .exr tiedostoista on tullut yrityksen standardi (OpenEXR 2014). Formaatin tuomia etuja ovat yksittäisten passien säädettävyyden ohella muun muassa mahdollisuus tietyissä määrin vaikuttaa renderöidyssä kuvassa näkyvien 3d-mallien tekstuureihin *jälkikäteen* sekä yleiseen valaistukseen (Vepakomma 2014, 67). Ainoa huomaamani mahdollinen haittapuoli formaatin käytössä on suuri tiedostokoko; yksittäinen kuva voi viedä satoja megatavuja kiintolevytilaa.

6 JULKAISU

6.1 Interaktiiviset mediat

WebGL on OpenGL ES 2.0:aan perustuva ohjelmointirajapinta, joka on tarkoitettu toistamaan reaaliajassa 3d-grafiikkaa HTML5:n kautta internetsivuilla. Se ei edellytä mitään erillistä pluginia toimiakseen, sillä sen toiminnallisuus on sisäänrakennettuna Apple Safari, Google Chrome, Mozilla Firefox ja Opera selaimiin (Khronos 2015). WebGL:stä myös kaavaillaan alustaa parhaillaan kehitteillä olevalle WebVR teknologialle laitteineen. WebVR, eli Web Virtual Reality, pyrkii tuomaan virtuaalitodellisuuden kuluttajille internetsisällön ja laitteiden, kuten päähän kiinnitettävien näyttöpäätteiden - esimerkiksi Oculus Riftin - avulla (WebVR 2015; Vukicevic 2014).

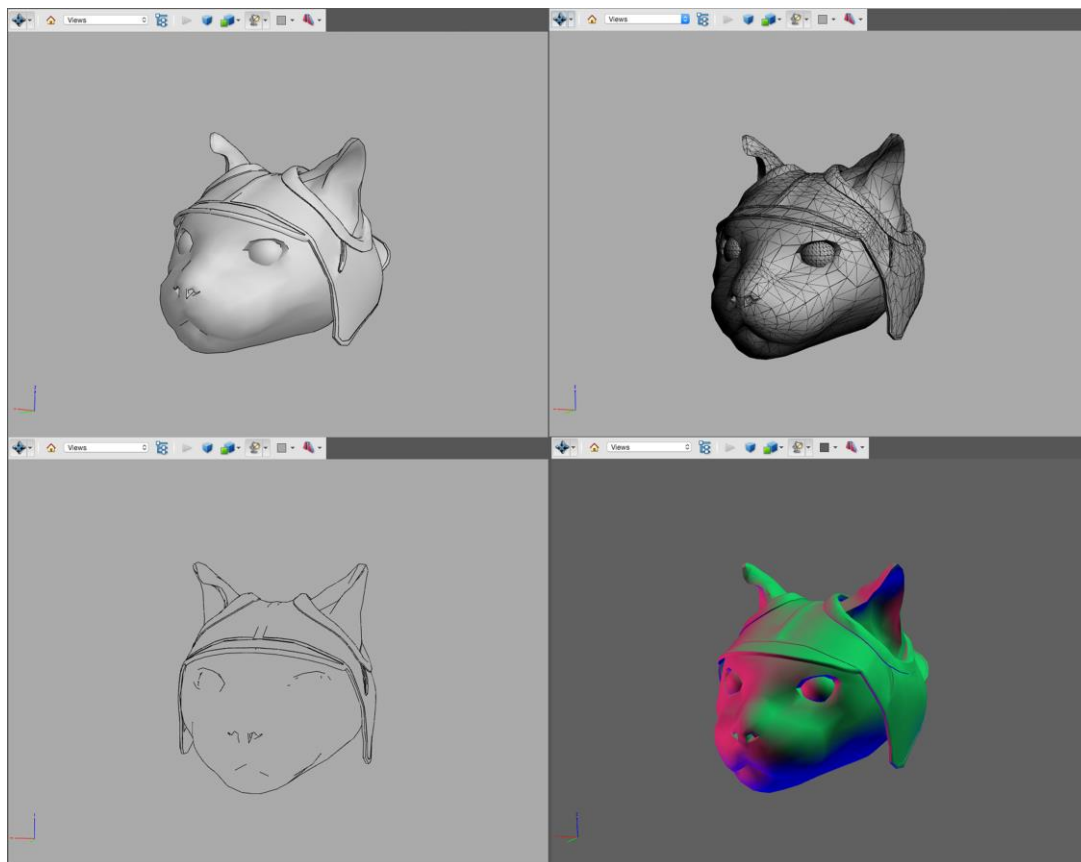
Unity 5:n tulon myötä pelikehittäjillä on ollut mahdollisuus julkaista tuotteitaan erittäin helposti suoraan selainkäyttöön. Unity-pelimoottorin sanotaan olevan erittäin tehokas julkaisualusta WebGL sisällölle. Tämä johtuu osin Unityn keveydestä pelimoottorina, ja osittain Unityn ja Mozillan yhteistyöstä koskien tätä teknologiaa (Mozilla 2015). Opinnäytetyössä esitellyn prosessin kannalta tämä on oleellista, sillä tilaprototyyppi on Unityn avulla ja internetin kautta helposti toimitettavissa asiakkaan tarkasteltavaksi. Ennen kaikkea tilaprototyyppiin voi tutustua pelimäisesti, eli tilassa voi esimerkiksi liikkua vapaasti huoneesta huoneeseen, kytkeä päälle valoja ja sulkea ovia. Unity 5:stä tekee julkaisualustana vieläkin houkuttelevamman se tieto, että sen käyttö on ilmaista niin kauan kuin sen avulla saatu tuotto alittaa 100 000 dollaria (Ricciello 2015).

Toinen tapa julkaista WebGL sisältöä on käyttää Sketchfab-palvelua. Sketchfabin tavoitteena on olla samanlainen palvelu 3d-mallien julkaisulle kuin Youtube on videoille ja Soundcloud musiikille. Palveluun voi lähettää sisältöä suoraan 3d-ohjelmistoista, kuten Modosta tai Blenderistä. 3d-mallin voi tämän jälkeen liittää osaksi mitä tahansa internetsivua, samaan tapaan kuin Youtube-videoita (AngelList 2013). Palveluun voi luoda kolmenlaisia käyttätiloja: Basic, Pro ja Business. Basicin käyttö on ilmaista ja lähetettävien 3d-mallien määrää ei ole rajoitettu - kunhan tiedostokoko per 3d-malli ei ylitä 50 megatavua. Lisäksi 3d-malleihin on liitettävissä 5 kommenttia²³. Maksulliset Pro- ja Business-tilit sallivat suuremmat tiedostokoot, enemmän kommentteja, erilaiset ulkonäkökustomisoinnit, kuten lieriöprojektiokuvien käytön mallin taustalla, salasanasuojaukset 3d-malleille, personoitavan portfoliosivun ja sähköpostituen ongelmatilanteisiin (Sketchfab 2014). Sketchfabin hyvä puoli on palvelun helppokäyttöisyys ja välittömyys, mutta ilmeisesti reaaliaikaisen 3d-sisällön julkaisu internetissä ei ole, ainakaan vielä, turvallista, sillä 3d-mallit ovat helposti varastettavissa (Williamson 2014; van der Linden 2014).

Toisentyyppinen interaktiivinen julkaisuformaatti on PDF asiakirjoihin sisällytettävät 3d-mallit. Tuettu formaatti 3d-malleille on Universal 3D, jonka tiedostotarkenne on .u3d. Interaktiiviset PDF asiakirjat ovat toteutettavissa ja toistettavissa Adobe Acrobat ja Adobe Reader ohjelmilla (Adobe 2011). Asiakirjoihin sisällytettyjä malleja voi käänellä, liikutella ja tarkastella eri etäisyyksiltä (Peek 2012). Tekemäni kokeilun perusteella 3d-mallista saa helposti konver-

²³ Sketchfabissä kommentit ovat eri puolille 3d-ympäristöä tai -mallia sijoitettavia tekstikuplia, jotka antavat katsojalle lisätietoa (Williamson, 2014)

toitua Universal 3D-version Meshlab-ohjelman avulla, jonka jälkeen malli on istutettavissa .pdf tiedostoon Adobe Acrobatilla (kuva 21).



Kuva 21. Adobe Acrobat ohjelmassa avattu .pdf tiedosto, jossa on interaktiivinen 3d-malli. Käyttäjällä on mahdollisuus vaihtaa taustan väriä ja tapaa, millä ohjelma renderöi 3d-mallin reaaliajassa.

6.2 Kuvat ja videot

Turntable animaatiot ja still-kuvat ovat suosittu tapa esitellä yksittäisiä 3d-malleja. Turntable kuvissa kamera kiertää mallia ympäri vasta- tai myötäpäivään, siten, että katsojan on helppo nähdä kappale joka suunnasta (Marantz 2014). Koska tilaprototyyppi voi olla suljettu ympäristö, kuten talon sisätilat, ei turntablen käyttö ole paras vaihtoehto, sillä seinät ja muut esteet tulevat tielle. Flythrough-animaatio, jossa kamera kulkee määrättyä reittiä tilan läpi on helposti hallittavissa ja katsojan huomio voidaan kiinnittää oleellisiin asioihin. Tilan voi toki esitellä still-kuvinkin, mutta videokuva antaa katsojalle enemmän tietoa ja paremman ymmärryksen (de Jongh 2010, 311).

Tavallisten videoiden lisäksi Youtube mahdollistaa 360 asteen videoiden laa- taamisen palveluunsa. Tämä tarkoittaa sitä, että katsojalla on videon aikana mahdollisuus käänellä kameraa, ja siten katsoa vapaasti eri suuntiin. Jotta

video toistuisi selaimessa oikein, on katseluun käytettävä Googlen Chrome selaimen työpöytäversiota tai Android-sovellusta. Jos videoita haluaa itse lähettää palveluun, on käytettävä Python-apuohjelmaa, jolla videokuvaan lisätään Youtuben edellyttämät sisällönkuvaustiedot (Youtube/Support.google 2015). Kuten aiemmin²⁴ on mainittu, tasavälisten lieriöprojektiokuvien renderöiminen suoraan 3d-ohjelmassa on helppoa. Koska lieriöprojektiokuvat ovat juuri sellaisia kuin 360 asteen videoihin edellytetään, on tekijällä mahdollisuus visualisoida tilaprototyyppi tällä menetelmällä. Tuloksena on video, jota katsoessa asiakas voi koska tahansa virtuaalisesti kääntää kameran haluamaansa suuntaan.

6.3 3d-tulostus

3d-tulostus on tuotantoprosessi, jossa digitaalisesta 3d-mallista luodaan todellinen kiinteä esine. Prosessissa esine rakentuu kerros kerrokselta, kunnes koko esine on saatu tulostettua. Valmiin esineen pinnalta kerrostumat voi havaita ohuina vaakasuuntaisina raitoina. Teknisiä ratkaisuja 3d-mallin tulostamiseen on useita erilaisia; Selective laser sintering (SLS)-menetelmässä tehokas lasersäde kiinteyttää muovi-, metalli-, keramiikka- tai lasijauheen kiinteiksi kerroksiksi. Fused deposition modeling (FDM)-menetelmässä muovi- tai metallilankaa puristetaan sulatettuna suuttimen läpi. Sulatettu lanka kovettuu välittömästi suuttimesta poistuttuaan, ja muodostaa uuden kerroksen tulostettavaan esineeseen. Stereolithographia (SLA)-menetelmässä, joka on menetelmistä suosituin, ultraviolettilaserilla piirretään nesteen pinnalle 3d-mallin poikkileikkaus. Neste reagoi ultraviolettisäteilyyn jähmettymällä kiinteäksi kerrokseksi, jonka jälkeen valmiita kerroksia lasketaan alaspäin sen verran, että uusi nestekerros pääsee muodostumaan kappaleen pinnalle. Prosessi toistetaan kunnes esine on valmis. 3d-tulostusta käytetään muun muassa tuotteiden visualisoinnissa, prototyyppien tuotannossa, metallin valannassa, arkkitehtuurissa, koulutuksessa, lääketieteessä ja viihteessä. Tulostuksella voidaan myös rekonstruoida fossiileita ja ruumiin osia kuten luita (3D Printing 2015).

Tilaprototyyppien kannalta 3d-tulostus on näyttävä tapa esitellä 3d-ympäristö tai jokin sen osa käsin kosketeltavassa muodossa. Tulostus on kuitenkin vielä melko kallista, joten kaikista projektin välivaiheista ei tulosteita kannattane ot-

²⁴ Ks. aliluku 3.1.

taa. Hintaan vaikuttavia tekijöitä ovat tulostusmenetelmä, käytettävä materiaali ja ennen kaikkea tulostettavan kappaleen *tilavuus*. Viimeksi mainitusta syystä kappaleet kannattaa tulostaa ontoiksi kustannusten minimoimiseksi. Kappaleiden seinämillä pitää kuitenkin olla riittävästi paksuutta, jota tulostus onnistuu ja kappale pystyy kannattelemaan omaa painoaan. Toinen huomioitava asia on, että digitaalisen 3d-mallin pinnan on oltava ehjä ja yhtenäinen, eli ns. vesitiivis (Shapeways 2015).

Tulostimia voi ostaa kotiin tai valmiin 3d-mallin voi lähettää tulostuspalveluun. Tällaisia palveluita edustavat yritykset kuten Shapeways ja Ponoko. Shapewaysin palvelu on erittäin käyttäjäystävällinen, sillä sivustolta saa paljon opastusta ja tietoa aina tulostuskelpoisten 3d-mallien rakentamisesta materiaali- vaihtoehtoihin. Palveluun sisältyy myös mahdollisuus käyttää automaattisia korjaustyökaluja, jos 3d-mallissa ilmenee ongelmia ennen tulostusta. Materiaalivalikoimaan kuuluu erilaisia muoveja, metalleja, keraamisia materiaaleja ja vaha. Jokaisella materiaalilla on omat ominaisuutensa, jotka vaihtelevat hinnan, yksityiskohtaisuuden, lujuuden ja sileyden mukaan. Kun tuloste on valmis, se lähetetään postitse asiakkaalle (Shapeways 2015).

7 LOPUKSI

Aikaa kului niin paljon menetelmien tutkimiseen ja opinnäytetyön tutkimuksellisen kysymyksen pohdiskeluun, että hyvää ja yksiselitteisesti luvussa 2 esiteltyä prosessia demonstroivaa tilaprototyypiesimerkkiä en saanut valmistettua. Ongelmana ei ole ollut prosessin tai menetelmien toimivuus, vaan pikemminkin hyvien ideoiden puute. Viimeisen 18 kuukauden aikana olen keskittynyt opiskelemaan monia visuaalisen viestinnän alalla tarvittavia taitoja aina perspektiivipiirustuksesta 3d-grafiikan saloihin. Vaikka olen kokenut kaiken tämän hyvin inspiroivaksi teknisellä tasolla, sama kipinä ei ole välittynyt taiteelliseen ilmaisuun. Opinnäytetyöprosessin myötä olenkin huomannut miten arvokkaita idearikkaat ihmiset ovat – eritoten jos he osaavat välittää ajatuksensa konseptitaiteen muodossa paperille.

Opinnäytetyössä läpi käydyt menetelmät ovat vain jäävuoren huippu kaikesta siitä, mikä tilaprototyyppien valmistukseen on sovellettavissa. Lisäksi menetelmät on esitelty vain pintapuolisesti, jottei teksti venyisi kirjan mittaiseksi.

Tärkeitä puuttumaan jääneitä aiheita ovat muun muassa 3d-skannaus mobiililaitteilla, shaderit ja valon fysikaalinen käyttäytyminen, kultaisen leikkauksen hyödyntäminen kolmiulotteisessa sommittelussa, positiivisten ja negatiivisten tilojen ymmärtäminen arkkitehtuurissa, tiedostojen versiointikontrolli ja pilvipalvelut.

Syy, miksi alun perin valitsin juuri tämän aiheen opinnäytetyötä varten on, että koin kolmiulotteisten tilojen mallintamisen erittäin hankalaksi: en yksinkertaisesti tiennyt mistä aloittaa ja miten pitää huolta siitä, ettei tilan mallintaminen kaatuisi omaan mahdottomuuteensa. Näistä syistä ympäristöjen mallintaminen oli itse asiassa minulle vähiten mieluisa aihealue. Parhaiten viihdyin yksittäisten esineiden tai olioiden mallintamisen parissa. Asiakaskokemukset ovat kuitenkin osoittaneet, että taito toteuttaa 3d-ympäristöjä on mallintajalle edellytys. Ryhdyttyäni selvittämään aihetta huomasin hämmästykseni, ettei minun todellakaan tarvitsi keksiä pyörää uudestaan tämän ongelman suhteen: tilan hallintaa ja organisointia esteettisesti miellyttävällä on pohdittu ja tutkittu jo vuosi tuhansien ajan – muun muassa arkkitehtuurin ja matematiikan keinoin – ja tietoa aiheesta on saatavilla enemmän kuin tulen ehtimään elinikänäni opiskella.

Minä olen, kuten on moni muukin, huomannut, että mitä enemmän johonkin aiheeseen syventyy, sitä vähemmän siitä tuntuu tietävän. Jokaista vastausta seuraa kymmenen uutta kysymystä, ja selvitettävää näyttää riittävän loputtomiin. Siispä on tehtävä valintoja. Nyt, kun suurin piirtein ymmärrän yleisellä tasolla mitä 3d-grafiikalla tarkoitetaan ja mihin sitä käytetään, minun on päätettävä miten aihetta jatkossa lähestyn. Kuitenkin selvää näyttää olevan, että piirustuksen, matematiikan ja ohjelmoinnin opiskelu on suoranainen välttämättömyys.

LÄHTEET

- 360Precision. 2015. *Atome*. Saatavissa: <http://shop.360precision.com/atome/> [viitattu 03.04.2015].
- 3D Printing. 2015. *What is 3D printing?* Saatavissa: <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/> [viitattu 16.04.2015].
- Aalto-yliopisto. 2014. *Liikkuva laserkeilaus kerää tietoa ympäristöstä*. Saatavissa: http://eng.aalto.fi/fi/current/current_archive/news/2014-01-09-002/ [viitattu 09.03.2015].
- About. 2015a. *Topology*. Saatavissa: <http://3d.about.com/od/Glossary-T/g/Topology.htm> [viitattu 18.02.2015].
- About. 2015b. *What is Rendering?* Saatavissa: <http://3d.about.com/od/3d-101-The-Basics/a/Rendering-Finalizing-The-3d-Image.htm> [viitattu 19.02.2015].
- Adobe. 2011. *Interactive 3D models in PDF documents*. Saatavissa: <http://blogs.adobe.com/tcs/2011/01/framemaker/interactive-3d-models-in-documents.html> [viitattu 16.04.2015].
- Agkathidis, A. 2009. *Modular Structures in Design and Architecture*. Amsterdam: BIS Publishers.
- Alvarez, A. 2014. *3D Creature Development Master Class with Alex Alvarez*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/products/masterclass/3dcreaturedev/> [viitattu 21.03.2015].
- Andrew Peel. 2015. Fluid Designer 2015 R2 - Blender Based Design Software [online video] Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=K_bISorT820 [viitattu 12.04.2015].
- Andrew Price, 2014. *Introduction to Cycles Baking* [online video] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=sB09T--ZvU> [viitattu 23.02.2015]
- Andrew Price, 2013. *How to do Camera Mapping in Blender* [online video] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=B9r9tKX5oIY> [viitattu 12.02.2015].
- AngelsList. 2013. *Sketchfab*. Saatavissa: <https://angel.co/sketchfab> [viitattu 12.04.2015].
- Autodesk. Knowledge Network. 2014. *Instance geometry to particles*. [online] Saatavissa: <http://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Maya/files/GUID-BCF2EDB8-8D46-4968-BF72-A2CD2C666CFC-htm.html> [viitattu 02.03.2015].
- Bertling, T. & Robertson, S. 2014. *How to Render: The Fundamentals of Light, Shadow and Reflectivity*. Culver City, CA: Design Studio Press.
- Blackman, S. 2012. *Unity 3D 3.5 Essential Training with Sue Blackman*. [online] Lynda.com. Saatavissa: <http://www.lynda.com/Unity-3D-tutorials/Unity-3D-35-Essential-Training/96677-2.html> [viitattu 15.01.2015].

Blender Stack Exchange. 2013. *Difference Between Make Local Object and Make Proxy*. Saatavissa:

<http://blender.stackexchange.com/questions/2462/difference-between-make-local-object-and-make-proxy> [viitattu 17.02.2015].

Blender Stack Exchange. 2014. *Applyin Array Modifier - Still instance?*.

Saatavissa: <http://blender.stackexchange.com/questions/7235/applying-array-modifier-still-instance> [viitattu 23.01.2015].

Blender wiki. 2013. *Camera*. Saatavissa:

<http://wiki.blender.org/index.php/Doc:2.6/Manual/Render/Cycles/Camera> [viitattu 12.02.2015].

Bezzi, A. & Moulon, P. 2011. *Python Photogrammetry Toolbox: A free solution for Three-Dimensional Documentation*. IMAGINE. Saatavissa: imagine.enpc.fr/publications/papers/ARCHEOFOSS.pdf [viitattu 28.03.2015].

Cgtextures. 2007. *10 Texture Photography Tips*. Saatavissa:

<http://www.cgtextures.com/content.php?action=tutorial&name=shootingtextures> [viitattu 18.03.2015].

Crespi, A. 2013. *Level Design Basics in Unity with Adam Crespi*. [online]

Lynda.com. Saatavissa: <http://www.lynda.com/Unity-3D-tutorials/Level-Design-Basics-Unity/133341-2.html> [viitattu 12.02.2015].

Descottes, H. & Ramos, C. 2011. *Architectural Lighting: Designing with Light and Space*. New York City, NY: Princeton Architectural Press.

Downing, G. 2005. *Spherical Panoramic Photography: Creating Compelling Environments with Greg Downing*. The Gnomon Workshop. Saatavissa:

<http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/131/Spherical-Panoramic-Photography#.VSnb2BxjCXA> [viitattu 25.03.2015].

Elokuvaopas. n.d. *Jalkituontanto*. Saatavissa:

<http://www.elokuvaopas.com/sanasto/%E4%l%k%u%o%t%a%nt%o%/> [viitattu 25.03.2015].

Elokuvantaju. n.d. *Jalkituontanto*. Saatavissa:

<http://elokuvantaju.aalto.fi/oppimateriaali/jalkituontanto/jalkituontanto.jsp> [viitattu 25.03.2015].

Frederick, M. 2007. *101 Things I Learned in Architecture School*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Fry, G. 2014. *Advanced 3D Matte Painting Techniques with Garrett Fry*. The Gnomon Workshop. Saatavissa:

<http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1068/Advanced-3D-matte-Painting-Techniques#.VSnBtRxjCXA> [viitattu 30.03.2015].

Fryer, J., Mitchell, H. & Chandler, J. 2007. *Applications of 3D Measurement from Images*. Dunbeath, UK: Whittles Publishing.

Futurepoly, 2013. *Bridging the Gap From Student to Professional* [online

video] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=d9A9kt9M4Vw> [viitattu 23.11.2014].

GDC. 2015. *Level Design In a Day: An expert roundtable Q&A*. Saatavissa: http://www.gdconf.com/news/level_design_in_a_day_an_exper.html [viitattu 04.03.2015].

Gleb Alexandrov, 2014. *Game level texturing: Texture Atlas (PART 3/5)* [online video] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=IXyVQ87Hius> [viitattu 28.03.2015].

Hawkins, R. 2014. *Photo Collage Prototyping with Ryan Hawkins*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1090/3D-Character-Design#.VTNc0M7o9pt> [viitattu 23.03.2015].

Herman, J. 2014. *3D Character Design: Sculpt, Model, Render with Josh Herman*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1090/3D-Character-Design#.VTNc0M7o9pt> [viitattu 29.03.2015].

Holland, P. 2012. *High Dynamic Range Imaging for VFX with Phil Holland*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/983/High-Dynamic-Range-Imaging-for-Live-Action-VFX#.VSnbHxxjCXA> [viitattu 09.04.2015].

Hutchinson, L. 2014. *Shootout: How does a high-end smartphone camera compare to a \$3,400 DSLR?* Ars Technica. Saatavissa: <http://arstechnica.com/gadgets/2014/10/smartphone-camera-vs-dslr/> [viitattu 12.10.2014].

de Jongh, R. 2010. *SketchUp 7.1 for Architectural Visualization: Beginner's Guide*. Birmingham, UK: Packt Publishing.

Khronos Group. 2015. *OpenGL ES 2.0 for the Web*. Saatavissa: <https://www.khronos.org/webgl/> [viitattu 12.03.2015].

Klimov, G. 2014. *Design Techniques for 3D Concept Art with Gavriil Klimov*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1080/Design-Techniques-for-3D-Concept-Art#.VSnPvBxjCXA> [viitattu 26.03.2015].

Koenig, S. 2012. *Track, Match, Blend!* [DVD] Hollanti: Blender Foundation.

Koenig, S. 2014. *Track, Match, Blend 2*. Saatavissa: <https://cloud.blender.org/training/track-match-blend-2/> [viitattu 02.11.2014].

Lesperance, D. 2012a. *Environment Production Workflow Tips, Tricks and Concepts with David Lesperance*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1007/Environment-Production-Workflow-%3A-Tips%2C-Tricks-and-Concepts#.VSm3nRxjCXA> [viitattu 20.03.2015].

Lesperance, D. 2012b. *Environment Sculpting with David Lesperance*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/975/Environment-Sculpting#.VSm4hBxjCXA> [viitattu:18.03.2015].

Limonick, A. 2014. *Concept Design Workflow Volume 1: Composition Sketching with Aaron Limonick*. The Gnomon Workshop. Saatavissa:

<http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1072/Concept-Design-Workflow-Vol-1%3A-Composition-Sketching#.VSnZeRxjCXA>
[viitattu 22.03.2015].

Maanmittauslaitos. 2015. *Laserkeilausaineisto*. Saatavissa: <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>
[viitattu 02.03.2015].

Marantz, J. S. 2014. *3D Creature Design: Alien Rock Grubber Concept, Model, Texture, Render with Jerad S. Marantz*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1088/3D-Creature-Design%3A-Alien-Rock-Grubber#.VTM6OM7o9ps> [viitattu 02.04.2015].

Masters, M. 2014. *Why are Ngons and Triangles so Bad?* Digital Tutors Saatavissa: <http://blog.digitaltutors.com/ngons-triangles-bad/> [viitattu 28.03.2015].

Meshlab. 2014. *Meshlab*. Saatavissa: <http://meshlab.sourceforge.net> [viittaus 12.04.2015].

Nederhorst, R. 2011. *Creating Highly Realistic Composites: Feeling Real vs Looking Real*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/973/Creating-Highly-Realistic-Composites#.VTNR087o9ps> [viittaus 12.04.2015].

Objectified. 2009 [DVD] London: Swiss Dots.

OpenEXR. 2014. *OpenEXR*. Saatavissa: www.openexr.com [11.03.2015].

Peek, J. 2012. *Tutorial for embedding 3D interactive graphics into PDF*. AstroBetter. Saatavissa: <http://www.astrobetter.com/blog/2012/03/07/tutorial-for-embedding-3d-interactive-graphics-into-pdf/> [viittaus 05.04.2015].

Pursche, M. 2013. *Instancing with OpenSceneGraph*. Advanced 3D Computer Graphic Tutorials. Saatavissa: <http://3dcgtutorials.blogspot.fi/2013/08/instancing-with-openscenegraph.html>
[viitattu 12.04.2015].

Rapidlasso. 2015. *Rapidlasso GmbH: fast tools to catch reality*. Saatavissa: <http://rapidlasso.com> [viitattu 11.03.2015].

Riccitiello, J. 2015. *Unity 5 Launch*. Unity. Saatavissa: <http://blogs.unity3d.com/2015/03/03/unity-5-launch/> [viitattu 03.03.2015].

Roosendaal, T. 2015. *Blender 2.73 - A new Storyboard Workflow*. Cosmos Laundromat. Saatavissa: <http://gooseberry.blender.org/blender-2-73-a-new-storyboard-workflow/> [viitattu 06.04.2015].

Ruppel, R. 2012. *Haunted Land*. In Greenway, T. Morse, S. Hargreaves, J. Perrins C. and Tilbury, R eds., 2012. *Digital Art Masters: Volume 7*. Worcester, UK: 3D Total Publishing.

Pixologic. 2015. *Zbrush in Various Industries*. Saatavissa: <http://www.zbrush.com/zbrush/industry/> [viitattu 10.04.2015].

- Scott Robertson. 2013. Scott Robertson: *Inspiration and Techniques* [online video] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=lZ7aaUVhGUo> [viitattu 04.04.2015].
- Scott Robertson, 2014. *John Park's sketchbooks: part 2* [online video] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=UJKHwT-YyIE> [viitattu 04.04.2015].
- Scott-Spencer, M. 2015. *Introduction to ZBrush 4R7 with Madeleine Scott-Spencer*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1119/> [viitattu 28.3.2015].
- Shapeways. 2015. The World's Leading 3D Printing Service & Marketplace. Saatavissa: <http://www.shapeways.com> [viitattu 14.04.2015].
- Shene, C. 2013. Constructive Solid Geometry. *Cs3621 Introduction to Computing with Geometry*. Michigan Technological University MI. Saatavissa: <http://www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/cs3621/NOTES/model/csg.html> [viitattu 12.04.2015].
- Siitonen, M., 2015. Ohjaaja. Haastattelu 4.2.2015. Kouvola: Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- Sketchfab. 2014. *Get more from Sketchfab!: Simple pricing, great value*. Saatavissa: <https://sketchfab.com/plans> [viitattu 12.04.2015].
- Smith, G. 2013 *3D-Coat Manual*. [pdf] Saatavissa: http://3d-coat.com/files/manual_4.0.pdf [viitattu 14.03.2015].
- Souto, N. 2010. *Video Game Physics Tutorial - Part I: An Introduction to Rigid Body Dynamics*. Toptal. Saatavissa: <http://www.toptal.com/game/video-game-physics-part-i-an-introduction-to-rigid-body-dynamics> [viitattu 24.02.2015].
- Studio LLB. 2015. *Manual Camera Projection Basics*. Saatavissa: <https://studiollb.wordpress.com/2015/04/06/manual-camera-projection-basics/> [viitattu 16.03.2015].
- Mozilla 2015. *Unity 5 Ships and Brings One Click WebGL Export to Legions of Game Developers*. The Mozilla Blog. [viitattu 04.03.2015] Saatavissa: <https://blog.mozilla.org/blog/2015/03/03/unity-5-ships-and-brings-one-click-webgl-export-to-legions-of-game-developers/> [viitattu 15.03.2015].
- Thompson, S. 2014. *Creating Believable 3D Environments: The Making of "Unmystified" with Seth Thompson*. The Gnomon Workshop. Saatavissa: <http://www.thegnomonworkshop.com/store/product/1094/Creating-Believable-3D-Environments#.VSm4zhxjCXA> [viitattu 20.03.2015].
- UML. 2015. *Unified Modeling Language (UML) Resource Page*. Saatavissa: www.uml.org [viitattu 08.03.2015].
- Unity. 2015a. *Unity Manual: Cubemap*. Saatavissa: <http://docs.unity3d.com/Manual/class-Cubemap.html> [viitattu 08.04.2015].
- Unity. 2015b. *Unity Manual: Reflection probes*. Saatavissa: <http://docs.unity3d.com/Manual/ReflectionProbes.html> [viitattu 08.04.2015].

Unity. 2015c. *Unity Manual: Image Effect Reference*. Saatavissa: <http://docs.unity3d.com/Manual/comp-ImageEffects.html> [viitattu 08.04.2015].

USGS (U.S. Geological Survey). 2012. *Light Detection and Ranging (LIDAR)*. Saatavissa: <https://lta.cr.usgs.gov/LIDAR> [viitattu 08.04.2015].

Van der Linden, S. 2014. *Designers beware: Real-time 3d viewers can be easily hacked*. Saatavissa: <https://medium.com/@Virtox/designers-beware-real-time-3d-viewers-can-easily-be-hacked-e5637a842e87> [viitattu 12.04.2015].

Vepakomma, M. 2014. *Blender Compositing and Post Processing*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd.

Vukicevic, V. Slideshare. 2014. *Bringing Virtual Reality to the Web: VR, WebGL and CSS - Together At Last!* Saatavissa: http://www.slideshare.net/fitc_slideshare/web-vr-fitc [viitattu 27.03.2015].

Wallace, E. ca.201- *csg.js (constructive solid geometry)*. Saatavissa: <http://evanw.github.io/csg.js/> [viitattu 28.03.2015].

WebVR. 2015. *WebVR/editors draft*. Saatavissa: <http://mozvr.github.io/webvr-spec/webvr.html> [viitattu 27.03.2015].

Wikipedia. 2015. *Procedural modeling*. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Procedural_modeling [viitattu 14.03.2015].

Williamson, J. 2014. Showcasing Blender Models with Sketchfab. Blender Cookie. Saatavissa: <https://cgcookie.com/blender/cgc-courses/showcasing-blender-models-sketchfab/> [viitattu 17.04.2015].

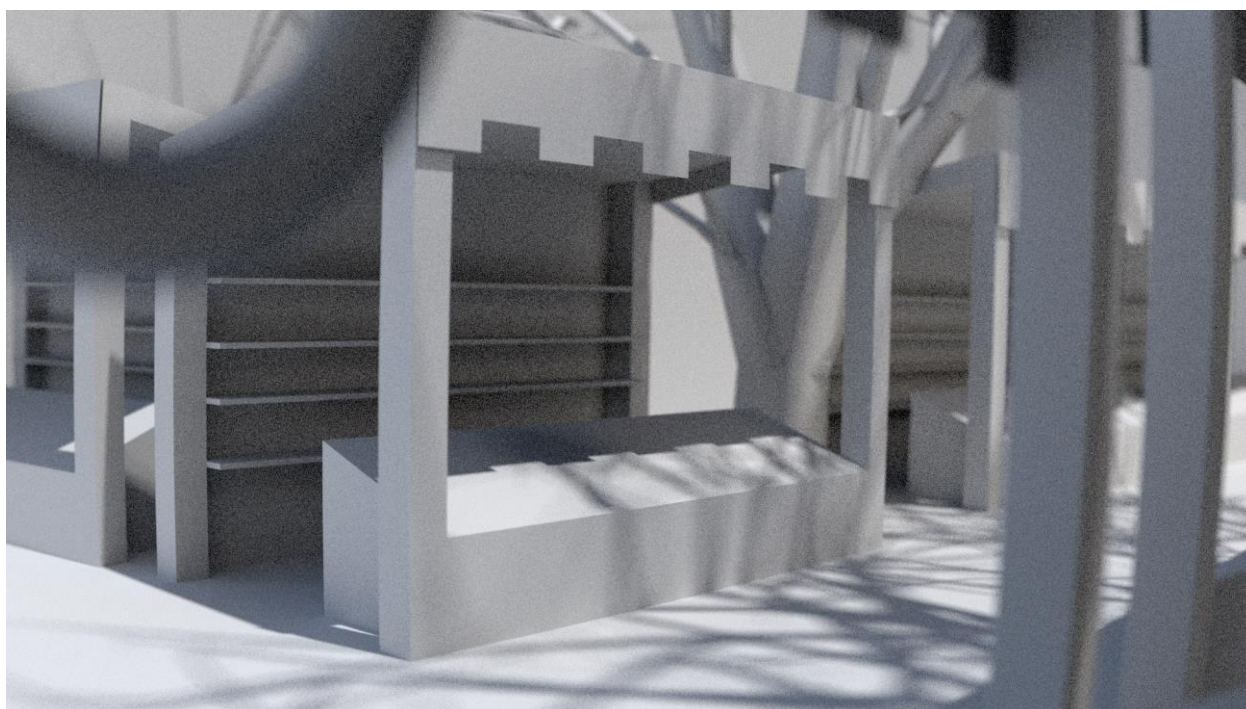
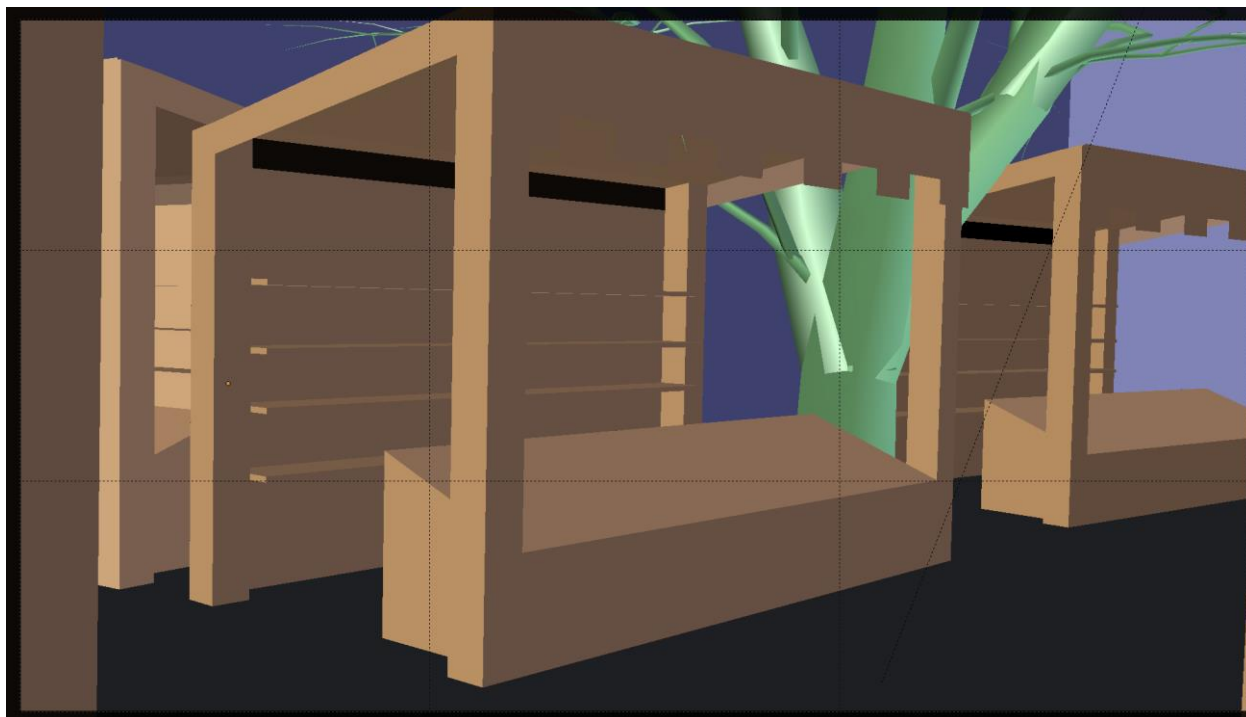
WorldofLevelDesign. 2015. *UE4: Guide to Player Scale and World/Architecture Dimensions* [online video] Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=oPcHUqA0DR8> [viitattu 02.04.2015].

Youtube/Support.google jotain. 2015. *360 asteen videoiden lataaminen*. [online video] Saatavissa: <https://support.google.com/youtube/answer/6178631?hl=fi> [viitattu 12.04.2015].

ZBrush 4R7 Online Documentation. 2015a. *Array Mesh*. Saatavissa: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/array-mesh/> [viitattu 10.04.2015].

ZBrush 4R7 Online Documentation. 2015b. *DynaMesh*. Saatavissa: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/modeling-basics/creating-meshes/dynamesh/> [viitattu 10.04.2015].

MESSUTORI



MESSUTORI



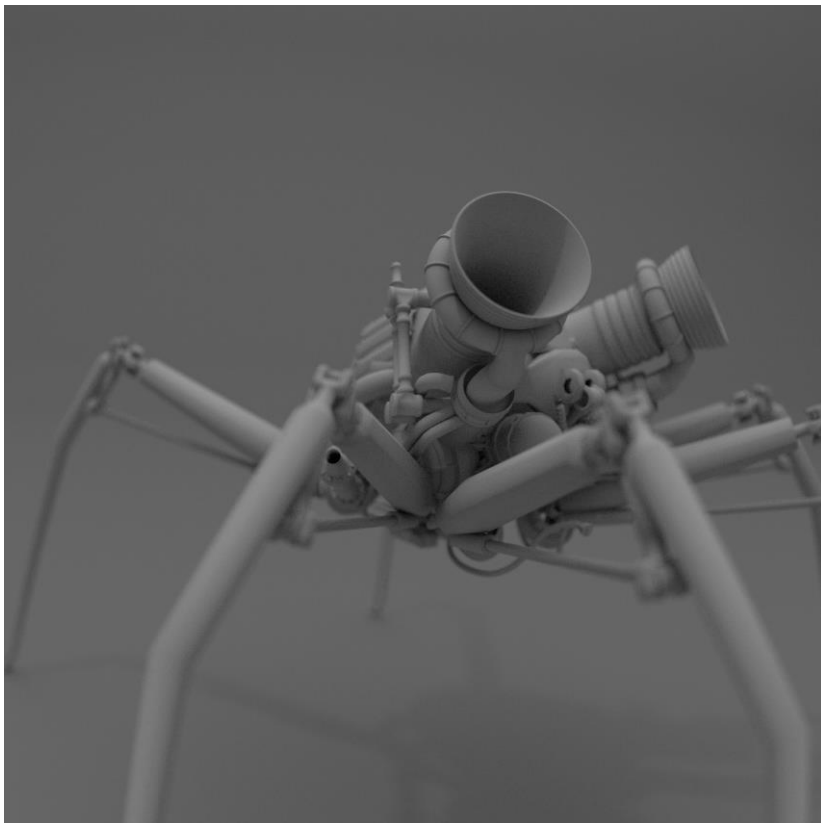
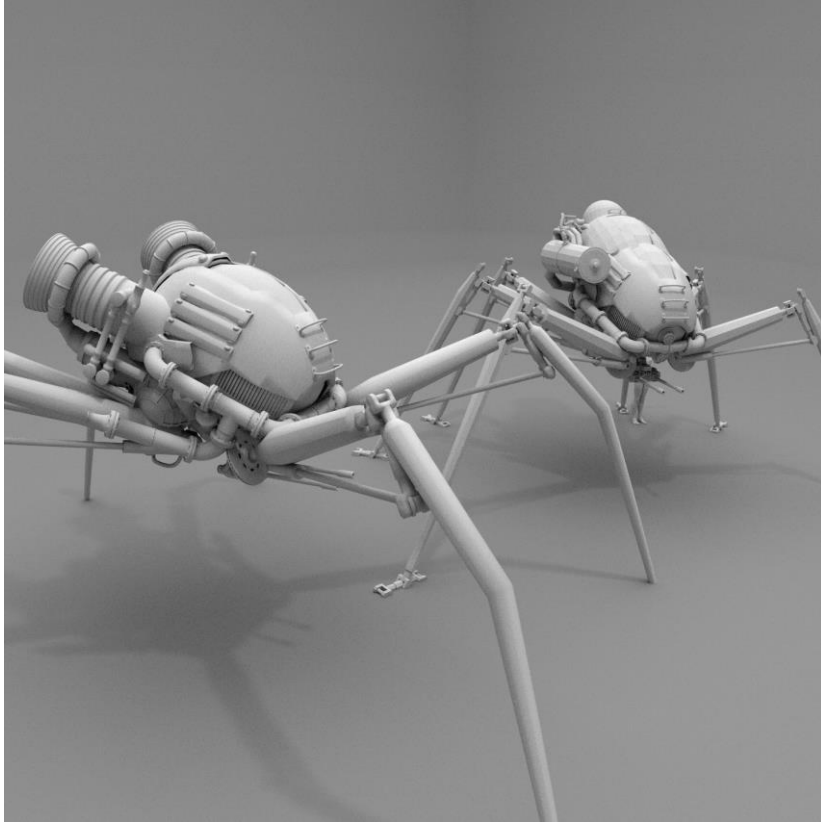
MESSUTORI



KITBASHING HÄMÄHÄKKI



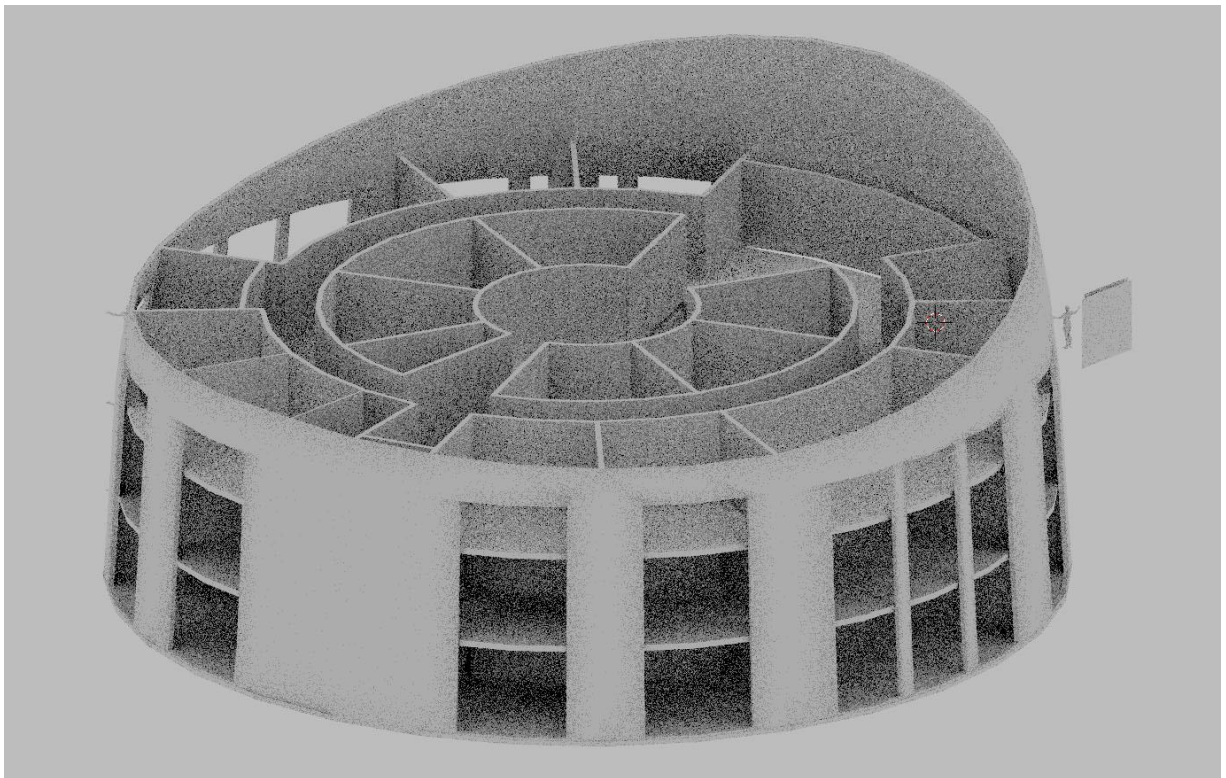
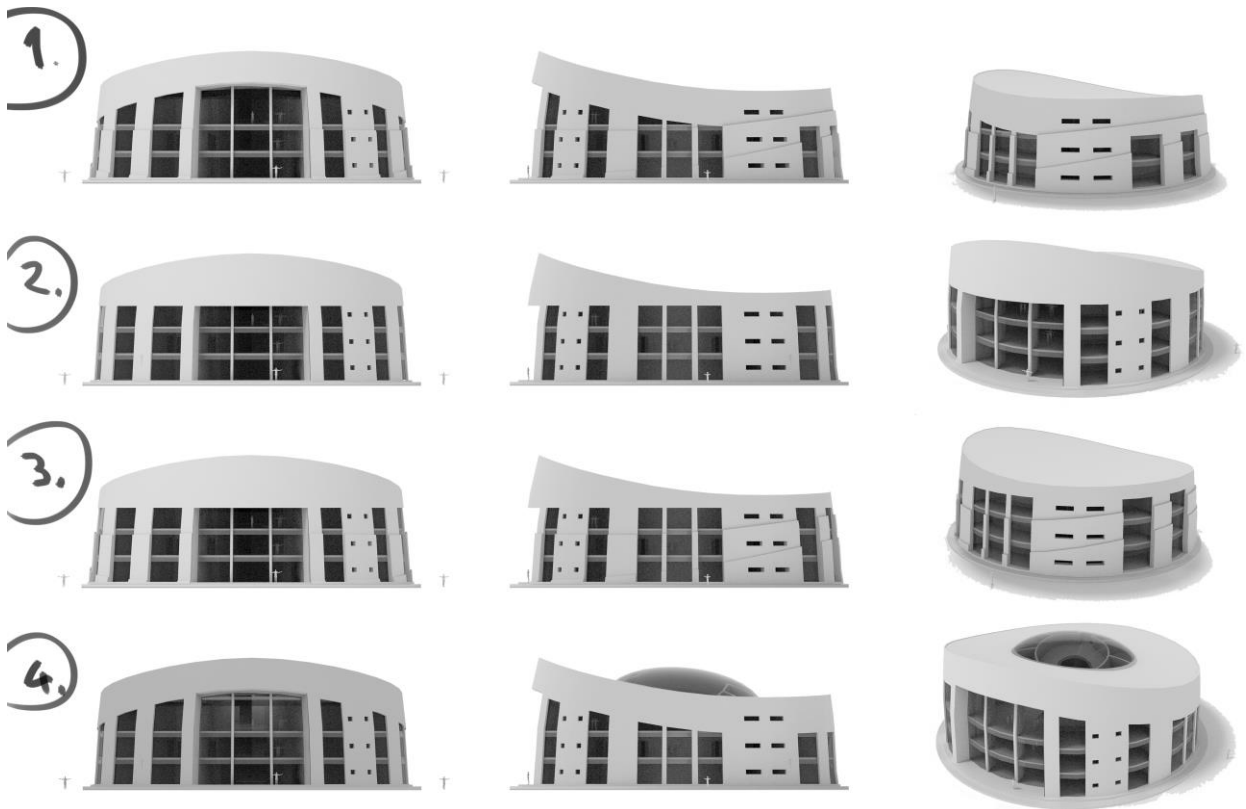
KITBASHING HÄMÄHÄKKI



KITBASHING HÄMÄHÄKKI

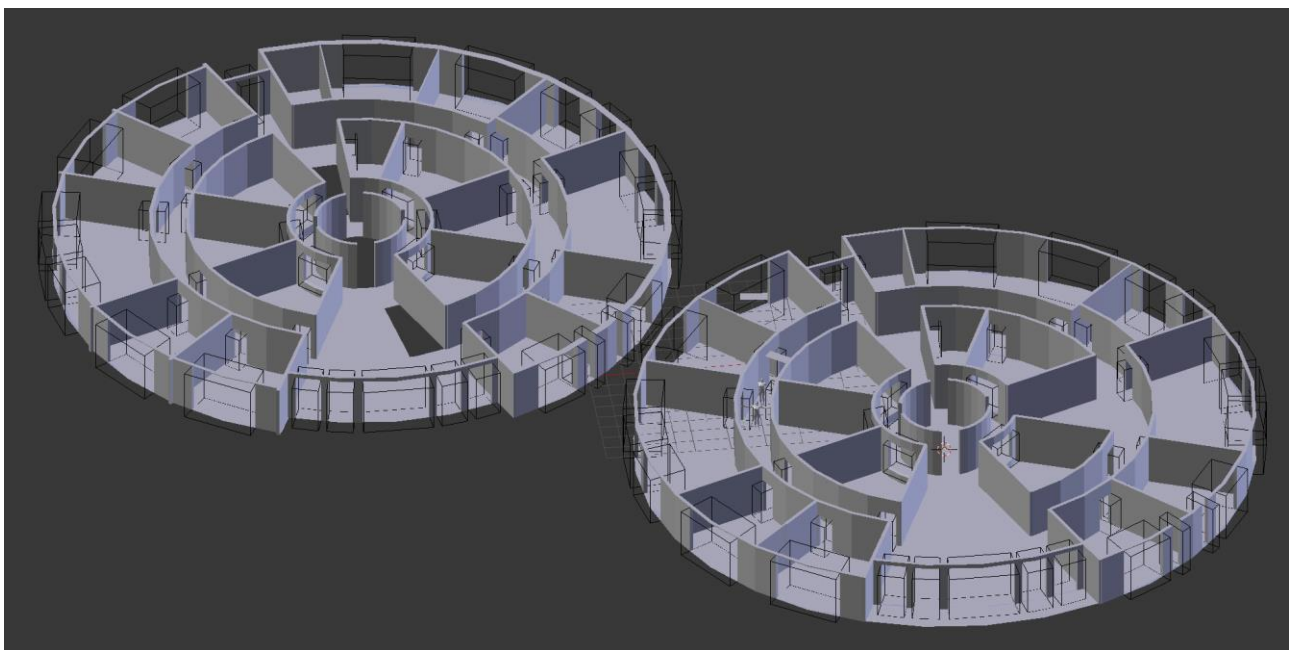
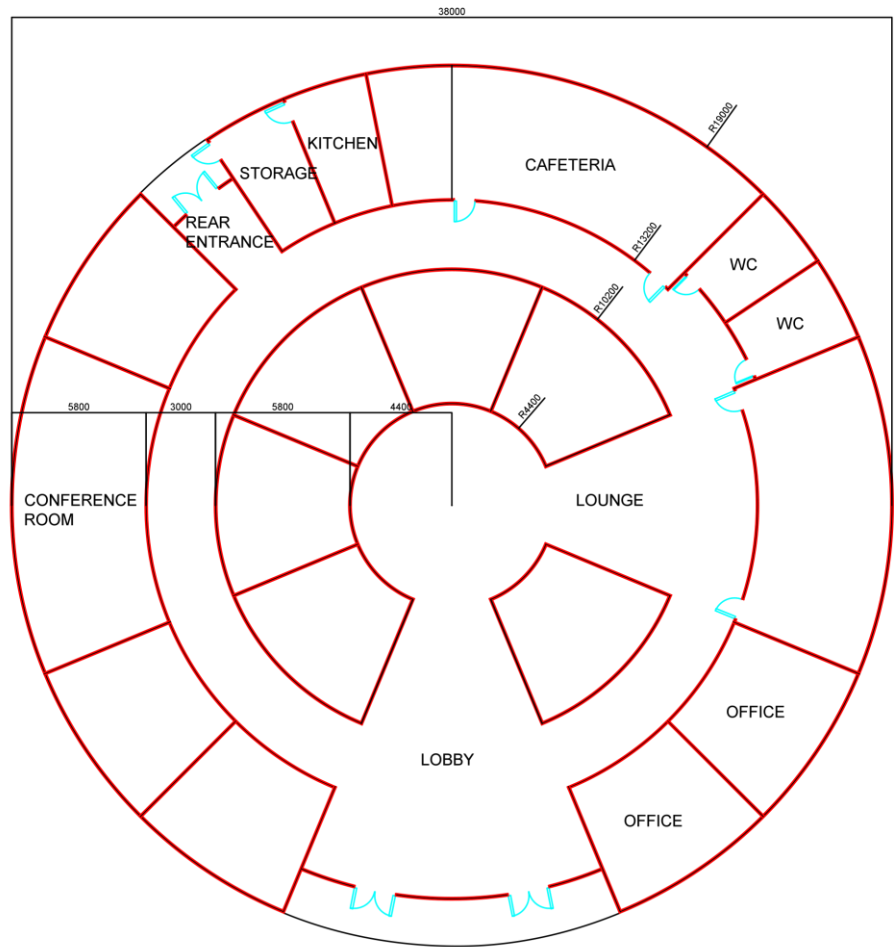


RESEARCH FACILITY

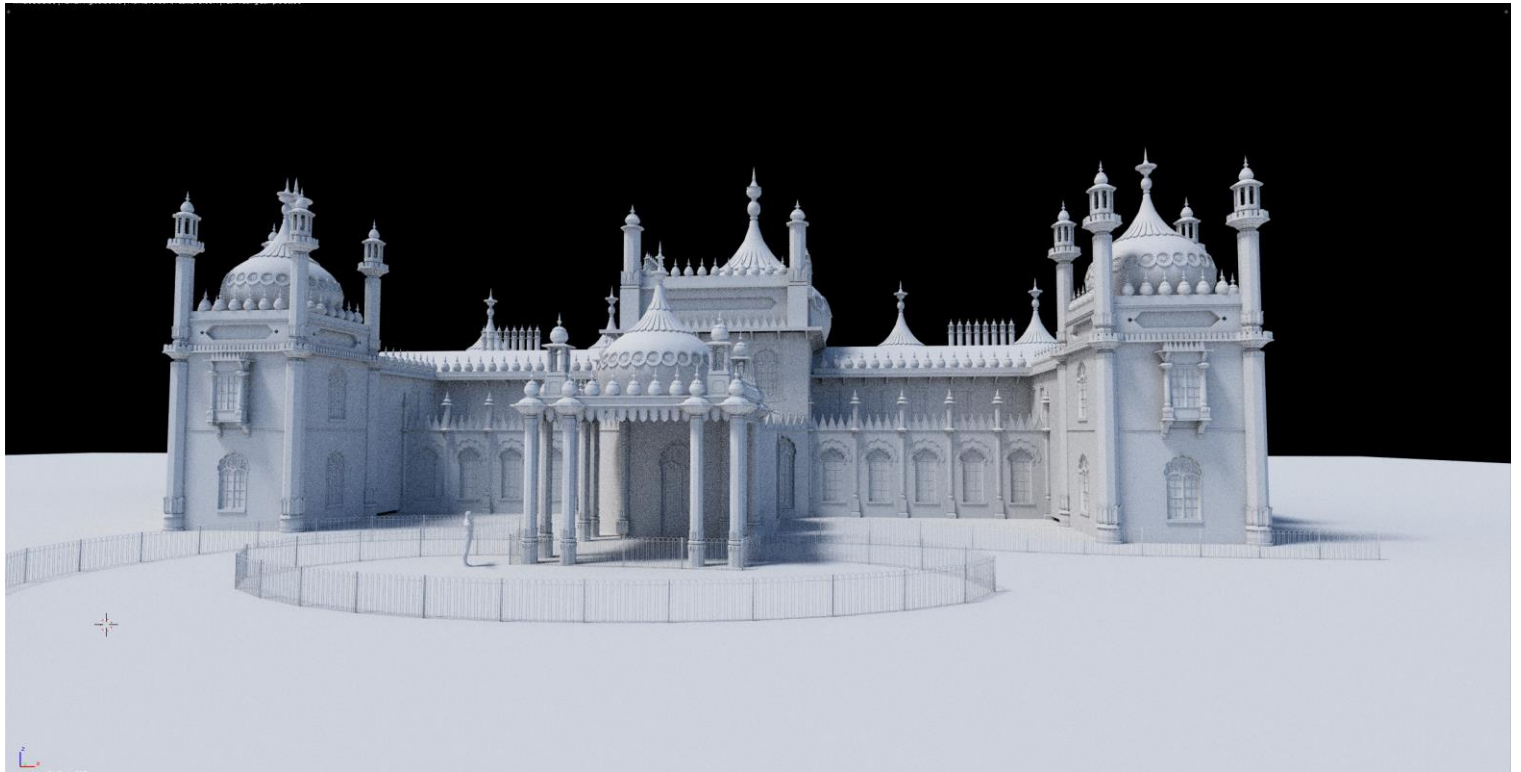


RESEARCH FACILITY

Pohjapiirustus: Eda Brasileño-Hatanpää



ROYAL PAVILION



ROYAL PAVILION



LIERIÖPROJEKTIOKUVAT



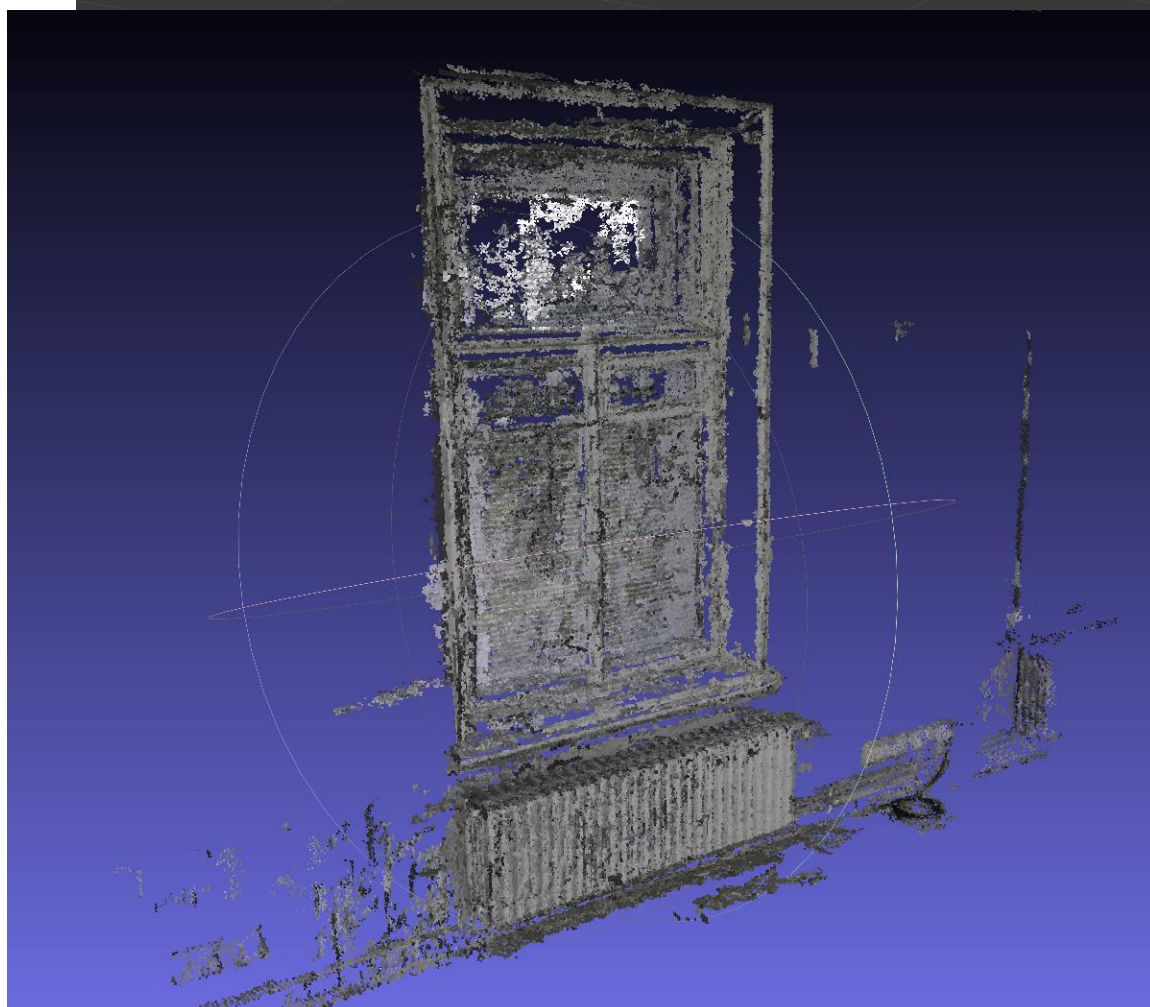
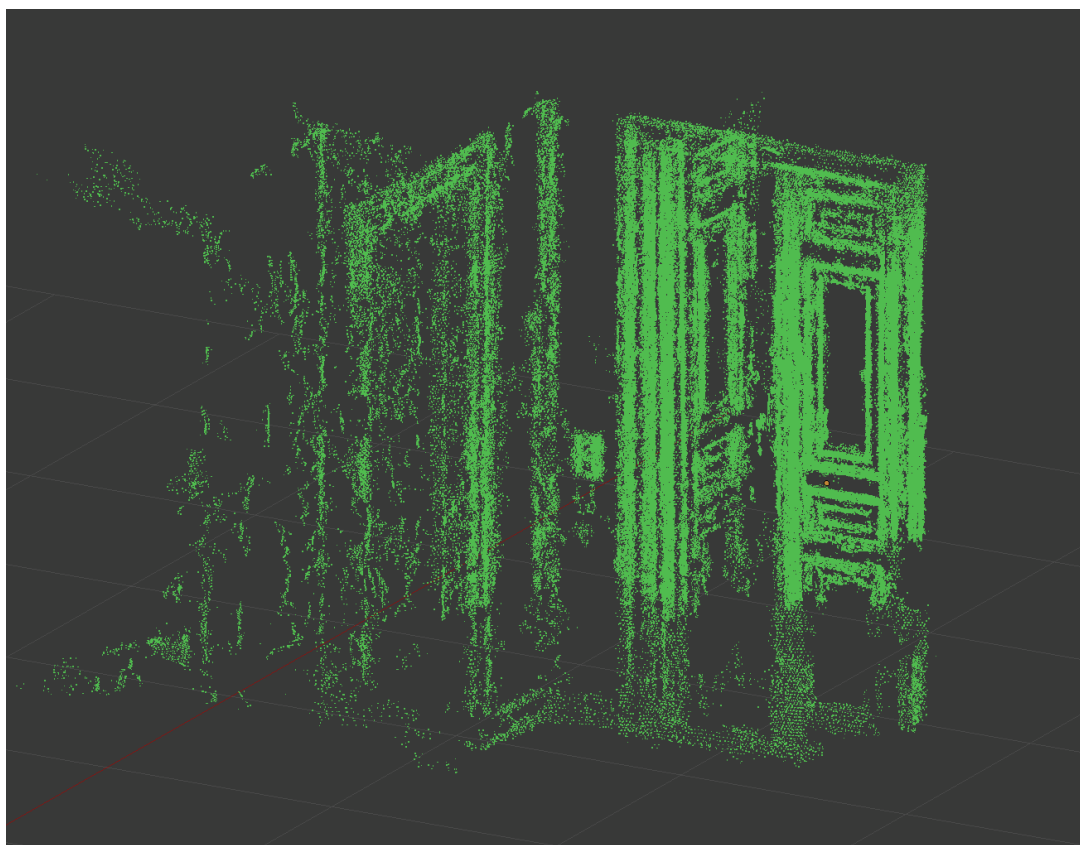
LIERIÖPROJEKTIOKUVAT



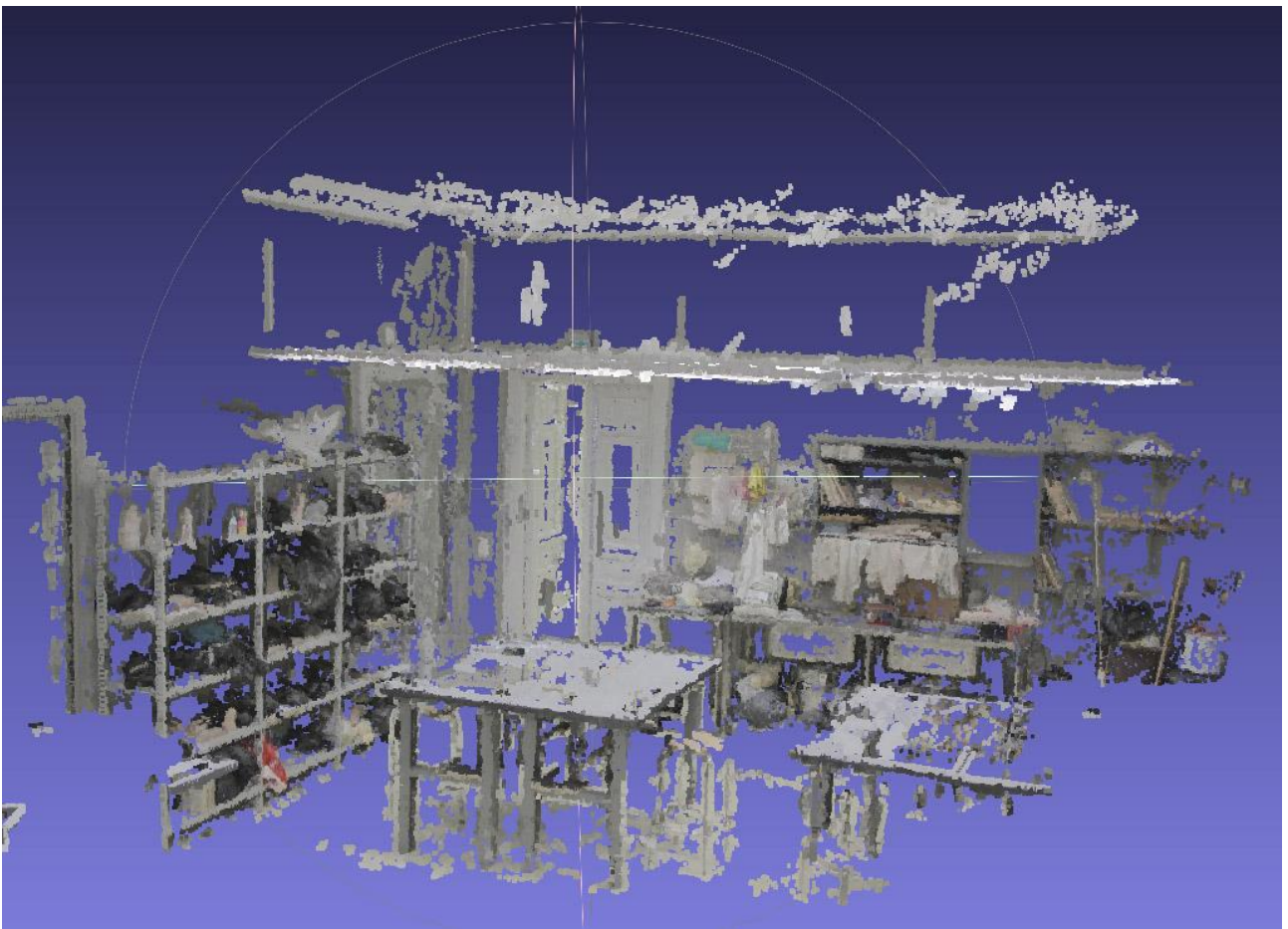
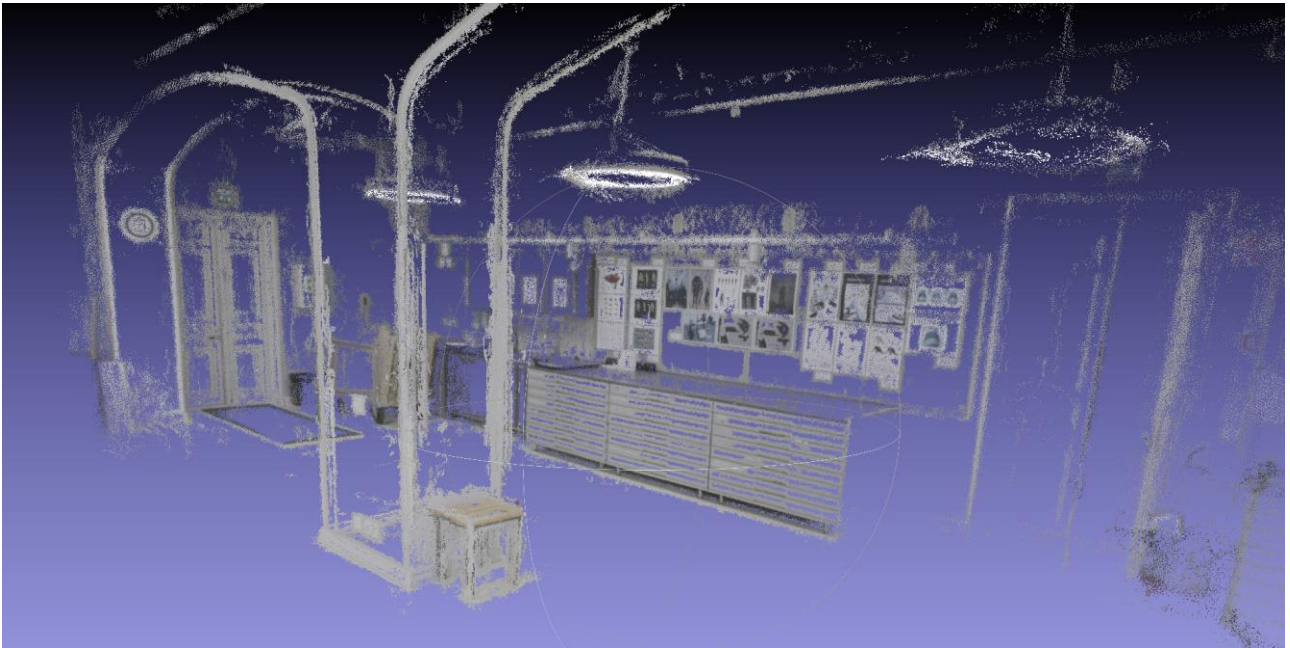
LIERIÖPROJEKTIOKUVAT



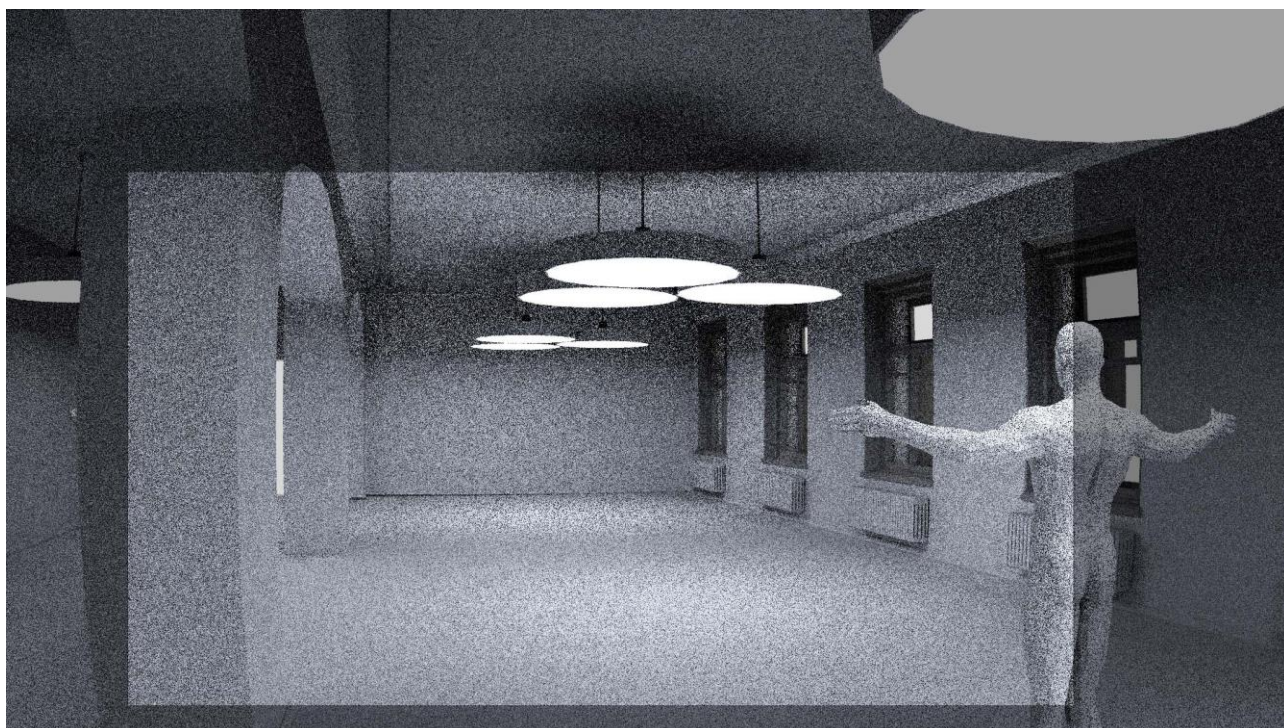
TAIDETALO



TAIDETALO



TAIDETALO



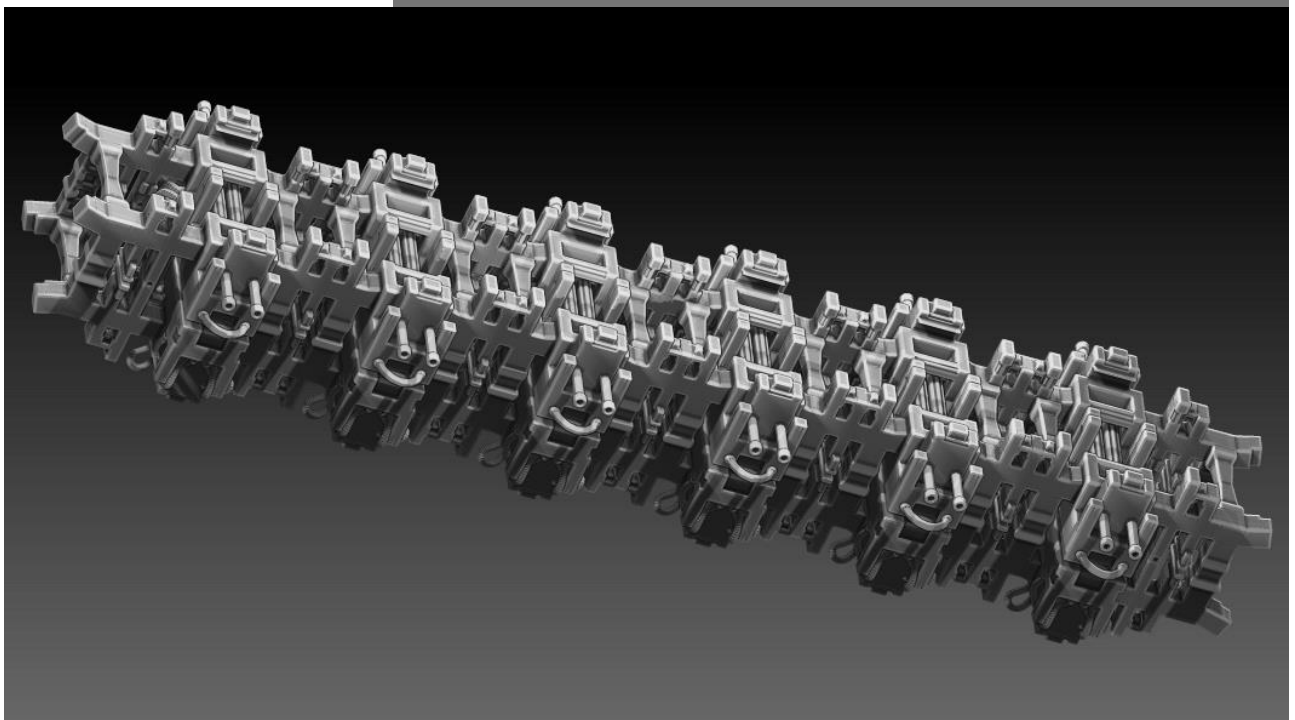
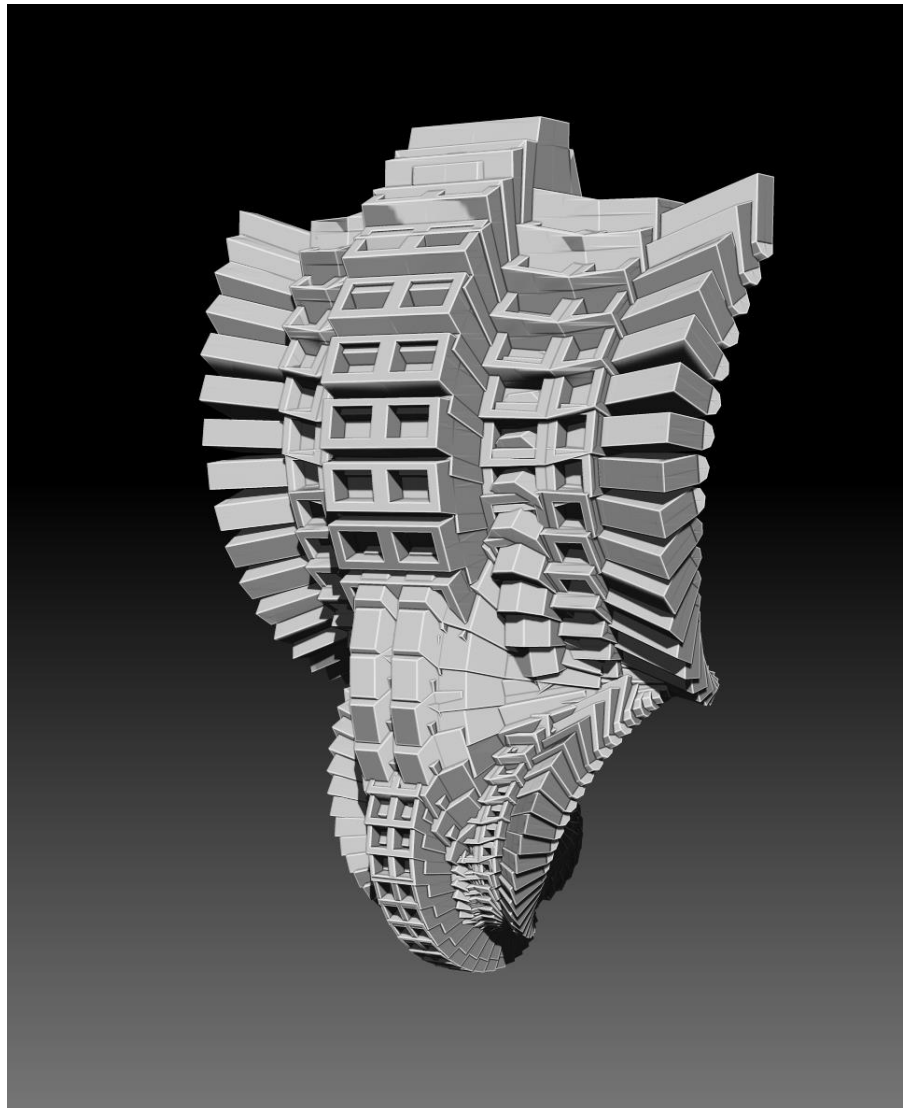
TAIDETALO

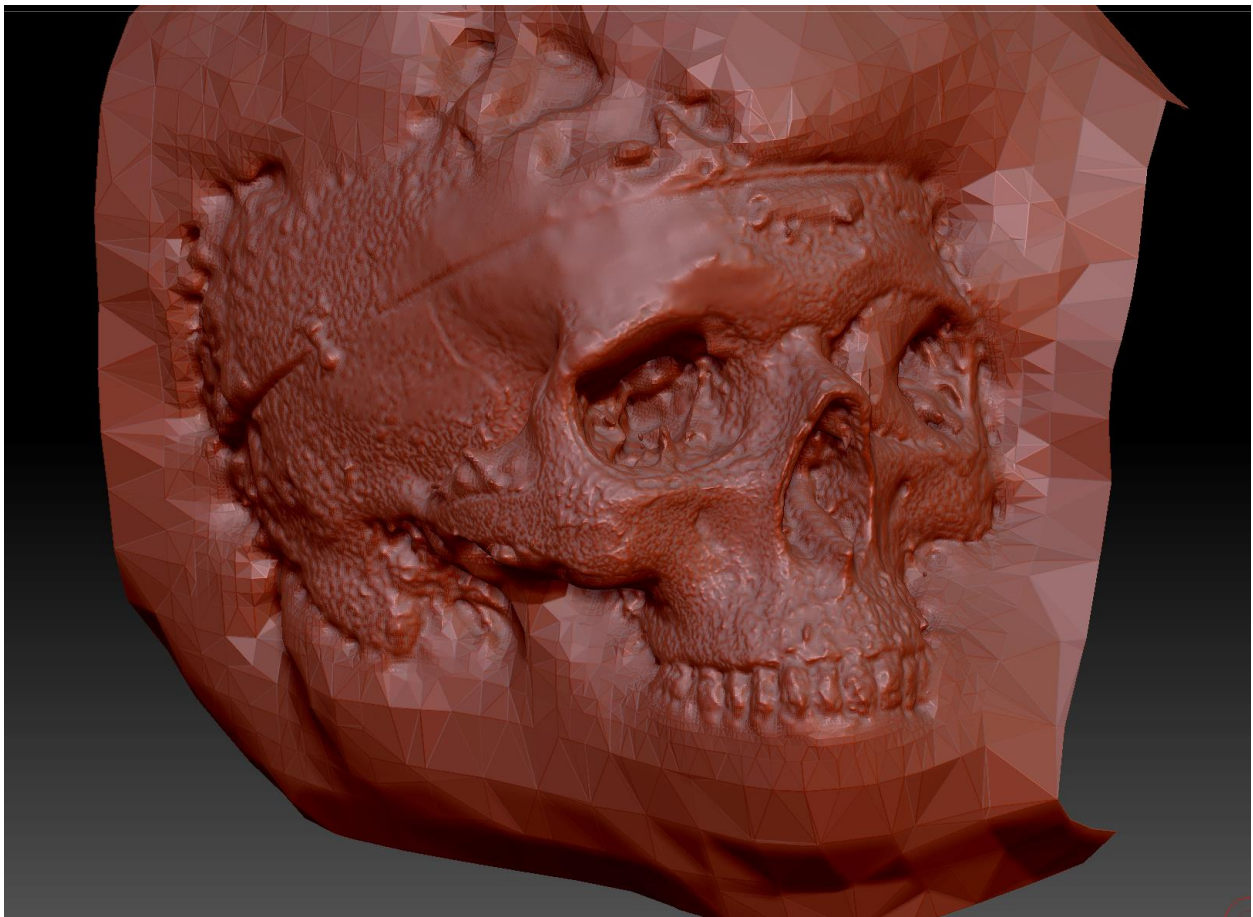
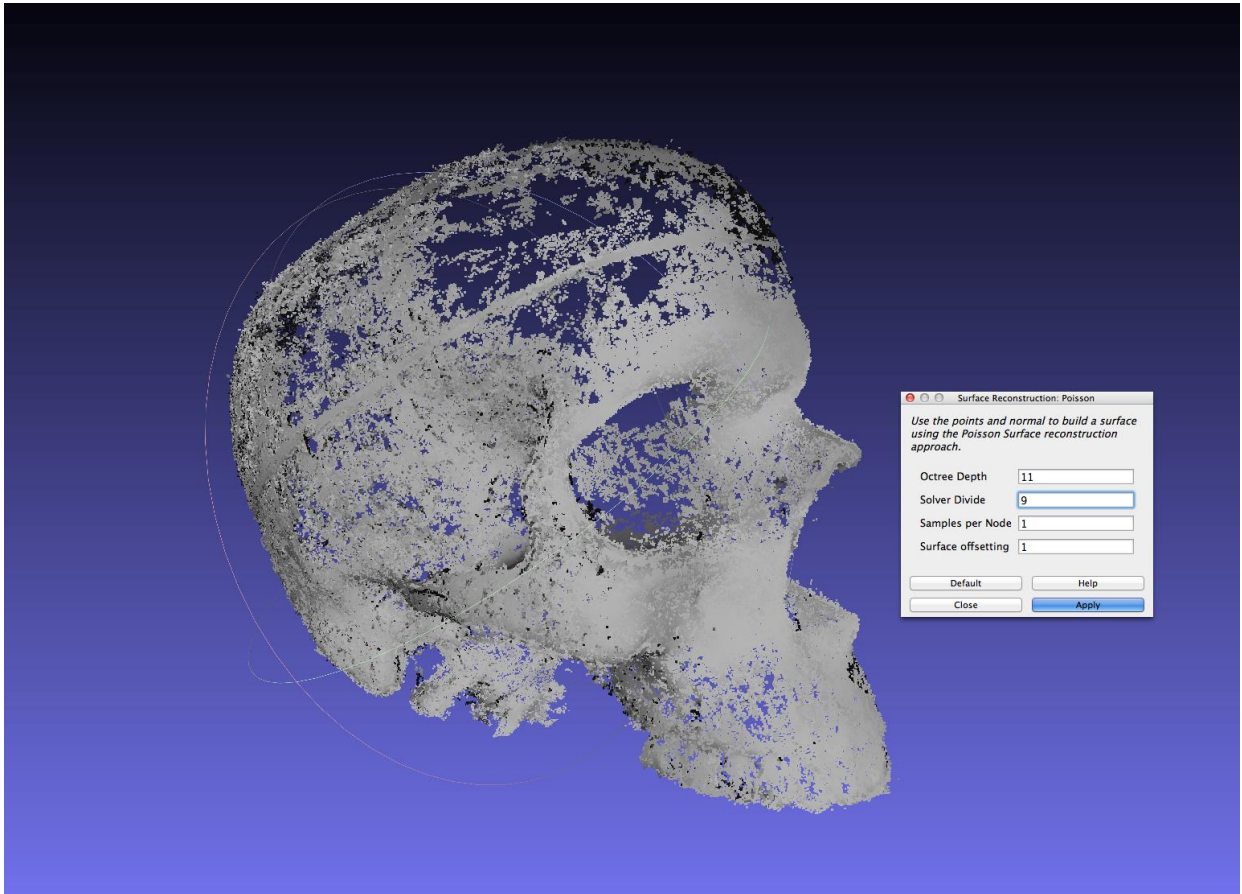


TAIDETALO

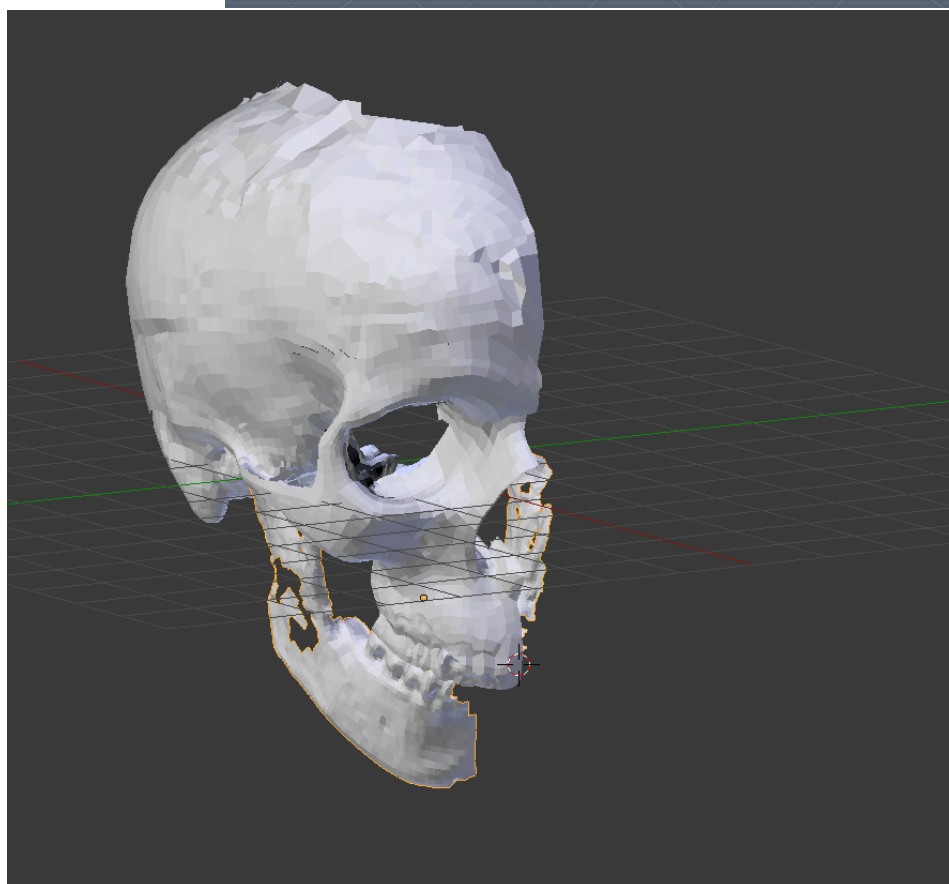
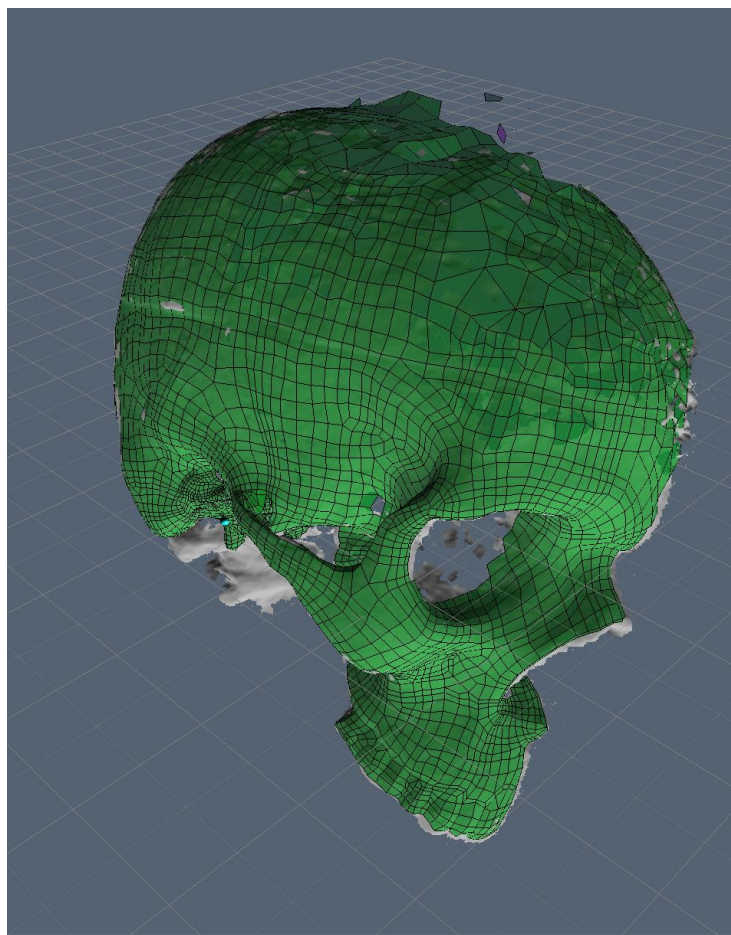


ARRAY-NÄYTE





KALLO



KALLO

